ISME2017

ULUSLARARASI MADENCİLİK VE ÇEVRE SEMPOZYUMU

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MINING AND ENVIRONMENT

PROCEEDINGS BOOK / *BİLDİRİLER KİTABI*

27-29.09.2017

BODRUM, TURKEY

Editors / *Editörler*

Prof. Dr. Taki GÜLER

Prof. Dr. Murat ERDEMOĞLU

Ercan POLAT

TMMOB, Maden Mühendisleri Odası

UCTEA, *Chamber of Mining Engineers of Turkey*

©All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey. Papers are reprinted as they were submitted after refereeing process. The content of the papers is the sole responsibility of the authors. The publisher takes no responsibility for typographical or other errors.

©Tüm hakları saklıdır. TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın önceden yazılı izni olmaksızın, bu kitabın hiçbir kısmı çoğaltılamaz, bir depolama veya erişim sisteminde saklanamaz veya herhangi bir biçimde elektronik, mekanik, fotokopi, kayıt veya başka yollarla iletilemez. Makaleler, hakemlik sürecinden sonra kabul edildikleri şekilde basılmıştır. Makalelerin içeriği yalnızca yazarların sorumluluğundadır. Yayıncı, yazım veya diğer hatalardan dolayı sorumluluk kabul etmez.

September / Eylül 2017

ISBN : 978-605-01-1057-9

Sayfa Tasarımı / Page Design: Ayhan Çınar

Publisher / Yayıncı : ***UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey / TMMOB Maden Mühendisleri Odası***

Selanik Caddesi No: 19/4 • 06650 Kızılay / ANKARA

Tel : +90 312 425 10 80 – 418 36 57

Fax : +90 312 417 52 90

Oda Web : www.maden.org.tr

Oda E-mail : maden@maden.org.tr

Editors / Editörler : Taki GÜLER, Murat ERDEMOĞLU, Ercan POLAT

www.isme.org.tr

isme@maden.org.tr

Bodrum, Muğla / TURKEY

ISBN 978-605-01-1057-9

9 786050 110579

ISME2017

ULUSLARARASI MADENCİLİK VE ÇEVRE SEMPOZYUMU

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MINING AND ENVIRONMENT

PROCEEDINGS BOOK / *BİLDİRİLER KİTABI*

27-29.09.2017

BODRUM, TURKEY

Editors / *Editörler*

Prof. Dr. Taki GÜLER

Prof. Dr. Murat ERDEMOĞLU

Ercan POLAT

TMMOB, Maden Mühendisleri Odası

UCTEA, *Chamber of Mining Engineers of Turkey*

ISME2017

SPONSORSHIP / *SPONSORLUKLAR*

Diamond Sponsorship / *Elmas Sponsorluklar*

bereket enerji
YATAĞAN LİNYİT İŞLETMESİ

çağdaş holding

IC enerji Limak Enerji
Sizin Enerjiniz

Ruby Sponsorship / *Zümrüt Sponsorluklar*

ermaş
MERMER SANAYİ TİC. A.Ş.

mikroman
MADENCİLİK

Emerald Sponsorship / *Yakut Sponsorluklar*

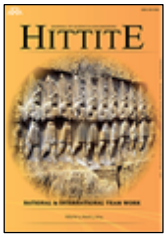
AKDENİZ PATLAYICI

esan

IMERYS
Ceramics

kalyun

Media Partners / *Medya Partnerleri*



eDM
e-Dönüşüm Merkezi

ISME2017
ORGANIZING COMMITTEE / *DÜZENLEME KURULU*

Chair / *Başkan*

Dr. Taki GÜLER	Muğla Sıtkı Koçman University, TURKEY *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, TÜRKİYE*

Members / *Üyeler*

Dr. A. Çağatay DİKMEN	Ministry of Environment and Urbanization, Turkey *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Türkiye*
Ali SAVRAN	Chamber of Mining Engineers of Turkey *Maden Mühendisleri Odası, Türkiye*
Bahar YALÇIN	Chamber of Mining Engineers of Turkey, *Maden Mühendisleri Odası, Türkiye*
Dr. Çağatay PAMUKÇU	Dokuz Eylül Üniversitesi, Turkey *Dokuz Eylül University, Türkiye*
Ercan POLAT	Muğla Sıtkı Koçman University, Turkey *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Türkiye*
Erdem TURGUT	Accountant, Chamber of Mining Engineers of Turkey, *Sayman, Maden Mühendisleri Odası, Türkiye*
Dr. İbrahim SÖNMEZ	Hitit University, Turkey *Hitit Üniversitesi, Türkiye*
İlter Doruk BELİBAĞLI	Chamber of Mining Engineers of Turkey, Turkey *Maden Mühendisleri Odası, Türkiye*
Kemal SÖYLEMEZ	Chamber of Mining Engineers of Turkey, Turkey *Maden Mühendisleri Odası, Türkiye*
Dr. Mehmet KARADENİZ	Chamber of Mining Engineers of Turkey, Turkey *Maden Mühendisleri Odası, Türkiye*
Mehmet ÖZYURT	Chamber of Mining Engineers of Turkey, Turkey *Maden Mühendisleri Odası, Türkiye*
Muhammet KOBAN	Yenikoy Kemerkoy Electricity Generation and Trade Inc., Turkey *Yeniköy Kemerköy Elk. Ürt.Tic.A.Ş., Türkiye*
Dr. Murat ERDEMOĞLU	İnönü University, Turkey *İnönü Üniversitesi, Türkiye*
Mustafa ERCAN	Ermaş Marble, Muğla Marble Association, Turkey *Ermaş Mermer, Muğla Mermerciler Derneği, Türkiye*
Dr. Ömürden GENÇ	Secretary, Muğla Sıtkı Koçman University, Turkey *Sektreter, Muğla Sıtkı Koçman University, Turkey*
Tayfun ALTUĞ	Chamber of Mining Engineers of Turkey, Turkey *Maden Mühendisleri Odası, Türkiye*
Dr. Vedat DENİZ	Hitit University, Turkey *Hitit Üniversitesi, Türkiye*
Yüksel AKIN	Yatağan Thermal Energy Production Inc., Turkey Yatağan Termik Enerji Üretim A.Ş., Türkiye

ISME2017
SCIENTIFIC COMMITTEE / *BİLİM KURULU*

Honorary Member / *Onursal Üye*

Dr. Eberhard GOCK *(Deceased / Merhum)*

Members / *Üyeler*

Dr. Ahmet Hakan ONUR *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Ali İhsan AROL *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Ali KARRECH *(Australia / Avustralya)*
Dr. Ali UÇAR *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Alper ÖZKAN *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Andy FOURIE *(Australia / Avustralya)*
Dr. Avni GÜNEY *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Bayram ERÇIKDI *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Bülent ERDEM *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Danuta SZYSZKA *(Poland / Polonya)*
Dr. Dee BRADSHAW *(Republic of South Africa / Güney Afrika Cumhuriyeti)*
Dr. Doğan KARAKUŞ *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Erhan TERCAN *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Eric FORRSBERG *(Sweden / İsveç)*
Dr. Erkan TOPAL *(Kazakhstan / Kazakistan)*
Dr. Fehiman ÇİNER *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Genc DEMI *(Albania / Arnavutluk)*
Dr. George N. PANAGIOTOU *(Greece / Yunanistan)*
Dr. Gergely HORVÁTH *(Hungary / Macaristan)*
Dr. Gonzalo Montes ATENAZ *(Chile / Şili)*
Dr. Gülşen TOZSİN *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Hacı DEVECİ *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Hakan BAŞARIR *(Australia / Avustralya)*
Dr. Hakan BENZER *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Hakan CEYLAN *(Turkey / Türkiye)*
Dr. İhsan ÖZKAN *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Jaroslaw DRELICH *(USA / ABD)*
Dr. Juan Luis Reyes BAHENA *(Mexico / Meksika)*
Dr. M. Suat DELİBALTA *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Mahmut YAVUZ *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Martin RUDOPH *(Germany / Almanya)*
Dr. Mehmet Sabri ÇELİK *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Mehmet TANRIVERDİ *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Milada ŠTASTNÁ *(Czech Republic / Çek Cumhuriyeti)*
Dr. Melih GENİŞ *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Mohamed KECIR *(Algeria / Cezayir)*
Dr. M. Ümit ATALAY *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Neşet ACARKAN *(Turkey / Türkiye)*
Dr. N. Metin CAN *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Oktay BAYAT *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Orhan ÖZDEMİR *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Osman SİVRİKAYA *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Osman Zeki HEKİMOĞLU *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Önder UYSAL *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Özen KILIÇ *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Richard DURHAM *(Australia / Avustralya)*
Dr. Savaş ÖZÜN *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Ş. Levent ERGÜN *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Tomasz NIEDOBA *(Poland / Polonya)*
Dr. Ulusoy BALİ *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Ümit ÖZER *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Vladimír CABLÍK *(Czech Republic / Çek Cumhuriyeti)*
Dr. Volkan BOZKURT *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Yakup CEBECİ *(Turkey / Türkiye)*

ISME2017

LIST OF REFREES / *HAKEMLER LİSTESİ*

Dr. A. Çağatay DİKMEN *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Ahmet Hakan ONUR *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Ali UÇAR *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Alper ÖZKAN *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Avni GÜNEY *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Bayram ERÇIKDI *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Bedri KURTULUŞ *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Bülent ERDEM *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Ceren KÜÇÜKUYSAL *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Doğan KARAKUŞ *(Turkey / Türkiye)*
Ercan POLAT *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Erhan TERCAN *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Fehiman ÇİNER *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Fikret KAÇAROĞLU *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Genc DEMI *(Albania / Arnavutluk)*
Dr. Gonzalo Montes ATENAZ *(Chile / Şili)*
Dr. Gülşen TOZSİN *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Hacı DEVECİ *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Hakan BAŞARIR *(Australia / Avustralya)*
Dr. Hakan BENZER *(Turkey / Türkiye)*
Dr. İbrahim SÖNMEZ *(Turkey / Türkiye)*
Dr. İhsan ÖZKAN *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Juan Luis Reyes BAHENA *(Mexico / Meksika)*
Dr. M. Suat DELİBALTA *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Mahmut YAVUZ *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Martin RUDOPH *(Germany / Almanya)*
Dr. Mehmet Sabri ÇELİK *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Mehmet TANRIVERDİ *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Melih GENİŞ *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Mehmet KARADENİZ *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Mohamed KECIR *(Algeria / Cezayir)*
Dr. Murat ERDEMOĞLU *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Neşet ACARKAN *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Oktay BAYAT *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Orhan ÖZDEMİR *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Osman SİVRİKAYA *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Osman Zeki HEKİMOĞLU *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Ömürden GENÇ *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Önder UYSAL *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Özen KILIÇ *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Savaş ÖZÜN *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Selçuk AKTÜRK *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Süleyman Bahadır KESKİN *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Ulusoy BALİ *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Ümit ÖZER *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Ünal AKDEMİR *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Vedat DENİZ *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Volkan BOZKURT *(Turkey / Türkiye)*
Dr. Yakup CEBECİ *(Turkey / Türkiye)*

FOREWORD

International Symposium on Mining and Environment (ISME 2017) organized by the Chamber of Mining Engineers of Turkey (CMET), will be held in Kefaluka Resort Hotel, Bodrum, Turkey on September 27-29, 2017 as the 6th scientific event on mining and environment.

This proceedings book is a compilation of peer-reviewed and accepted papers to be presented at the ISME2017. During symposium, 108 papers will be presented, 68 of them orally and the rest as poster. ISME2017 participants are aimed in the symposium to discuss innovations and use of new techniques in mining applications concerning environment, to share novel improvements in the evaluation of resources in the earth crust with professionals from the mining industry, to identify engineering problems and, finally, to make suggestions on the following topics:

- Environmentally focused sustainable mining
- Eco-friendly methods and applications in mining and metallurgy
- Acid mine drainage, hydrometallurgical applications and environmental impacts
- Waste management and recycling
- Geothermal resources and environmental impacts
- Rehabilitation of mine sites
- Control, automation and economy of waste processing plants
- Monitoring and control of environmental impacts
- Environmental risk management
- Effects of mining applications on the quality of air, water and soil, on flora and fauna, and on socio-economic environment

The editors would like to express their sincere thanks and gratitude to the Symposium Organization Committee and International Scientific Committee members for making ISME2017 possible. In addition to the CMET's financial and logistic supports, many leading companies doing business in the mining sector are the shareholders in the success of the symposium due to their appreciable financial contributions. Media partners of the symposium are also gratefully acknowledged.

We hope that the ideas expressed and the cases discussed during the symposium will give inspiration to the people who want to maintain sustainable mining and sustainable environment, as a result, sustainable development.

Finally, we are looking forward to meeting you at the 7th International Symposium on Mining and Environment to be organized by the Chamber of Mining Engineers of Turkey in the near future.

Prof. Dr. Taki GÜLER	**Prof. Dr. Murat ERDEMOĞLU**	**Ercan POLAT**
Editor	*Co- Editor*	*Co-Editor*

September 2017, Muğla, TURKEY

ÖNSÖZ

TMMOB Maden Mühendisleri Odası (MMO) tarafından düzenlenen ve madencilik ve çevre ile ilgili bilimsel bir etkinlik olan Uluslararası Madencilik ve Çevre Sempozyumu'nun (ISME 2017) altıncısı, 27-29 Eylül 2017 tarihlerinde Bodrum Kefaluka Resort Otel'de düzenlenecektir.

Bildiriler kitabı, ISME2017'de sunulmak üzere, hakemlik süreci sonucunda kabul edilmiş bildirileri içermektedir. Sempozyum sırasında 68'i sözlü ve geri kalanı poster olmak üzere toplam 108 bildiri sunulacaktır. ISME2017 katılımcılarının, çevreye duyarlı madencilik uygulamalarındaki yenilikleri ve yeni teknikleri tartışmak, madencilik sektörü temsilcileri ile yeraltı zenginliklerinin değerlendirilmesinde yeni gelişmeleri paylaşmak, mühendislik problemlerini belirlemek ve son olarak, aşağıdaki konularda önerilerde bulunmak üzere sempozyumda bir araya getirilmesi amaçlanmıştır:

- Çevre odaklı sürdürülebilir madencilik
- Madencilik ve metalurji alanlarında çevre dostu yöntemler ve uygulamalar
- Asit maden drenajı, hidrometalurjik uygulamalar ve çevresel etkiler
- Atık yönetimi ve geri dönüşüm
- Jeotermal kaynaklar ve çevresel etkiler
- Maden sahalarının rehabilitasyonu
- Atık işleme tesislerinin kontrolü, otomasyonu ve ekonomisi
- Çevresel etkilerin izlenmesi ve kontrolü
- Çevresel risk yönetimi
- Madencilik uygulamalarının hava, su ve toprak kalitesi, flora ve fauna ve sosyo-ekonomik çevre üzerine etkileri

Editörler, ISME2017'nin gerçekleşmesine olanak sağlayan Sempozyum Yürütme Kurulu ve Uluslararası Bilim Kurulu üyelerine içten teşekkürlerini ve şükranlarını sunar. MMO'nın mali ve lojistik desteğinin yanı sıra, madencilik sektörünün önemli kuruluşları, yaptığı değerli maddi katkılardan ötürü sempozyumun başarısında pay sahibidir. Sempozyumun medya ortaklarına da desteklerinden dolayı minnettar kalınmıştır.

Sempozyum boyunca ifade edilen fikirler ve tartışılan konuların, sürdürülebilir madencilik ve sürdürülebilir çevreyi ve dolayısıyla sürdürülebilir kalkınmayı kesintisiz devam ettirmek isteyenlere ilham kaynağı olmasını umut ediyoruz.

Son olarak, Maden Mühendisleri Odası tarafından yakın gelecekte düzenlenecek olan 7. Uluslararası Madencilik ve Çevre Sempozyumu'nda buluşmayı sabırsızlıkla bekliyoruz.

Prof. Dr. Taki GÜLER — *Editör*

Prof. Dr. Murat ERDEMOĞLU — *Yardımcı Editör*

Ercan POLAT — *Yardımcı Editör*

Eylül 2017, Muğla, TÜRKİYE

İÇİNDEKİLER

I. Mining, Environment, and Laws / Madencilik, Çevre ve Kanunlar

TÜRKİYE'DE MADEN ATIKLARI YÖNETİMİ VE ÇEVRESEL BOYUTU ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA *A RESEARCH ON MINING WASTE MANAGEMENT AND ENVIRONMENTAL PERSPECTIVE IN TURKEY* **M. Suat DELİBALTA, Fehiman ÇİNER**	3
ÇED SÜRECİNDE İZLEME-KONTROL VE DENETİM İLE MADENCİLİK FAALİYETLERİNDE UYGULAMASI *MONITORING-CONTROL AND AUDIT WITH IMPLEMENTATION BY MINING ACTIVITIES OF EIA PROCESS* **Ersan DEĞERLİ**	19
ÇEVRESEL VERİ TOPLAMA ÇALIŞMALARI NEDİR, ÖNEMİ VE MADENCİLİK FAALİYETLERİNE AİT SÜREÇLERDE KULLANIM ALANLARI *WHAT IS ENVIRONMENTAL DATA COLLECTION STUDIES, IMPORTANCE AND USES IN PROCESSES IN MINING ACTIVITIES* **Burak ZORLUTUNA**	39
MADENCİLİK SEKTÖRÜNÜN ÇEVRESEL YÖNETİMİNDE KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ÇÖZÜM ODAKLI YAKLAŞIMLAR *THE PROBLEMS ENCOUNTERED WITHIN THE ENVIRONMENTAL ADMINISTRATION OF THE MINING SECTOR AND SOLUTION-FOCUSED APPROACHES* **Mesut KÖKEN, Ali Kemal ÇAKIR, Nihat DEMİR**	55
THE EFFECTS OF MINING ON THE ENVIRONMENT: A CASE STUDY OF KANKOYO TOWNSHIP OF MUFULIRA DISTRICT OF THE REPUBLIC OF ZAMBIA *MADENCİLİĞİN ÇEVREYE ETKİLERİ: ZAMBİYA CUMHURİYETİ MUFULIRA BÖLGESİ KANKOYO KASABASI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA* **Stephen CHANDA, Wilson MOONO**	79
ENVIRONMENTAL SECURITY: A CRITICAL APPROACH TO NATIONAL SECURITY *ÇEVRESEL GÜVENLİK: ULUSAL GÜVENLİĞE ELEŞTİREL BİR YAKLAŞIM* **Murat ERDEMOĞLU**	91
MADEN İŞLETMECİLİĞİ SEKTÖRÜNDE ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRME (ÇED) HUKUKU UYGULAMALARI *ENFORCING ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT LAW IN THE MINING INDUSTRY* ***Mehmet Ali AKKAYA***	103
İKİ FARKLI GECİKME ZAMANININ PATLATMALARDA ÇEVRESEL ETKİLERİ AÇISINDAN KIYASLANMASI *COMPARSION OF ENVIRONMENTAL IMPACTS IN BLASTING OF TWO DIFFERENT DELAY TIME* **Vedat DENİZ, Orçun Tugay DENİZ**	119
ÇORUM ÇİMENTO TAŞ OCAĞINDAKİ PATLATMALARDA ORTAYA ÇIKAN HAVA ŞOKU'NUN ÇEVRESEL ETKİLERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ *THE EVALUATION OF ENVIRONMENTAL IMPACTS OF AIR SHOCK GENERATED BY BLASTING IN CORUM CEMENT'S QUARRY* **Vedat DENİZ, Orçun Tugay DENİZ**	133

MUĞLA YATAĞAN'DA MADENCİLİK VE MADENCİLİKLE İLİNTİLİ ÇEVRE SORUNLARI *MINING ACTIVITIES AND MINING-RELATED ENVIRONMENTAL ISSUES IN MUGLA YATAGAN REGION* **Osman Zeki HEKİMOĞLU, Kübra KOÇ**	147
ŞEHİR İÇİ PATLATMALI KAZI ÇALIŞMALARINDA ÇEVRESEL TİTREŞİM LİMİTLERİNE GÖRE PATLATMA TASARIMI *BLAST DESIGN BASED ON ENVIRONMENTAL VIBRATION LIMITS FOR THE ROCK BLASTING IN URBAN AREA* **Doğan KARAKUŞ, Tuğçe ÖNGEN, Mehmet Volkan ÖZDOĞAN, Hayati YENİCE, Ahmet Hamdi DELİORMANLI, Utku İKİZ**	159
MADEN SU YÖNETİMİNİN ÇEVRESEL VE EKONOMİK FAYDALARI *ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC BENEFITS OF MINING WATER MANAGEMENT* **Eren GENÇ**	175
MADENCİLİK FAALİYETLERİNDE SOSYAL ETKİ DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARININ ÖNEMİ *THE IMPORTANCE OF THE SOCIAL IMPACT ASSESSMENT STUDIES FOR THE MINING ACTIVITIES* **Okşan GÜRTUNA HALİLOĞLU**	185
MADENCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ *MINING AND CLIMATE CHANGE* **Çağatay DİKMEN**	195

II. Ecofriendly Mining Methods and Applications / Çevre Dostu Madencilik Yöntem ve Uygulamaları

MERMER FABRİKALARINDA GÜRÜLTÜ DAĞILIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ *EVALUATION OF NOISE PROPAGATION IN MARBLE FACTORIES* **İbrahim ÇINAR, Cem ŞENSÖĞÜT**	209
TÜRKİYE'DE İKİ FARKLI BÖLGEDE ENDÜSTRİYEL HAMMADDE AÇIK OCAK SAHALARININ DOĞAYA YENİDEN KAZANDIRILMASI UYGULAMALARI *REHABILITATION OF INDUSTRIAL RAW MATERIAL MINING SITES IN TWO DIFFERENT REGIONS IN TURKEY* **Seyfi KULAKSIZ, Yüksel AKIN**	219
NİĞDE KALSİT İŞLETMELERİNDE OLUŞAN PASALARIN JEOTEKNİK VE ÇEVRESEL RİSKLERİ *GEOTECHNICAL AND ENVIRONMENTAL RISKS OF WASTES IN THE NIGDE CALCITE MINES* **M. Suat DELİBALTA**	237
YARIMOĞLU OBRUĞU (KARAPINAR-KONYA) ÇEVRESEL ETKİSİNİN YERDİRENCİ YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ *EARTH RESISTIVITYARINOGLU SINKHOLE TO DETERMINE ITS ENVIRONMENTAL INFLUENCES* **M. Kemal GÖKAY, Kemal DOĞAN**	249

DALAMA KULOĞULLAR (AYDIN İLİ) LİNYİT SAHASININ JEOLOJİSİ, SONDAJ ÇALIŞMALARI VE KÖMÜR KARAKTERİZASYONU *GEOLOGY, DRILLING STUDIES AND COAL CHARACTERIZATION OF DALAMA KULOĞULLAR (AYDIN) LIGNITE AREA* **Mustafa BOZCU, Savaş BAĞDADİOĞLU**	261
BİR TAŞOCAĞINDA PATLATMA KAYNAKLI ÇEVRESEL ETKİLER VE FARKLI FORMASYONLAR AÇISINDAN ÜRETİM OPTİMİZASYONU *THE OPTIMIZATION OF PRODUCTION IN TERMS OF ENVIRONMENTAL EFFECTS INDUCED BY BENCH BLASTING AND DIFFERNT FORMATION AT A QUARRY* **Ataç BAŞÇETİN, Deniz ADIGÜZEL, Serkan TÜYLÜ, Hasan EKER**	275
ANALYSIS OF SURFACE SUBSIDENCE DUE TO LONGWALL MINING OPERATION UNDER WEAK GEOLOGICAL CONDITIONS IN TURGUT BASIN OF YATAĞAN-MUĞLA (TURKEY) *TURGUT HAVZASINDA (YATAĞAN-MUĞLA) ZAYIF JEOLOJİK KOŞULLAR ALTINDA UZUNAYAK MADENCİLİĞİ SONUCU OLUŞACAK TASMANLARIN ANALİZİ* **Avni GÜNEY, Murat GÜL, Yüksel AKIN**	285
YENİCEKÖY (EMET-KÜTAHYA) YÖRESİNDEKİ TRAVERTEN SAHASINDA HİDROTERMAL ALTERASYON OLUŞUMUNUN JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ *GEOCHEMICAL PROPERTIES OF THE HYDROTHERMAL ALTERATION IN TRAVERTINE IN YENİCEKÖY (EMET-KÜTAHYA) AREA* **Yaşar KİBİCİ, Hüseyin KARAKUŞ, Gürsel YANIK, Cafer ÖZKUL, Mehmet DEMİRBİLEK, İrem AKSOY, Enes ZENGİN, Nilgün DOĞAN**	301
AÇIK İŞLETMELERDE DÖKÜM ALANLARI DÜZENLEME VE AĞAÇLANDIRMA ÇALIŞMALARI: TUTLUCA MANYEZİT AÇIK İŞLETMESİ *REGULATION AND PLANTING STUDIES OF CASTING FIELDS IN OPEN PITS: TUTLUCA MAGNESITE OPEN PIT* **Ece KUNDAK, Hürriyet AKDAŞ**	323
ŞEVLERDE ÇEVRESEL RİSK OLUŞTURAN FAKTÖRLERİN ÖNEM DERECELERİNİN BELİRLENMESİ *DETERMINING IMPORTANT GRADE OF ENVIRONMENTAL RISK FACTORS AT SLOPES* **Baki BAĞRIAÇIK, Hakan GÜNEYLİ, Süleyman KARAHAN**	339
TAŞ OCAKLARI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ *QUARRIES AND ENVIRONMENTAL EFFECTS* **Hüseyin KURT**	351
MACUN DOLGUNUN ÇEVRESEL ETKİLERİ: ÇBİ DENEYİMİ *ENVIRONMENTAL ASPECTS OF PASTE BACKFILL: CBI PRACTISE* **Bayram ERÇIKDI, Ferdi CİHANGİR, Ayhan KESİMAL, Hacı DEVECİ, Mehmet EĞRİBOYUNOĞLU, Korhan YILMAZ**	359
KONYA'DA FAALİYET GÖSTEREN BİR KALKER MADENİNDE UYGULANAN REKLAMASYON ÇALIŞMALARI *THE RECLAMATION STUDIES APPLIED IN A LIMESTONE MINE IN KONYA* **Bilgehan KEKEÇ, Niyazi BİLİM**	377

EVALUATION OF YIELD FOR DIFFERENT BENCH SLOPES A MİKROMAN MINE COMPANY QUARTZ QUARRY (YATAĞAN-MUĞLA, SW TURKEY) *MİKROMAN MADENCİLİK ŞİRKETİ KUVARS OCAĞI (YATAĞAN-MUĞLA-GB TÜRKİYE) VERİMİNİN FARKLI BASAMAK EĞİMLERİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ* **Murat GÜL, Avni GÜNEY, Ergun KARACAN, Fikret KAÇAROĞLU, Nazmi ÇETİN, Nefise Rua DEMİRTAŞ**	389
PATLATMA KAYNAKLI ÇEVRESEL ETKİLER VE ÖNLENMESİ İÇİN ALINMASI GEREKEN TEDBİRLER *BLASTING INDUCED ENVIRONMENTAL EFFECTS AND REQUIRED PRECAUTIONS FOR PREVENTION OF THEM* **Niyazi BİLİM, Bilgehan KEKEÇ**	413
İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ MADEN İŞLETMELERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ AMACI İLE KULLANIMI; MERMER OCAK İŞLETMESİ ÖRNEĞİ *USAGE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR DETERMINING THE ENVIRONMENTAL EFFECTS OF MINING FACILITIES; A CASE STUDY OF MARBLE QUARRY* **Mete KUN, Berk ÖZCAN**	425
ŞEV GÜVENİLİRLİĞİNİN FARKLI YÖNTEMLER İLE BELİRLENMESİNE YÖNELİK VAKA ANALİZİ *A CASE STUDY FOR DETERMINING SAFETY FACTORS IN SLOPES WITH DIFFERENT METHODS* **Hakan GÜNEYLİ, Baki BAĞRIAÇIK, Süleyman KARAHAN**	435
REHABILITATION OF METAL CONTAMINATED LANDS WITH HYPERACCUMULATOR PLANTS *METALLERLE KİRLENMİŞ SAHALARIN HİPERAKÜMÜLATÖR BİTKİLER İLE REHABİLİTASYONU* **Suna Özden ÇELİK, Esra TINMAZ KÖSE**	445
BASİT YÖNTEMLERLE ŞEV YÜKSEKLİĞİNİN PRATİK YOLDAN TAHMİNİ *PRACTICAL ESTIMATION OF SLOPE HEIGHT USING SIMPLE METHODS* **Kadir KARAMAN, Sümeyye ERTEN**	459
MEKANİZE TÜNEL AÇMA ESNASINDA ZEMİN İYİLEŞTİRMEDE KULLANILAN KİLLERİN KESME PERFORMANSINA ETKİLERİ *EFFECTS OF CLAY MINERALS ON CUTTING PERFORMANCE AS SOIL CONDITIONER IN MECHANIZED TUNNELING OPERATIONS* **Cihan DOĞRUÖZ, Savaş ÖZÜN, Mehtap Gülsün KILIÇ, Oleksandr TOLKACH**	469

III. Ecofriendly Mineral Processing Methods and Applications / Çevre Dostu Cevher Hazırlama Yöntem ve Uygulamaları

BALIKESİR BALYA BÖLGESİ KURŞUN-ÇİNKO FLOTASYON ARTIKLARININ KARAKTERİZASYONU *CHARACTERIZATION OF BALIKESIR BALYA REGION LEAD-ZINC FLOTATION TAILINGS* **İlgin KURŞUN, Orhan ÖZDEMİR, M. Faruk ESKİBALCI, MERT TERZİ**	481
TUĞLA KİLİ ÜZERİNDE KURŞUN VE NİKEL ADSORPSİYONU *ADSORPTION OF LEAD AND NICKEL ON BRICK CLAY* **Ayşe Dilek ATASOY, Aşkın Zuhal ÇELİK**	493

TUNÇBİLEK KÖMÜR HAZIRLAMA TESİSİNDE BAZI FİZİKSEL ÇEVRE ETKENLERİNİN ARAŞTIRILMASI *INVESTIGATION OF SOME PHYSICAL ENVIRONMENTAL FACTORS FOR TUNÇBILEK COAL WASHERY* **Ali UÇAR, Cem ŞENSÖĞÜT, İ. Göktay EDİZ**	505
KURŞUN-ÇİNKO CEVHERİ FLOTASYON ARTIĞINDAKİ KURŞUNUN HCI İLE ÇÖZÜNÜRLÜĞÜNÜN ARAŞTIRILMASI *INVESTIGATION OF HCI SOLUBILITY OF LEAD FROM LEAD-ZINC FLOTATION TAILINGS* **İlgin KURŞUN, Hasan HACIFAZLOĞLU, Mert TERZİ**	521
ATIK SİYANÜR ÇÖZELTİLERİNDEN ANYONİK REÇİNELER İLE AĞIR METALLERİN ADSORPSİYONU *ADSORPTION OF HEAVY METALS FROM WASTE CYANIDE SOLUTIONS WITH ANIONIC RESINS* **Fırat AHLATCI, Elif YILMAZ, Ersin Y. YAZICI, Oktay CELEP, Hacı DEVECİ**	533
ERZİNCAN ÇÖPLER SÜLFÜRLÜ ALTIN CEVHERİNE YAPILAN ÖN İŞLEMLERİN ALTIN ÇÖZÜNME VERİMİNE ETKİSİ *THE EFFECT OF PRETREATMENTS OF ERZINCAN COPLER SULFUR GOLD ORE TO THE DISSOLUTION EFFICIENCY OF GOLD* **İlgin KURŞUN, Mert TERZİ**	543
PİRİTİK ATIKLARIN PASİFLEŞTİRİLMESİ VE ASİT MADEN DRENAJI (AMD) POTANSİYELİNİN AZALTILMASI *PASSIVATION OF PYRITIC TAILINGS AND MITIGATION OF ITS ACID MINE DRAINAGE (AMD) POTENTIAL* **Elif YILMAZ, Fırat AHLATCI, Oktay CELEP, Ersin Y. YAZICI, Hacı DEVECI**	553
OKSİTLİ KURŞUN-ÇİNKO CEVHERİNİN GRAVİTE YÖNTEMLERİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ *PROCESSING OF OXIDIZED LEAD-ZINC ORES BY GRAVITY METHODS* **Oktay BAYAT, Zehra ÇETİNKAYA, Tayfun ÇiÇEK, Nil YAPICI**	563
ASİT MADEN DRENAJI NÖTRALİZASYONUNDA KİREÇTAŞININ KULLANILMASI *THE USE OF LIME IN ACID MINE DRAINAGE NEUTRALIZATION* **Diler KATIRCIOĞLU-BAYEL**	573
NÖTRLEŞTİRME POTANSİYELİNİN SAPTANMASI İÇİN pH6 TESTİ İŞLEM SÜRECİNDE DEĞİŞİKLİK ÖNERİSİ *A PROPOSAL FOR MODIFICATION OF THE pH6 TEST FOR DETERMINATION OF NEUTRALIZATION POTENTIAL* **Mehmet KARADENİZ**	583
TRAKİTİK AGREGADA ALKALİ-SİLİKA REAKTİVİTESİNİN (ASR) İNDİRGENMESİ *THE REDUCTION OF THE ALKALI-SILICA REACTIVITY IN TRACHYTIC AGGREGATE* **Vural OYAN, Zehra SEVİNÇ**	597
DETERMINATION OF FLOC SIZE AND STRENGTH OF FINE COAL TAILINGS USING LASER DIFFRACTION TECHNIQUE *KÖMÜR ARTIKLARININ FLOK BOYUTU VE DAYANIMININ LAZER KIRINIM TEKNİĞİ KULLANILARAK SAPTANMASI* **Can GUNGOREN, Yasin BAKTARHAN, Ilgin KURSUN, Safak G. OZKAN, Orhan OZDEMIR**	609
RE-EVALUATION OF CHROMITE ORE DRESSING PLANT TAILINGS *KROMİT ZENGİNLEŞTİRME TESİS ATIKLARININ YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ* **Ali GÜNEY, Murat Olgaç KANGAL, Mustafa ÖZER, Ünzile YENİAL**	617

EVALUATION OF OLIVINE FLOTATION REGARDING ENTRAINMENT *OLİVİN FLOTASYONUNUN SU İLE SÜRÜKLENME MEKANİZMASI İLE İLİŞKİLİ OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ* **Ercan POLAT, Taki GÜLER, Ünal AKDEMİR**	627
ASİT MADEN DRENAJI OLUŞUMUNA KARŞI METALİK MADEN SAHALARINDA ALINACAK ÖNLEMLER VE KOZA ALTIN İŞLETMELERİ MADEN SAHASINDAN UYGULAMA ÖRNEKLERİ *PREVENTIVE ACTIONS FOR METALLIC MINING FIELDS AND CURRICULUM FOR ACID MINE DRAINNAGE AND SAMPLES OF APPLICATION FROM KOZA ALTIN İŞLETMLERI FIELDS* **İlknur BULUTOGLU**	637
SART PROSESİ İLE SİYANÜR GERİ KAZANIMI *SART PROCESS FOR CYANIDE RECOVERY* **Elif YILMAZ, Fırat AHLATCI, Oktay CELEP, Ersin Y. YAZICI, Hacı DEVECİ**	649
CEVHER ZENGİNLEŞTİRME ARTIKLARININ ÇEVRESEL ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASINDA KULLANILAN KİNETİK KOLON YÖNTEMİ ÜZERİNE GENEL BİR DEĞERLENDİRME *GENERAL EVALUATION ON THE KINETIC COLUMN METHOD USED TO INVESTIGATE THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF MINERAL PROCESSING TAILINGS* **Ataç BAŞÇETİN, Hasan EKER, Serkan TÜYLÜ, Deniz ADIGÜZEL**	663
ENERGY EFFICIENT CEMENT PRODUCTION IN A CONVENTIONAL TWO-COMPARTMENT BALL MILL GRINDING CIRCUIT *KONVANSİYONEL İKİ-KAMARALI BİLYALI DEĞİRMEN ÖĞÜTME DEVRESİNDE ENERJİ VERİMLİ ÇİMENTO ÜRETİMİ* **Ömürden GENÇ, A. Hakan BENZER**	675
EFFECT OF CONVENTIONAL AND MICROWAVE HEATING ON DRYING OF DRILLING SLUDGE *KONVANSİYONEL VE MİKRODALGA İLE ISITMANIN SONDAJ ÇAMURUNUN KURUTULMASI ÜZERİNE ETKİSİ* **Esra TINMAZ KÖSE, Soner ÇELEN, Suna Özden ÇELİK, Gizem AKIN, Aylin AKYILDIZ**	687
DARALAN OLUK İLE ALBİT ZENGİNLEŞTİRİLMESİNDE TİTREŞİMİN ETKİSİ *EFFECT OF VIBRATION ON ALBITE CONCENTRATION BY PINCHED SLUICE* **Erdal KARADAĞ, Taki GÜLER**	695
RECOVERY OF TAILINGS OF TAMAZERT-ALGERIA KAOLIN CONCENTRATOR FOR VARIOUS END-USES *TAMAZERT-CEZAYIR KAOLIN ZENGİNLEŞTİRME TESİSİ ATIKLARININ FARKLI SON KULLANIM ALANLARI İÇİN KAZANIMI* ***Abdellali BOUZENZANA***	707
Pb-Zn MADENİ PROSES ARTIKLARININ ELEKTROKİNETİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ *DETERMINATION OF ELECTROKINETIC PROPERTIES OF Pb-Zn MINE PROCESS TAILINGS* **Orhan ÖZDEMİR, Deniz ADIGÜZEL, Yasin BAKTARHAN, Serkan TÜYLÜ, Ataç BAŞÇETİN**	715
YÜKSEK FIRIN VE ÇELİKHANE ÇAMURLARINDAN HİDROMETALURJİK YÖNTEMLE ÇİNKONUN UZAKLAŞTIRILMASI *REMOVAL OF ZINC FROM BLAST FURNACE AND BASIC OXYGEN FURNACE SLUDGES USING HYDROMETALLURGICAL METHOD* **Didem Nedret İNCEOĞLU, İsmail ÖZBAY, Bilge ÖZBAY**	727

INVESTIGATION OF THE COATING BEHAVIOUR OF A WASTE MARBLE FROM MUĞLA-YATAĞAN REGION IN A LABORATORY SCALE MILL *MUĞLA-YATAĞAN BÖLGESİ ATIK MERMERİNİN LABORATUVAR ÖLÇEKLİ DEĞİRMENDE KAPLANMA DAVRANIMININ İNCELENMESİ* **Ömürden GENÇ, Merve BAYIR**	737
KONSANTRATÖR ATIĞINDAN KUVARS KAZNIMI: MODİFİYE DARALAN OLUK İLE DEMİR SAFSIZLIĞININ UZAKLAŞTIRILMASI *QUARTZ RECOVERY FROM CONCENTRATOR TAILINGS: REJECTION OF IRON IMPURITIES BY MODIFIED PINCHED SLUICE* **Süleyman YURTSEVER, Taki GÜLER**	745
BAŞER MADEN SAN. VE TİC. A.Ş.'YE AİT CEVHER HAZIRLAMA TESİSİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI *THE INVESTIGATION ON THE ENVIRONMENTAL EFFECTS OF THE MINERAL PROCESSING PLANT BY BAŞER MINING CO.* **Yakup UMUCU, Salih AKBOĞA**	755
TÜRKİYE'DE İÇME SULARINDA ARSENİK KİRLİLİĞİ VE UYGULANAN GİDERİM YÖNTEMLERİ *ARSENIC POLLUTION OF DRINKING WATER IN TURKEY AND APPLIED TREATMENT METHODS* **Meltem SARIOĞLU-CEBECİ, Cansel KOÇ**	769
PİRİT HİDROFOBLUĞU VE DURUM POTANSİYELİNE ORGANİK DÜZENLEYİCİLERİN ETKİSİ *EFFECT OF ORGANIC MODIFIERS ON THE HYDROPHOBICITY AND REST POTENTIAL OF PYRITE* **Ercan POLAT, Taki GÜLER, Sedanur TUNÇ**	783
ACID MINE DRAINAGE APPLICATIONS IN SOME DEVELOPED COUNTRIES AND TURKEY *TÜRKİYE VE BAZI GELİŞMİŞ ÜLKELERDE ASİT MADEN DREANAJI UYGULAMALARI* **Görkem ERTUĞRUL, Yaşar KASAP**	793
GÜRCİSTAN-KUTAİSİ/CHORDİ ZENGİNLEŞTİRME TESİSİ ARTIKLARINDAN BARİTİN GERİ KAZANILMASININ ARAŞTIRILMASI *THE INVESTIGATION OF RECOVERY OF BARITE FROM THE GRAVITY CONCENTRATION WASTE OF GEORGIA-KUTAISI / CHORDI* **Yakup UMUCU, Salih AKBOĞA, Hasan Gani DURU, Vedat DENİZ**	805
TÜRKİYE'DE ALTIN MADENCİLİĞİ VE ÜRETİM YÖNTEMLERİ *GOLD MINING IN TURKEY AND PRODUCTION METHODS* **Elmas AKGÖZ, Mustafa AKÇİL, Mustafa Emre DİLBAZ**	813

IV. Processing and Management of Mining Wastes / Madencilik Atıklarının İşlenmesi ve Yönetimi

AFYON İSCEHİSAR MERMER TOZ ATIKLARININ ÇEVRESEL OLUMSUZ ETKİLERİNİN KATMA DEĞERİ YÜKSEK SERAMİK MALZEMELERİN ÜRETİMİNDE KULLANILARAK AZALTILMASI *MINIMIZATION OF ADVERSE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF AFYON İSCEHİSAR MARBLE DUST WASTES BY USING IN THE PRODUCTION OF HIGH VALUE-ADDED CERAMIC MATERIALS* **Meryem GÖKTAŞ, Murat ERDEMOĞLU**	829

RECOVERY OF CYANIDE FROM EFFLUENTS USING CARBON DIOXIDE *KARBON DİOKSİT İLE ATIK ÇÖZELTİLERDEN SİYANÜR GERİ KAZANIMI* **Elif YILMAZ, Fırat AHLATCI, Ersin Y. YAZICI, Oktay CELEP, Hacı DEVECI**	843
MERMER ARTIKLARININ MACUN DOLGUDA SÜLFÜRCE ZENGİN ATIK MALZEMEYE İKAME OLARAK KULLANIMI *UTILIZATION OF MARBLE WASTE AS PARTIAL REPLACEMENT OF SULPHIDE-RICH TAILINGS IN CEMENTED PASTE BACKFILL* **Tekin YILMAZ, Bayram ERÇIKDI, Ferdi CİHANGİR**	855
ÇEVRESEL SORUN OLUŞTURAN DÜŞÜK KALİTELİ KÖMÜRLERİN ALTERNATİF KULLANIM ALANLARININ ARAŞTIRILMASI: AKTİF KARBON ÜRETİMİ *INVESTIGATION OF ALTERNATIVE USAGE AREAS OF LOW RANK COALS: PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON* **Uğur DEMİR**	869
SÜLFÜRLÜ METALİK ARTIKLARIN YERÜSTÜ MACUN DEPOLAMA YÖNTEMİNDEKİ SIZINTI SUYUNUN KİRLİLİK RİSKİ *POLLUTION RISKS OF SEEPAGE WATER IN THE SURFACE PASTE DISPOSAL METHOD FOR SULFURIC METAL TAILINGS* **Ataç BAŞÇETİN, Serkan TÜYLÜ, Deniz ADIGÜZEL, Hasan EKER**	887
BİR DOĞAL TAŞ-MERMER OCAĞINDA BİRİKMİŞ ATIKLARIN ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE DEĞERLENDİRİLMESİ: SÖĞÜT ÖRNEĞİ *THE USE OF REMOVABLE WASTES IN A MARBLE QUARRY IN THE CEMENT SECTOR: A CASE STUDY OF SOGUT* **Murat YURDAKUL, Hürriyet AKDAŞ**	897
DOĞALTAŞ ATIKLARININ HAFİF BETON İMALATINDA KULLANIMI *NATURAL STONE WASTE USAGE IN LIGHTWEIGHT CONCRETE PRODUCTION* **Kemal DOĞAN, Mehmet Kemal GÖKAY**	909
METALURJİK YAKIT HAZIRLAMA PROSESİNDE ATIK YÖNETİMİ: KOK ÜRETİM TESİSİ ÖRNEĞİ *WASTE MANAGEMENT IN METALLURGICAL FUEL PREPARATION PROCESS: A CASE STUDY ON COKE PRODUCTION PLANT* **Cenk AKSOY, Bilge ÖZBAY, Didem Nedret İNCEOĞLU, İsmail ÖZBAY**	923
ÇEŞİTLİ MADENSEL ATIKLARIN SERAMİK BÜNYELERDE DEĞERLENDİRİLEBİLME OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI *INVESTIGATION OF POSSIBILITIES OF EVALUATING VARIOUS MINING WASTE IN CERAMICS STRUCTURES* **Meryem GÖKTAŞ**	935
REMOVAL OF IRON AND SULPHATES FROM SLUDGE BY ELECTROKINETIC REMEDIATION *ELEKTROKİNETİK ISLAH YÖNTEMİ İLE ÇAMURDAN DEMİR VE SÜLFATLARIN GİDERİMİ* **Mohamed KECIR, Mounir ZIATI, Nassima BENFERRAH, Jíři BOTULA**	947
CEVHER ZENGİNLEŞTİRME ATIKLARININ ÇEVRESEL KARAKTERİZASYONU *ENVIRONMENTAL CHARACTERISATION OF MINERAL PROCESSING TAILINGS* **Fırat AHLATCI, Elif YILMAZ, Ersin Y. YAZICI, Oktay CELEP, Hacı DEVECİ**	957
EVALUATION OF NATURAL STONE TREATMENT ENTERPRISES WASTAGE *DOĞAL TAŞ İŞLEME TESİS ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ* **Sunay BEYHAN, Sergii BASHYNSKYI, Ievgenii DUBCHENKO**	969

TRAVERTEN ÜRETİMİNDE ORTAYA ÇIKAN ATIK MALZEMENİN ÇİMENTO İÇERİSİNDE TRAS İLE BİRLİKTE KULLANILMASININ ÇİMENTO ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ *THE EFFECTS OF UTILIZATION OF WASTE MATERIAL GENERATED DURING TRAVERTINE PRODUCTION WITH TRAS WITHIN CEMENT* **Abdul Vahap KORKMAZ**	979
REMOVAL OF Cu^{2+} IONS FROM WASTE WATER USING EDTA MODIFIED TiO_2 *EDTA MODİFİYE EDİLMİŞ TiO_2 KULLANILARAK ATIK SULARDAN Cu^{2+} İYONLARININ UZAKLAŞTIRILMASI* **Esra PORGALI, Emrah AKGEYİK, Sema ERDEMOĞLU**	993
A RESEARCH OF THE CCS ACTIVITIES IN THE COAL-FIRED POWER PLANTS OF TURKEY AND SOME EUROPEAN COUNTRIES *TÜRKİYE VE BAZI AVRUPA ÜLKELERİNDEKİ KÖMÜR SANTRALLERİNDE CCS AKTİVİTELERİNE İLİŞKİN BİR ARASTIRMA* **Mehmet MESUTOĞLU, Özgül ÇİMEN MESUTOĞLU**	1003
KROMİT ZENGİNLEŞTİRME TESİSİ ARTIKLARININ GERİ KAZANIMI ÜZERİNE DENEYSEL BİR ÇALIŞMA: ADANA-ALADAĞ ÖRNEĞİ *AN EXPERIMENTAL STUDY ON RECOVERY OF CHROMITE BENEFICIATION PLANT TAILINGS: ADANA – ALADAĞ EXAMPLE* **Cemaliye ŞEFLEK, Soner TOP, Ganiye Dilan ERYILMAZ**	1015
HAM MADDE KAYNAĞI OLARAK DOĞAL TAŞ ARTIKLARI, TORBALI - İZMİR ÖRNEĞİ *AS A SOURCE OF RAW MATERIALS DIMENSION STONE WASTES, A CASE STUDY TORBALI –İZMİR, TURKEY* **Hakan ELÇİ, Ramazan HACIMUSTAFAOĞLU, Murat YILMAZ, Özlem YILMAZ**	1029
AFYONKARAHİSAR MERMER SEKTÖRÜ ARTIKLARININ ÇEVRESEL ETKİLERİNİN İNCELENMESİ *INVESTIGATION OF THE ENVIRONMENTAL EFFECTS OF WASTE OF AFYONKARAHISAR MARBLE SECTOR* **Aynur İNANIR, İrfan Celal ENGİN, S. Osman İNANIR**	1045
KIRMIZI ÇAMUR ARTIKLARINDAN SKANDİYUM KAZANIMI *RECOVERY OF SCANDIUM FROM RED MUD WASTES* **Hüseyin BAŞTÜRKCÜ, Atıf DEMİRCAN, Neşet ACARKAN, A. Ekrem YÜCE**	1057
AN OVERVIEW ON METALLURGICAL WASTES, RECYCLING AND THE ENVIRONMENT *METALURJİK ATIKLAR, GERİDÖNÜŞÜM VE ÇEVRE ÜZERİNE GENEL BİR BAKIŞ* **İbrahim SÖNMEZ**	1067
CHARACTERIZATION OF FLY ASH-PERLITE CEMENT LIKE MORTARS FOR NEXT GENERATION CONCRETE INDUSTRY: FROM A VIEWPOINT OF PORE FORMATION AND PHASE ANALYSIS *YENİ NESİL BETON ENDÜSTRİSİNDE UÇUCU KÜL, PERLİT VE ÇİMENTO KARIŞIMI: GÖZENEK VE FAZ OLUŞUMU AÇISINDAN BIR BAKIŞ* **Kemal ŞAHBUDAK, Ali ÖZER**	1085
PRODUCTION OF COPPER POWDER USING COPPER FLOTATION PLANT TAILINGS *BAKIR FLOTASYON TESİS ATIKLARINDAN TOZ BAKIR ÜRETİMİ* **Zeynep YEŞİLYURT, Hüseyin BAŞTÜRKCÜ, Mustafa ÖZER, Ali GÜNEY**	1095
ATIKSULARDAN SİVAS BÖLGESİNE AİT ZEOLİT İLE AĞIRMETAL GİDERİMİ *HEAVY METAL REMOVAL USING ZEOLİTE (SIVAS REGION) FROM WASTEWATERS* **Meltem SARIOGLU (CEBECİ), Mustafa ASKAL**	1103

ATIK KÜLLERİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE İNCELİĞİN ETKİSİ *THE EFFECT OF FINENESS ON THE RECYCLING OF WASTE FLY* **İbrahim ÇAVUŞOĞLU, Demet DEMİR ŞAHİN, Ali OSMAN YILMAZ**	1115
AÇIK OCAK PATLATMALARINDA TOZ DAĞILIMININ GAUSS MODELİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ *EVALUATION OF DUST ISSUES IN OPEN-PIT MINE BLASTS WITH A GAUSSIAN MODEL* **Zekeriya DURAN, Bülent ERDEM, Tuğba DOĞAN**	1129

V. Mine Closure and Rehabilitation / Maden Ocağı Kapama ve Rehabilitasyon

TERKEDİLMİŞ MADEN SAHALARININ TEMİZLENMESİ VE HALEN ÇALIŞAN MADENLERİN FAALİYET SONRASI KAPATILMASI *THE RECLAMATION OF ABANDONED MINING SITES AND MINE CLOSURE AFTER OPERATION OF THE WORKING MINES* **Şinasi ESKİKAYA**	1149
A CASE STUDY OF MONITORING METAL POLLUTION AROUND THE ABANDONED TUNGSTEN MINE WORK: A MILESTONE IN PHYTOREMEDIATION AND PHYTOMINING *TERKEDİLMİŞ TUNGSTEN MADENİ ÇEVRESİNDE METAL KİRLİLİĞİNİN İZLENMESİNE DAİR ÖRNEK ÇALIŞMA: FİTOREMEDİASYON VE FİTOMADENCİLİKTE KİLOMETRE TAŞI* **Hülya ARSLAN, Ümran SEVEN ERDEMİR, Gürcan GÜLERYÜZ, Şeref GÜÇER**	1163
MANAGEMENT OF MINE CLOSURE *MADEN OCAĞI KAPATILMASI YÖNETİMİ* **K. ADAM, M. XENARIOS, G.N. PANAGIOTOU**	1171
ÜRETİMİ BİTMİŞ MADEN SAHALARININ POTANSİYEL KULLANIMINA AİT ÖRNEKLER *EXAMPLES OF POTENTIAL USES OF MINE SITES FOLLOWING MINE CLOSURE* **Görkem ERTUĞRUL, Yaşar KASAP**	1183
ÜRETİMİ TAMAMLANMIŞ MADEN OCAKLARININ DOĞAYA TEKRAR GERİ KAZANDIRILMASI (REHABİLİTASYON) *REHABILITATION PROCESSES FOR COMPLETED MINING ACTIVITIES* **Orhan ALTÜRK, Reyhan ERDOĞAN, Zeynep ZAİMOĞLU**	1205

VI. Simulation and Modeling / Simülasyon ve Modelleme

ETİ MADEN KIRKA SARIKAYA OCAĞI İÇİN PATLATMA KAYNAKLI YER SARSINTISI KESTİRİM GRAFİKLERİNİN OLUŞTURULMASI *CONSTRUCTION OF BLAST INDUCED VIBRATION GRAPHS FOR ETI MADEN KIRKA SARIKAYA BORON MINE* **Türker HÜDAVERDI, Özge AKYILDIZ, Enver FERAH**	1227
DETECTION OF MAIN EFFECTS ON BURNED AREAS ARISING FROM FOREST FIRES *ORMAN YANGINLARI KAYNAKLI YANAN ALANLAR ÜZERİNDE ETKİLİ FAKTÖRLERİN BELİRLENMESİ* **Bülent TÜTMEZ**	1239

MADENCİLİK BÖLGESİNDEKİ ÇİNE DAĞLARI İÇİN ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK TABANLI JEOTURİZM UYGULAMASI *AUGMENTED REALITY BASED GEOTOURISM APPLICATION FOR THE ÇİNE MOUNTAINS IN MINING AREA* **Enis KARAARSLAN, Ömer Faruk DEMİR , Murat GÜL**	1247
EmisBLASTO: A CALCULATOR FOR ESTIMATING DUST AND FUME EMISSIONS FROM BLASTING OPERATIONS *EmisBLASTO: PATLATMA İŞLEMLERİNDEN GELEN TOZ VE DUMAN EMİSYONLARININ BELİRLENMESİ İÇİN BİR HESAPLAYICI* **George N. PANAGIOTOU, Katerina ADAM**	1259
PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİMLERİN ÇEVREYE OLAN ETKİLERİNİN EN AZA İNDİRİLMESİ ÇALIŞMALARINDA KULLANILAN HASAR KRİTER TABLOLARI ÜZERİNE BİR YORUM *A COMMENT ON DAMAGE CRITERIA TABLES USED IN THE STUDY OF MINIMISATION OF ENVIRONMENTAL EFFECTS OF BLASTING INDUCED VIBRATIONS* **Güzin Gülsev UYAR**	1271
AÇIK LİNYİT İŞLETMELERİNDE İÇ DÖKÜM SAHALARININ OPTİMAL ALAN KULLANIM PLANLAMASI VE REKLAMASYONU *OPTIMAL LAND USE PLANNING AND RECLAMATION OF INTERNAL DUMP SITE IN LIGNITE OPEN PIT* **Tahir MALLI**	1287
TAKING THE NEXT STEP: USE OF ONLINE ANALYTICAL PROCESSING (OLAP) FOR ENVIRONMENTAL DATA ANALYSIS *BİR SONRAKİ AŞAMA: ÇEVRE VERİLERİNİN ANALİZİNDE ÇEVRİMİÇİ ANALİTİK İŞLEME (OLAP) KULLANIMI* **M. Mustafa KAHRAMAN, Sean DESSUREAULT**	1301
ATMOSFERİK DİSPERSİYON VE TOZ MODELLEMESİ *ATMOSPHERIC DISPERSION AND DUST MODELING* **Özgür GENÇ, Orhan CERİT**	1309
DEVELOPMENT OF IMMEDIATE RESPONSE PLAN FOR FUGITIVE DUST IN COAL MINES *KÖMÜR MADENLERİNDE KAÇAK TOZA KARŞI ACİL MÜDAHALE PLANI GELİŞTİRİLMESİ* **M. Mustafa KAHRAMAN, Mustafa ERKAYAOGLU**	1327
A USE OF TIME-LAPS 3D GEO-ELECTRICAL INVERSED MODELS FOR MONITORING ACID MINE DRAINAGE WITHIN A COAL WASTE PILE-A CASE STUDY *KÖMÜR ATIK YIĞINLARINDAKI ASİT MADEN DRENAJININ İZLENMESİ AMACI İLE HIZLANDIRILMIŞ 3D JEOELEKTRİKSEL TERS ÇEVRİLMİŞ MODELLERİN KULLANIMI– BİR VAKA ÇALIŞMASI* **Behshad Jodeiri SHOKRI, Fojan SHAFAEI, Faramarz Doulati ARDEJANI**	1337
GÜNEŞ ENERJİLİ TEKNE İLE GÖLLERİN 3 BOYUTLU MODELLENMESİ *3D MODELLING OF LAKES USING SOLAR ENERGY POWERED VESSEL* **Cihan DOĞRUÖZ, Abdullah KEÇECİLER, Ümit ASLAN, M. Serkan AKKİRAZ**	1347

I

Mining, Environment, and Laws

Madencilik, Çevre ve Kanunlar

TÜRKİYE'DE MADEN ATIKLARI YÖNETİMİ VE ÇEVRESEL BOYUTU ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

A RESEARCH ON MINING WASTE MANAGEMENT AND ENVIRONMENTAL PERSPECTIVE IN TURKEY

M. Suat DELİBALTA[1*], Fehiman ÇİNER[2]

1: Ömer Halisdemir Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Niğde, TÜRKİYE

2: Ömer Halisdemir Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Niğde, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: msdelibalta@ohu.edu.tr

ÖZET: Madencilik; sanayi ve toplumsal yaşamın en önemli faaliyetlerinden birisidir. Madenciliğin amacı, ulusal kalkınma ve sosyo-ekonomik gelişme için gerekli olan enerji ve doğal hammaddeleri endüstriye sağlamaktır. Ancak, madencilik faaliyetleri sırasında ve sonrasında kaçınılmaz olarak; su rejimi, bitki örtüsü ve arazi bozulmaları, gaz emisyonları, atıklar, toz ve gürültü gibi pek çok çevresel problem meydana gelmektedir. Maden atıkları gerek miktar, gerekse farklı karakteristik (tehlikeli, tehlikesiz, inert) özellikler göstermeleri bakımından dikkatle yönetilmesi gereken bir atık türüdür. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2014 yılı verilerine göre; imalat sanayi iş yerleri, termik santraller, organize sanayi bölgeleri, maden işletmeleri ve sağlık kuruluşları tarafından 3,5 milyon tonu tehlikeli olmak üzere toplam 796 milyon ton atık yaratılmıştır. Bu atığın 755 milyon tonunu madencilik sektöründen kaynaklanan dekapaj malzemesi/pasa atıkları oluştururken, tehlikeli atığın ise 2,4 milyon tonu madencilik sektöründen kaynaklandığı tespit edilmiştir. Maden İşletmeleri Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre, işyerleri 2014 yılında 220 milyon m^3 su çekmiştir. Aynı yıl deşarj edilen toplam 139 milyon m^3 atıksuyun %73,4'ü denize, göle veya akarsuya, %8,9'u atık barajına, %6,8'i ocak içine, %3,5'i araziye, %2,9'u foseptiğe ve %4,5'i diğer alıcı ortamlara deşarj edilmiştir. Ayrıca, ankete katılan maden işletmeleri tarafından toplam 24 milyon m^3 atıksu arıtılmıştır. Arıtılan atıksuyun %92,7'sine fiziksel ya da kimyasal arıtma, %7,3'üne ise biyolojik arıtma uygulanmıştır. Çevresel harcamalar 20,7 milyar lira olarak gerçekleşirken, bunun %76,9'u kamu sektörü, %23,1'i özel sektör tarafından karşılanmıştır. Bu çalışmada; ekolojik ve

teknolojik yönden atık bertarafı ve geri dönüşüm metotları- madencilik faaliyetleri sonrası açığa çıkan atıkların çevresel etkileri ve yönetimi için- ortaya konulmuştur.
Anahtar Kelimeler: Madencilik, Atık yönetimi, Çevre, Bertaraf, Geri dönüşüm
ABSTRACT: *Mining is one of the most important activities of industry and social life. The aim of mining is to provide the energy and natural raw materials needed for national development and socio-economic development to the industry. However, there are inevitably many problems such as vegetation and land degradation, water regimes, gas emissions, wastes, dust and noise during and after mining activities. Mining wastes are one of the types of wastes that must be carefully managed in terms of both quantities and different characteristics (e.g. hazardous, non-hazardous, inert). According to the data of the Turkish Statistical Institute (TURKSTAT) 2014, a total of 796 million tons of waste were generated by the manufacturing industry, thermal power plants, organized industrial zones, mining enterprises and health institutions, 3.5 million tons of which were dangerous. It was determined that 755 million tons of this waste were constituted pickling material/uneconomic rock waste from the mining sector while 2.4 million tons of hazardous waste were originated from the mining sector. According to the results of the Statistics Survey for Water, Wastewater and Waste of Mine Management, workplaces draw 220 million m^3 of water in 2014. 139 million m^3 of released wastewater were discharged into the sea, lake or stream (73.4%), tailings dam (8.9%), quarry (6.8%), land (3.5%), septic tank (2.9%), other receiving media (4.5%). Also, a total of 24 million m^3 of wastewater of them were treated by the mining enterprises that join survey. 92.7 and 7.3% of the treated wastewater were subjected to physical or chemical and biological treatment, respectively. Environmental expenditures were 20.7 billion TL. 76.9 and 23.1% of them were spent by the public and private sectors, respectively. In this study, considering ecological and technological aspects, waste disposal and recycling methods were put forward for management and environmental impacts of wastes disposed after mining activities.*
Keywords: *Mining, Waste management, Environment, Disposal, Recycling*

1. GİRİŞ

İçinde bulunduğumuz yüzyıl birçok teknolojik imkânı insanlığın hizmetine sunarken, bir yandan da insanlığın ortak değeri olarak kabul edilen doğal çevreden geri getirilmesi

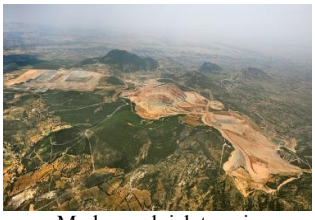
zor, hatta imkânsız bazı varlıkları da alıp götürmektedir. Hızlı ekonomik büyüme, kentleşme, nüfus artışı ve tüketim seviyesinin yükselmesi, giderek artan miktarlarda atık oluşumuna yol açmaktadır. Bu atıklar; insan ve çevre sağlığı açısından potansiyel tehlike oluşturmakta, atıkların çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi başta doğa ve insan sağlığı olmak üzere ekonomiyi de yakından ilgilendirmektedir.

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de çevre bilincinin sürekli gelişme göstermesi neticesinde; atık insanların kurtulmak istediği bir madde olmaktan çıkıp, doğal kaynakların korunmasına yardımcı olan, birçok sektöre hammadde sağlayan, yeniden ürüne veya enerjiye dönüştürülmesinde kullanılan, kısaca ekonomik değeri yüksek bir meta haline gelmiştir (ÇŞB, 2012; Uzunoğlu, 2014).

Maden yataklarının aranması, üretimi ve zenginleştirilmesi süreçlerinde uygulanan işlemler; hava, toprak, su kaynaklarını, dolayısıyla çevreyi ve çevrede yaşayan canlıları etkilemektedir. Genel olarak; açık işletme madenciliğinin çevre üzerindeki olumsuz etkileri, yeraltı madenciliği ve cevher hazırlama çalışmalarına oranla çok daha fazladır (Şekil 1).

Yeraltı maden işletmesi

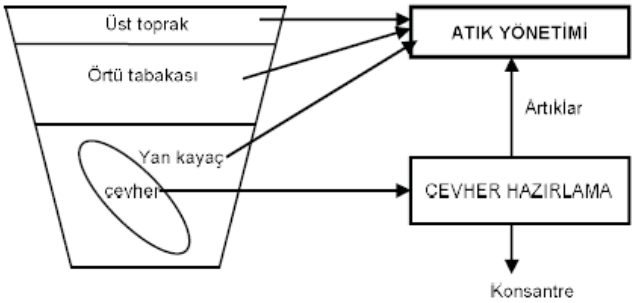
Cevher hazırlama zenginleştirme tesisi



Maden açık işletmesi

Şekil 1. Maden işletme yöntemleri ve çevre ilişkileri (Delibalta, 2017)

Madencilik faaliyetlerinde atık/ürün oranına bağlı olarak büyük miktarlarda atık oluşmaktadır. Maden atıkları; üst toprak, örtükazı (dekapaj), atık kaya ve zenginleştirme atıklarından meydana gelmektedir (Çetiner vd., 2006). Madencilik faaliyetlerinin farklı aşamalarında ortaya çıkan maden atıkları ve yönetimi Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Maden atıkları (Karapınar, 2009)

Cevher zenginleştirme işlemleri sonucunda ortaya çıkan atıkların nereye depolanacağı, bu atıkların duraylılığı ve emniyeti, su ve toprak kalitesi üzerindeki etkileri önemli çevresel sorunlardır. İri taneli veya ince taneli zenginleştirme atıkları, yeraltı maden ocaklarındaki boşlukları doldurmak için kullanılabilir. Ancak; uygulamada birçok maden zenginleştirme atıkları, atık havuzlarında veya yığınlar halinde depolanmaktadır.

Dünyadaki birçok ülkenin başlıca sorunu olan atık yönetimi, ülkemizde de özenle yürütülen çalışmaların başında yer almakta olup, bu çalışmalar toplumsal ve politik duyarlılığın artması ile birlikte son 10 yılda çok ciddi bir gelişme göstermiştir. Özellikle, Avrupa Birliği (AB) üyelik süreci de bu çalışmaları önemli oranda tetikleyen bir unsur olmuştur. Bu maksatla; Türkiye'de maden atıkları yönetimi ve çevresel boyutu, güncel gelişmeler ile ele alınarak incelenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Maden atıkları; gerek miktar, gerekse farklı karakteristik (tehlikeli, tehlikesiz, inert) özellikler göstermeleri bakımından, dikkatle yönetilmesi gereken bir atık türüdür. Bu nedenle; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığınca sürdürülen ilgili mevzuat çalışmaları detaylı olarak ortaya konulacaktır. Ayrıca, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2014 yılı verilerine göre; imalat sanayi iş yerleri, termik santraller, organize sanayi bölgeleri, maden işletmeleri ve sağlık kuruluşları tarafından beyan edilen, Maden İşletmeleri Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri anket sonuçları değerlendirilecektir.

2.1 Türkiye'de Atık Yönetimi Mevzuatı

Başta 1982 Anayasamızın 56.Maddesi olmak üzere, birçok yasada çevrenin korunması ve geliştirilmesine yönelik düzenlemeler yer almakta ve bu düzenlemelerin sayısı her geçen gün artmaktadır. Çevre mevzuatının en kapsamlı alanlarından birisini de atık yönetimine ilişkin düzenlemeler oluşturmaktadır (Çizelge 1).

Çizelge 1: Türkiye atık yönetimi mevzuatı ve kronolojik gelişimi (ÇŞB, 2017)

YIL	KANUNLAR	YÖNETMELİKLER	TEBLİĞLER/GENELGELER
1983	Çevre Kanunu		
1991		Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (Mülga)	
1993		Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (Mülga)	
1995		Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (Mülga)	
2001			Atıkların Ek Yakıt Olarak Kullan. Uyulacak Kurallar Hk. Tebliğ (Mülga)
2004	-Büyükşehir Belediyesi Kanunu -Türk Ceza Kanunu (181, 182. Maddeler)	-Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği -Ambalaj ve Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (Mülga) -Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği (Mülga) -Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği	
2005	-Belediye Kanunu -İl Özel İdaresi Kanunu	-Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (Mülga) -Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği (Mülga) -Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (Mülga)	-Atıkların Ek Yakıt Olarak Kullan. Uyulacak Kurallar Hk. Tebliğ (Mülga) -Tehlikeli Atık Taşıma Genelgesi (Mülga)
2006	Çevre Kanunu (10. Değişiklik)	Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği	-Tıbbi Atıkların Sterilizasyonu Hakkında Genelge (Mülga) -Tıbbi Atık Yılsonu Raporları Hakkında Genelge -Katı Atık Bertaraf Tesisleri İş Teslim Planı Hk. Genelge
2007		PCB/PCT'lerin Kontrolü Yönetmeliği - Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (Mülga)	-Katı Atık Karakterizasyonu ve Katı Atık Bertaraf Tesisleri Bilgi Güncellemesi Genelgesi
2008		-Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik (Mülga) -Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği -Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (Mülga) -EEE'lerde Bazı Zararlı Maddelerin Kullanımının Sınırlandırılmasına Dair Yönetmelik (Mülga)	-Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıkları Yetki Devri Genelgesi -Tıbbi Atıkların Güvenli Bertarafı Hakkında Genelge (Mülga)

Çizelge 1: Türkiye atık yönetimi mevzuatı ve kronolojik gelişimi (ÇŞB, 2017) (Devamı)

YIL	KANUNLAR	YÖNETMELİKLER	TEBLİĞLER/GENELGELER
2009		-Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hk. Yönetmelik -Çevre Kanununca Alınması Gererken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmelik (Mülga)	-Tanker Temizleme Tesisleri Tebliği
2010		-Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik -Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik	-Entegre Atık Yönetim Planı Genelgesi -Tehlikesiz ve İnert Atıkların Geri Kazanımı Tebliği (Mülga) -İnert Maden Atıklarının Alan Islahı, Restorasyon Dolgu Maksadıyla Kullanımı veya Depolanmasına İlişkin Genelge -Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmeliğe İlişkin Genelge -Tıbbi Atıkların Bertarafına Dair Genelge
2011		-Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği	-Düzenli Depolama Tesisi Uygulama Projeleri Hazırlanmasına İlişkin Genelge (Mülga) -Katı Atık Bertaraf ve Ön İşlem Tesisleri Proje Onayı Genelgesi -Bazı Tehlikesiz Atıkların Geri Kazanımı Tebliği -Ömrünü Tamamlamış Araçların Depolanması, Arındırılması, Sökümü ve İşlenmesine İlişkin Teknik Usuller Tebliği -Düzenli Depolama Tesisleri Denetim Talimatnamesi (2011/13) -Maden Atıklarının Düzenli Depolanması ve Diğer Düzenli Depolama Tesislerinin Teknik Düzenlemesine İlişkin Genelge (2011/12) -Atık Ara Depolama Tesisleri Tebliğ
2012		-Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaları (EEE) Kontrolü Yönetmeliği	-Sondaj Çamurlarının ve Krom Madeninin Fiziki İşleme Tabi Tutulması Sonucu Ortaya Çıkan Atıkların Bertarafına İlişkin Genelge (2012/15) -Ambalaj Atıkları Yönetim Planının Hazırlanmasına, Uygulanmasına ve İzlenmesine İlişkin Usul ve Esaslar -Yetkilendirilecek Kuruluşlarda Aranacak Kurumsal, Teknik ve Mali Özellikler ile Buna İlişkin Usul ve Esaslar
2013			-Atıkların Karayolunda Taşınmasına İlişkin Tebliğ (Mülga)
2014		-Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği	-Düzenli Depolama Tesisi Uygulama Projeleri Hazırlanmasına İlişkin Genelge -Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği -Atık Getirme Merkezi Tebliği
2015		-Atık Yönetimi Yönetmeliği -Maden Atıkları Yönetmeliği -Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği	- Kompost Tebliği -Mekanik Ayırma, Biyokurutma ve Biyometanizasyon Tesisleri ile Fermente Ürün Yönetimi Tebliği -Atıkların Karayolunda Taşınmasına İlişkin Tebliğ
2017		-Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği	

2.2 Maden Atıkları Yönetmeliği ve Yenilikler

Ülkemizde maden işletmeleri ve atıkları, halen yürürlükte olan (Çizelge 1) ve aşağıda kısaca belirtilen pek çok kanun ve yönetmeliklere tabidir. Söz konusu mevzuatlar zaman içinde değiştiği için, işletme sürecinde mutlaka yürürlükte olan ulusal ve uluslararası mevzuatlar araştırılmalı ve dikkate alınmalıdır. Bunlardan bazıları;

• Çevre Kanunu,
• Maden Kanunu,
• İş Kanunu,
• Orman Kanunu,
• Çevresel Etki Değerlendirmesi-ÇED Yönetmeliği,
• Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği,
• Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği,
• Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği,
• Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği,
• Diğer ilgili mevzuatlar (Çetiner vd., 2006; Erdemoğlu, 2016).

Madencilik faaliyetleri sonucu oluşan atıkların yönetimini disiplin altına almak için 2006/21/EC sayılı Maden Atıkları Direktifi kapsamında hazırlanan taslak Maden Atıkları Yönetmeliği (MAY) 2014 yılı Eylül ayında resmi görüşlere açılmış, 15.07.2015 tarihli ve 29417 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. Yönetmeliğin amacı; madenlerin aranması, çıkarılması, hazırlanması/zenginleştirilmesi veya depolanması sonucunda ortaya çıkan atıkların üretiminden nihai bertarafına kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde yönetilmesine ilişkin usul ve esasları düzenlemektir. Söz konusu yönetmelik bir değişiklik olmaması halinde, 15 Temmuz 2017 tarihinden itibaren yürürlüğe girmesi beklenmektedir (Aka, 2016). Yönetmeliğin içeriğinde;

- Maden atıklarının karakterizasyonu ve maden atık bertaraf tesislerinin sınıflandırılması,
- Maden atık bertaraf tesislerinin geçirimsizlik sistemi, tesis kapatma işlemleri,
- Atık yönetimi ve acil eylem planları,
- Çevre izin ve lisans süreci,
- Maden atık bertaraf tesislerinin çevresel izlemesi,

- Çeşitli ve son hükümler (sondaj çamurları, geçici depolama, inert atıklar, kazı boşluklarının doldurulması, alıcı ortamda bertaraf) konularına ilişkin hükümler yer almaktadır. Kısaca, yönetmeliğin ana başlıkları aşağıda verilmektedir.

2.2.1 Maden atığının karakterizasyonu

Maden atığı karakterizasyonunda yer alan bazı tanımlar aşağıdaki gibidir:

Atık: Üreticisi veya fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyali,

Maden atığı: Madenlerin aranması, çıkarılması, hazırlanması ve zenginleştirilmesi veya depolanması sonucunda oluşan katı veya şlam/sulu çamur şeklinde madde veya malzemeyi (Çizelge 2-3),

Tehlikeli maden atığı: Atık Yönetimi Yönetmeliği (AYY)'nin Ek-3/A'sında yer alan tehlikelilik özelliklerinden birini ya da birden fazlasını taşıyan, Ek-4'te altı haneli atık kodunun yanında yıldız (*) işareti bulunan maden atıklarını ve/veya MAY'nin Ek-3'ünde belirtilen analizler sonucunda ilgili mevzuatta yer alan sınır değerleri aşan maden atıklarını,

Tehlikesiz maden atığı: AYY'nin Ek-4 atık listesinde yıldız (*) işareti bulunmayan maden atıklarından, MAY'nin Ek-3'ünde belirtilen analizler sonucunda ilgili mevzuatta yer alan sınır değerleri aşmayanları,

İnert maden atığı: MAY Ek-4/A'da verilen listede yer alan veya Ek-4/B'ye göre belirlenen maden atıklarını tanımlamaktadır.

Çizelge 2: Maden atıklarının genel sınıflandırılması (RG, 2015a)

Atık Kodu	Atık Kodu Tanımı	Açıklama
01	Madenlerin aranması, çıkarılması, işletilmesi, fiziki ve kimyasal işleme tabi tutulması sırasında ortaya çıkan atıklar	
01 01	Maden kazılarından kaynaklanan atıklar	Pasalar
01 03	Metalik minerallerin fiziki ve kimyasal olarak işlenmesinden kaynaklanan atıklar	Cevher zenginleştirme atıkları
01 04	Metalik olmayan minerallerin fiziki ve kimyasal işlemlerinden kaynaklanan atıklar	Cevher zenginleştirme atıkları
01 05	Sondaj çamurları ve diğer sondaj atıkları	Sondaj atıkları

Çizelge 3: Maden atıklarının detaylı olarak sınıflandırılması (RG, 2015a)

Atık Kodu	Atık Kodu Tanımı	Açıklama
01	**Madenlerin aranması, çıkarılması, işletilmesi, fiziki ve kimyasal işleme tabi tutulması sırasında ortaya çıkan atıklar**	
01 01	**Maden kazılarından kaynaklanan atıklar**	
01 01 01	Metalik maden kazılarından kaynaklanan atıklar	
01 01 02	Metalik olmayan maden kazılarından kaynaklanan atıklar	
01 03	**Metalik minerallerin fiziki ve kimyasal olarak işlenmesinden kaynaklanan atıklar**	
01 03 04*	Sülfürlü cevherlerin işlenmesinden kaynaklanan asit üretici maden atıkları	A
01 03 05*	Tehlikeli madde içeren diğer maden atıkları	M
01 03 06	01 03 04 ve 01 03 05 dışındaki diğer maden atıkları	
01 03 07*	Metalik minerallerin fiziki ve kimyasal işlenmesinden kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren diğer atıklar	M
01 03 08	01 03 07 dışındaki diğer tozumsu ve pudramsı atıklar	
01 03 09	01 03 07 dışındaki alüminyum oksit üretiminden çıkan kırmızı çamur	
01 03 99	Başka bir şekilde tanımlanmamış atıklar	

Atık listesinde (*) kodlu atıklardan; (**A**) işaretli atıklar AYY Ek-3/A'da listelenen özelliklerden bir veya daha fazlasına sahiptir ve/veya Ek-3/B'de yer alan tehlikeli atık konsantrasyonu sınır değerlerini aşanlar tehlikeli atık sınıfına girer. (**M**) işaretli atıkların tehlikelilik özelliklerinin belirlenmesi gerekir, Ek-3/A'da listelenen özelliklerden H3-H8 ile H10 ve H11 ile ilgili değerlendirmeler, Ek-3/B'de yer alan konsantrasyon değerleri esas alınarak yapılır.

Maden atığının tehlikeli olup olmadığını belirlemek amacıyla; Atık Yönetimi Yönetmeliği'nin Ek-4 atık listesi, tehlikelilik özelliklerinin belirlenmesinde Ek-3/A'da verilen tehlikelilik özellikleri ve Ek-3/B'de verilen sınır değerler kullanılır (RG, 2015b). Maden atıklarının karakterizasyonu ve mühendislik özellikleri genel olarak; Yüksek su içerikli, Düşük – orta geçirimlilik, Düşük plastisite, Düşük – orta kesme (makaslama) dayanımı, Yüksek – orta sıkıştırılabilirliktir (Vardar, 2012; Yüce, 2012).

2.2.2 Maden atık tesisleri sınıflandırma kriterleri

Maden atık tesisleri aşağıda yöneltilen sorulara verilen cevaplara göre kategorize edilir.

- İnsan ve çevre sağlığı açısından ciddi tehlike var mı?
- Tesisin inşa edileceği alan veya potansiyel etki alanı ÇED Yönetmeliği Ek-5'deki duyarlı yöreler listesinde mi?
- Malzeme yığını stabilitesine yönelik olası bir kayma/heyelan riski var mı?
- Belirli bir eşik değerin üzerinde tehlikeli atık içeriği var mı?
- Tesisteki mevcut tehlikeli kimyasal ve müstahzarların düzeyi yüksek mi?

Evet → Kategori A Hayır → Kategori B

2.2.3 Maden atık yönetim planı

- Tesisin 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritadaki yeri, koordinatları,
- Tesisin vaziyet planı, (idari/teknik üniteler 1/5000-1/1000 ölçekli)
- Cevherin bulunduğu formasyonun jeolojik ve litolojik yapısı, mineralojisi, cevherleşme yapısı (masif, damar tipi, vs.), jeokimyası, cevherin yataklanma şekli, boyutu ve diğer jeolojik birimlerle olan kontak ilişkisi, alterasyon durumu,
- Madencilik faaliyetleri sonucu oluşan atıkların fiziksel ve kimyasal özellikleri,
- Proseste kullanılacak kimyasal maddelerin isimleri ve özellikleri (malzeme güvenlik bilgi formları),
- Maden atığının depolandığı alanın mineralojik, jeoteknik ve jeokimyasal davranış özelliklerinin belirlenmesi,
- Maden atığının karakterizasyonu, atığın miktarı ve bertaraf tesisinin sınıfı,
- Maden atıklarının geri kazanım, yeniden kullanım ya da maden sahası dışında başka bir sektörde hammadde olarak kullanılması planlanıyor ise, atığın miktarı, atık kodu, proses bilgileri, çevresel etkilerine ilişkin bilgiler,
- Maden atık yönetiminin çevre ve insan sağlığı üzerine muhtemel etkileri, işletme, kapatma ve kapatma sonrasında alınacak önlemler;
  - -Maden atığı oluşmadan önceki mevcut su ve toprak özelliklerinin incelenmesi,
  - -Maden atıklarının su kaynakları, hava, toprak ve canlı yaşamı üzerine olabilecek etkileri ve alınacak önlemler,
- Dahili acil eylem planı,
- Çevresel izleme planı, bilgilerini içermelidir (RG, 2015b; Aka, 2016).

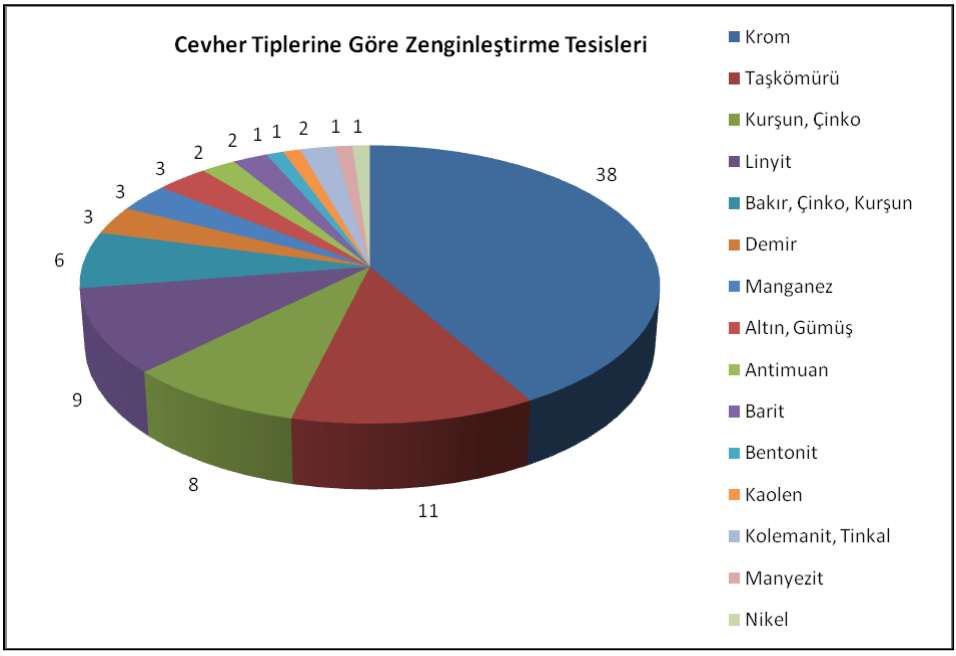
2.2.4 Finansal garanti

Kategori A sınıfı maden atık bertaraf tesis işletmecileri; faaliyetleri nedeniyle oluşacak bir kaza dolayısıyla üçüncü şahıslara ve çevreye verebilecekleri zararlara karşı ve maden atık bertaraf tesisinin rehabilitasyonu için finansal garanti yaptırmak zorundadırlar (Aka ve Hamarat, 2015; Aka, 2016). Bununla ilgili usul ve esaslar; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafınca belirlenmektedir.

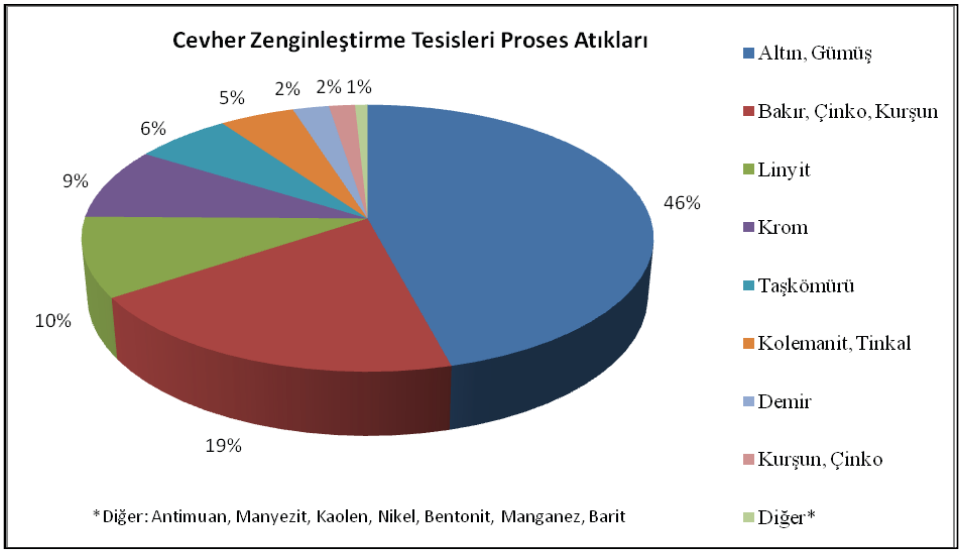
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Madenler; ülkelerin önemli doğal ve ekonomik kaynaklarındandır. Globalleşme ile birlikte bu kaynaklara duyulan talep her geçen gün artmakta olup, madenlerin yanlış ve verimsiz kullanımı da doğanın tahribine yol açmaktadır. Madencilik sektörü belirli karakteristik özelliklere sahiptir ve bu özellikleriyle diğer sektörlerden ayrılmaktadır. Madenler yenilenemeyen kaynaklardır ve oluştukları yerlerden çıkarılmak zorundadır. Bu amaçla; kurulacak tesisler ve atık havuzları, teknik ve ekonomik unsurların yanı sıra mutlaka çevre unsurları da dikkate alınarak inşa edilmeli ve tüm bu faaliyetler gerçekleştirilirken çevre kirliliğini en aza indirecek önlemlerin alınması gerekmektedir.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2012 yılı verilerine göre, ülkemizde 91 adet cevher hazırlama ve zenginleştirme tesisi bulunmaktadır. İşlenen cevhere göre tesis dağılımı aşağıda yer almaktadır (Şekil 3). Söz konusu 91 tesisten yıllık olarak 26.481.505 ton atık ortaya çıkmakta olup, işlenen cevhere göre dağılımları aşağıda verilmektedir (Şekil 4).



Şekil 3. Cevher tiplerine göre zenginleştirme tesisleri (ÇŞB, 2012)



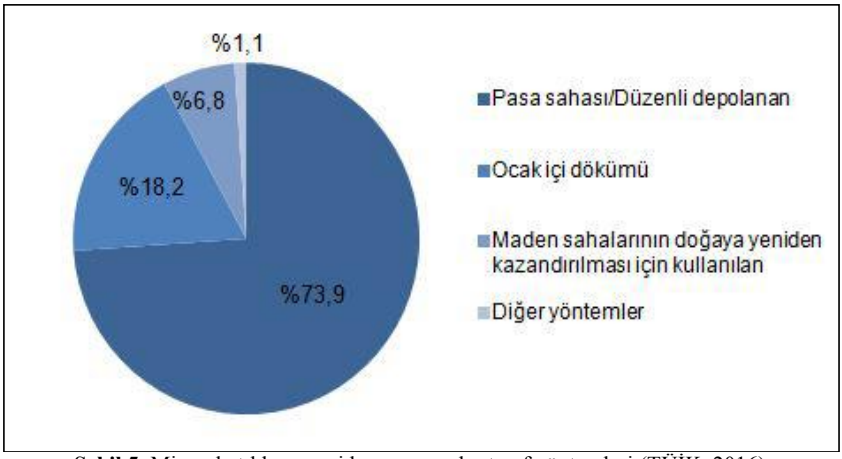
Şekil 4. Cevher zenginleştirme tesisleri proses atıkları (ÇŞB, 2012)

3.1 Maden Atıklarının Bertaraf ve Uzaklaştırılması Teknikleri

Ülkemizin atık yönetim politikası; a) kaynağında atık azaltılması yani az atık üretimi (waste minimization), b) mümkün olduğu durumlarda atıkların yeniden kullanılması (reuse), c) geri kazanım (recovery) ve d) geri dönüşüm (recycling) şeklindedir. Tüm bu seçeneklerin değerlendirilemeyeceği durumlarda ise, atıkların bertaraf edilmesi söz konusudur. Atıkların bertarafı; bir anlamda kirliliğin bir noktadan başka bir noktaya taşınması demek olduğundan, az atık üretilmesi atık yönetiminin ilk basamağını oluşturmaktadır. Atık bertarafı ve uzaklaştırılmasında;

- Ekonomik kazanım / geri dönüşüm,
- Nehir ve denize deşarj,
- Yeraltında depolama,
- Susuzlandırma sonrası kuru depolama,
- Atık barajlarında depolama, teknikleri kullanılmaktadır (Çetiner vd., 2006; Delibalta, 2013).

TÜİK Haber Bülteni verilerine göre 2014 yılında maden işletmelerinde 755 milyon ton atık oluşmuştur. Mineral atıkların %99,7'sinin dekapaj malzemesi / pasa olduğu tespit edilmiştir. Bu atıkların geri kazanım ve bertaraf yöntemleri ise Şekil 5'te sunulmuştur. Ülkemizde halen lisanslı ve geçici faaliyet belgeli olarak toplam 36 maden atığı düzenli depolama tesisi bulunmaktadır.



Şekil 5. Mineral atıkların geri kazanım ve bertaraf yöntemleri (TÜİK, 2016)

Maden işletmeleri tarafından 2014 yılında 220 milyon m^3 su çekilmiştir.

- Çekilen suyun %54,7'si kuyu, %25,4'ü deniz ve kaynak, %6,7'si ocak içi su, %4,2'si akarsu, %2,3'ü göl-gölet ve %6,7'si diğer su kaynaklarından temin edilmiştir.

Maden işletmeleri tarafından aynı yıl 139 milyon m^3 atıksu deşarj edilmiştir.

- Atıksuyun %73,4'ü denize, göle veya akarsuya, %8,9'u atık barajına, %6,8'i ocak içine, %3,5'i araziye, %2,9'u foseptiğe ve %4,5'i diğer alıcı ortamlara deşarj edilmiştir.

Maden işletmeleri tarafından aynı yıl 24 milyon m^3 atıksu arıtılmıştır.

- Arıtılan atıksuyun %92,7'sine fiziksel ya da kimyasal arıtma, %7,3'üne ise biyolojik arıtma uygulanmıştır.

Türkiye'de termik santraller tarafından 2014 yılında %98'i denizden olmak üzere 6,5 milyar m^3 su çekilmiş ve %98'i soğutma suyu olarak kullanılmıştır. 6,4 milyar m^3 atıksuyun %99,6'sı denize deşarj edilmiş, soğutma suları dışında kalan 92,5 milyon m^3 atıksuyun 9 milyon m^3'ü arıtılmıştır. Termik santrallerde 9,1 bin tonu tehlikeli olmak üzere, toplam 24,2 milyon ton atık oluşmuştur (TÜİK, 2016).

4. SONUÇLAR

Madencilik, tarih boyunca uygarlıkları şekillendiren temel sektörlerden biri olmuştur. Özellikle, sanayi devriminden bu yana insanlığın gelişim sürecinin son iki yüz yılındaki baş döndürücü ilerlemesinde kömür ve demirin önemi büyüktür. İçinde bulunduğumuz yüzyılda da, madencilik faaliyetleri olmaksızın insan yaşamının sürdürülebilmesi olası

değildir. Bugün kullandığımız arabalardan, içinde yaşadığımız evlere, bilgisayarlardan telefonlara kadar yaşamımız için vazgeçilmez olan hemen her şey, madencilik faaliyetleri sonucu elde edilen ürünler sayesinde var olmaktadır. Madenler; milyonlarca yılda oluşan, tüketildiğinde yenilenemeyen kaynaklardır.

Ülkemizin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine daha büyük bir hızla ulaşması ve sanayi sektörümüzün uluslararası rekabet gücünün artması çevre dostu teknolojilere geçmesi ile mümkün olacaktır. Bu da, atıkların geri kazanım oranının en üst seviyeye çıkarılması için entegre atık yönetimi alanındaki çalışmalara bağlıdır. Entegre atık yönetiminin temeli; atık yönetimi, atık önleme, atık azaltma, yeniden kullanım, geri dönüşüm, enerji geri kazanma, bertaraf hiyerarşisine dayanmaktadır. Buna göre;

- Maden atıklarının geçici depolanması, taşınması ve işlenmesi sırasında su, hava, toprak, bitki, hayvan ve insanlar için risk yaratmayacak, gürültü, titreşim ve koku yoluyla rahatsızlığa neden olmayacak, doğal çevrenin olumsuz etkilenmesini önleyecek ve böylece çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek yöntem ve işlemlerin kullanılması,
- Maden atıkların toprağa, denizlere, göllere, akarsulara ve benzeri alıcı ortamlara dökülmesi, doğrudan dolgu yapılması ve depolanması suretiyle çevrenin kirletilmemesi,
- Maden atıklarının sürdürülebilir çevre ve insan sağlığı ile sürdürülebilir kalkınma prensipleri gözönünde bulundurularak yönetilmesinde mevcut en iyi teknik ve teknolojilerin seçilmesi ve uygulanması,
- Maden atıklarının, lisanslı geri kazanım ve bertaraf tesisleri dışında yetkisiz kişi, kurum ve kuruluşlar tarafından geri kazanılmaması ve bertaraf edilmemesi,
- Maden atıkları, madencilik faaliyetinden kaynaklanmayan ve birbiriyle reaksiyon verebilecek diğer atıklarla karıştırılarak aynı depolama tesisinde depolanmaması,
- Maden atıklarının depolandığı bertaraf tesislerinin, kapatma işlemlerinin kısa sürede uygun olarak yapılabilmesi ve kullanım ömrünün artırılması amacıyla, atığa susuzlaştırma/kurutma işlemlerinin uygulanmasına öncelik verilmelidir.

Dünya medeniyetleri madenler sayesinde oluşmuştur. Sürdürülebilir kalkınmanın gereği olarak, çevre ile uyumlu madencilik faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi şarttır. Bu bağlamda; ya madencilik ya çevre dayatmasından

kaçınılarak, madencilik faaliyetlerinin çevreye en az zarar verecek şekilde planlanması ve yürütülmesi sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

Aka, M. ve Hamarat, E., 2015. Maden Atıklarının Yönetimi (Çevre Görevlisi Eğitimi), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Ankara, 48 slayt.

Aka, M., 2016. Maden Atıklarının Yönetimi & Maden Atıkları Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Ankara, 27 slayt.

Çetiner, E. G., Ünver, B., Hindistan, M. A., 2006. Maden Atıkları ile İlgili Mevzuat: Avrupa Birliği ve Türkiye, Madencilik, Cilt 45, Sayı 1, 23 – 34.

ÇŞB, 2012. Türkiye'de Atık Yönetimi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Ankara, 48s.

ÇŞB, 2017. Türkiye'de Atık Yönetimi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Ankara, 64s.

Delibalta, M.S., 2013. Maden Atıklarının Yönetiminde Su ve Çevre Rehabilitasyon, Atık Yönetimi Sempozyumu 2013, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, 14 – 18 Nisan, Antalya, 83 slayt.

Delibalta, M.S., 2017. Maden Atıkları Yönetiminde Su ve Arazi Rehabilitasyon Teknikleri, Atık Yönetimi Sempozyumu 2017, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 26 Şubat – 2 Mart, Antalya, 60 slayt.

Dönmez, E. ve Değirmen, N., 2016. Avrupa Birliği (AB) ve Türkiye'deki Atık Yönetimi Uygulamalarının Karşılaştırılması, ISEM2016, 3rd International Symposium on Environment and Morality, Alanya, Turkey, pp.249-258.

Erdemoğlu, M., 2016. Madencilikte Çevre Planlaması, Ders Notları, 242s.

RG, 2015a. Atık Yönetimi Yönetmeliği, Resmi Gazete, Tarih 02.04.2015, Sayı 29314, 45s.

RG, 2015b. Maden Atıkları Yönetmeliği, Resmi Gazete, Tarih 15.07.2015, Sayı 29417, 20s.

Karapınar, N., 2009. Maden Atık Yönetimi; Macun Teknolojisi Kullanımı, Madencilik, Cilt 48, Sayı 1, 31– 42.

TÜİK, 2016. Maden İşletmeleri Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Haber Bülteni, Ankara, http://www.tuik.gov.tr, 2s.

Uzunoğlu, H., 2014. Çevremizi Kirleten Atıklar ve Atık Yönetiminin Önemi, AR&GE Bülten, İzmir Ticaret Odası, 2014 Haziran- Sektörel, 25-31.

Vardar, M., 2012. Madencilikte Atık-Artık Sorunu Çevresel Risk Değerlendirmesi, Madencilikte Çevre Yönetimi Semineri, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Afyonkarahisar, 383-400.

Yüce, A.E., 2012. Madenlerde Atık Uzaklaştırma Yöntemleri ve Atık Yönetimi, Madencilikte Çevre Yönetimi Semineri, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Afyonkarahisar, 339-382.

ÇED SÜRECİNDE İZLEME-KONTROL VE DENETİM İLE MADENCİLİK FAALİYETLERİNDE UYGULAMASI

MONITORING-CONTROL AND AUDIT WITH IMPLEMENTATION BY MINING ACTIVITIES OF EIA PROCESS

Ersan DEĞERLİ*

TME Maden Enerji, Ankara

*: Sorumlu Yazar: ersandegerli@gmail.com

ÖZET: ÇED Yönetmeliğinde Çevresel etki değerlendirmesi (ÇED) "Gerçekleştirilmesi planlanan projelerin çevreye olabilecek olumlu ve olumsuz etkilerinin belirlenmesinde, olumsuz yöndeki etkilerin önlenmesi ya da çevreye zarar vermeyecek ölçüde en aza indirilmesi için alınacak önlemlerin, seçilen yer ile teknoloji alternatiflerinin belirlenerek değerlendirilmesinde ve projelerin uygulanmasının izlenmesi ve kontrolünde sürdürülecek çalışmaları," şeklinde tanımlanmaktadır. Tanım ve ÇED yönetmeliğinde yer alan hükümlere göre, ÇED Raporu ve Proje Tanıtım Dosyası, çevreye karşı alınacak tedbirlerin yer aldığı bir taahhütnamedir. Bu kapsamdan bakıldığında ÇED Olumlu ve ÇED Gerekli Değildir Kararı, ÇED Sürecinin karar verme aşamasının sona erdiğini göstermektedir. Bu kapsamdan bakıldığında ÇED sürecinin son aşaması, "Yatırımın İzlenmesi, Kontrol Edilmesi ve Denetlenmesi " aşamasıdır.

ÇED prosedürünün en önemli aşamalarından biri olan izleme-kontrol-denetim, yatırımın etkilerinin belirlenmesinde, Proje Tanıtım Dosyalarında ve ÇED Raporlarında taahhüt edilen önlemlerin takip edilmesinde, gerçek etkinin gözlenmesinde ve tahmin edilen etkilerin doğruluklarının geri bildiriminde büyük rol oynamaktadır. Böylelikle, hem kararın verilmesinden itibaren belirli bir sürede faaliyete başlanıp başlanmadığı, hem de projenin belirtilen aşamalarda tedbirlere uygunluğunun sağlanıp sağlanmadığı tespit edilebilmektedir.

Diğer sektörler gibi kapalı bir yapı içerisinde olmamasından dolayı çevre tahribatının direk olarak ortaya çıkması ve yapılan çalışmalarda bu tahribatın gözle görülmesi buna bağlı olarak da madenciliğin kamuoyunda çevreyi kirletici ve doğayı bozucu faaliyetler olarak kabul edilmesi hususları dikkate alındığında madencilik

faaliyetlerinde izleme-denetleme ve kontrolün yapılmasının önemi daha kolay anlaşılacaktır.

Bu çalışmada, ÇED izleme-kontrol ve denetimin Çevre Mevzuatı ÇED Yönetmeliğindeki yeri, idari yaptırımların nasıl uygulanacağı, izleme-kontrol ve denetimin nasıl yapılması gerektiği hususlarına ilişkin çalışmalara yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel etki değerlendirmesi, Madencilik, Yönetmelik

ABSTRACT: *In the EIA Regulations, Environmental impact assessment (EIA) "Definition of EIA is defining negative and positive effect of planning projects to environment, avoid negative effects and take cautions to prevent them and/or reduce their negative effects to minimum levels, to decide and evaluate cautions in terms of its prospect and locations and chosentechnological alternatives; monitoring and controlling of projects and studies during the process". EIA is a declination of pre-cautions to environment defined by EIA regulations. Therefore, decision of positive EIA and unnecessary EIA process illustrate the process been finalized. The last phase of EIA process is "Monitoring, controlling and audition of investment".*

Monitoring, controlling and audition as the one of the most important phases of EIA regulation have a very important role for defining effects investment, monitoring the declaration of Project and EIA reports, observing the real effects and accuracy of estimations. In this way whether projects was initiated on defined time period or not and/or whether projects phases have legal compatibility of regulations; can be detected.

Considering mining sector is different than other industrial sectors, and mining have visible effects to environment, and also public considers mining activities have negative effect to nature and environment that is why importance of monitoring and inspection of mining activities can be understandable.

In this article, issues of importance of monitoring and auditing in the EIA regulations, how to apply administrative sanctions and how to applymonitoring and inspection studies have been studied and defined.

Keywords: *Environmental impact assessment, Mining, Regulations*

1. DENETİM NEDİR?

En genel anlamıyla denetim; Faaliyet ve olaylara ilişkin olarak gerçekleşmiş sonuçları daha önceden belirlenmiş ölçütlere göre, tarafsız bir şekilde ölçerek analiz etmek suretiyle kanıtlara dayanarak değerlendirmek, gelecekte olabilecek hataların önlenmesine yardımcı olmak, kişilerin ve örgütlerin gelişmesine, yönetim ve kontrol sistemlerinin güvenilir, geçerli ve tutarlı hale gelmesine rehberlik etmek ve elde edilen bulguları ilgililere duyurmak için uygulanan sistematik bir süreçtir (Aytuna, 1986), şeklinde tanımlanabilinir.

Günümüzde, bu tanımın yanında, "Denetim" kavramının çok sayıda tanımı vardır. Ancak tanım ne olursa olsun, "Denetim", yönetim içinde yer alan bir önemli bir fonksiyondur. Bu sebeple yönetimsiz denetim, denetimsiz de yönetim düşünülemez. Denetim faaliyetinin yürütülebilmesi için, bu işi yapacak uzman kişilere gereksinim vardır. Bunlara denetçi, müfettiş, kontrolör, murakıp, denetmen, üye gibi değişik isimler verilmektedir.

1.1. Denetim Türleri

Denetim; çok geniş bir alanda yapılabilen bir faaliyet olduğundan, değişik parametrelere göre sınıflandırmaya tabi tutulabilir. Bu sınıflandırmanın en yaygın olanı denetimi yapan organa göre, denetim zamanına göre, denetimin amacına göre, denetçinin bağlı olduğu kuruma göre yapılan sınıflandırmalardır (Ergun, 2014).

1- Denetimi yapan organa göre denetim türleri: Özel-kamusal denetim, siyasal, yönetsel, yargısal denetim, kamuoyu denetimi ve ombudsman denetimi gibi sınıflandırılabilinir.
2- Denetim zamanına göre denetim türleri: Faaliyetin yürütülme zamanı dikkate alınarak denetim; işlem veya eylem öncesinde, esnasında veya sonrasında yapılabilmektedir (Ergun, 2014).
3- Amacına göre denetim türleri: Uygunluk denetimi, mali denetim, performans denetimi gruplandırması yapılabilir (Ergun, 2014).
4- Denetçinin bağlı olduğu kuruma göre denetim türleri: İç ve dış denetim ile bağımsız denetimden söz edilmektedir (Ergun, 2014).

1.2. Çevre Denetimi Nedir? Çed İzleme Nedir?

1.2.1. Çevre Denetimi Kavramı

Çevre Denetimi, tesis veya faaliyetlerin çalışmasının Çevre Kanunu ve bu Kanuna dayanılarak yürürlüğe giren yönetmeliklere uygunluğunu kontrol etmek için, bu mevzuatın yetkili kıldığı kurum ve kuruluşlarla işbirliği ve koordinasyon sağlanarak, faaliyetlere ilişkin bilgilerin tarafsız bir şekilde toplanması, değerlendirilmesi, rapor haline getirilmesi ve idari yaptırım kararı ile yetkilendirilmiş makama bildirilmesidir.

Sağlıklı bir çevre yönetimini gerçekleştirmek için çevre koruma politikalarına yönelik sorumluluk kurallarının oluşturulması ve bunlara ilişkin hukuki düzenlemelerin yürürlüğe girmesi, büyük bir gelişme olarak kabul edilmektedir. Bunun bir sonucu olarak, çevre mevzuatının daha etkin uygulanması için sanayi tesislerine verilen izinlere uygunluğun tespiti amacıyla yapılan çevre denetimleri oldukça önemlidir. Çevre denetimi sürecinin üç önemli aşaması bulunmaktadır. Birincisi çevre mevzuatına tabi faaliyet ve tesislerin, mevzuatın gerektirdiği kurallara uygun davranıp davranmadığının denetlenmesi, ikincisi faaliyetlerin çevre üzerindeki etkilerinin izlenmesi ve üçüncü olarak da bu faaliyetler neticesinde mevzuata aykırılık bulunması durumunda gerekli yaptırımın uygulanmasıdır.

1.2.2. Çevre denetimi niçin yapılır?

- Çevre ile ilgili tesislerdeki uygulamaların uygunluğunun yerinde kontrol edilmesi,
- İzinlerin değerlendirilmesi,
- Kapasite artışları ile proje değişikliklerini görerek çevreye olan etkilerinin tespit edilmesi,
- Çevresel mevzuatın uygulanması ve yaptırımı,
- Çevre ile ilgili mevzuata tabi faaliyetlerin/ tesislerin uygunluğunu kontrol ve teşvik etmek,
- Faaliyetlerin/tesislerin yasal gerekliliklere uygunluğunu temin edebilmek
- Faaliyetlerin/tesislerin çevre üzerindeki etkilerini izlemek,
- Çevresel yatırımların teşvik edilerek artırılması ve hızlandırılmasını sağlamak için gerçekleştirilir.

1.2.3. Çevre denetimi çeşitleri

Çevre Denetiminin çeşitleri:

- Birleşik Denetimler: Tesis veya faaliyetlerin, çalışmaların Çevre Kanunu ve bu Kanuna dayanılarak yürürlüğe giren hava, su, toprak, atık, kimyasallar, deniz ve gürültüye ilişkin tüm yönetmeliklere uygunluğunun bir arada ele alındığı denetimlerdir. Birleşik denetimler, rutin denetimlerdir ve planlı yapılmaktadır.
- Ortam Bazlı Denetimler: Tesis veya faaliyetlerin Çevre Kanunu ve bu Kanuna dayanılarak yürürlüğe giren hava, su, toprak ortamları ile atıklara, kimyasallara ve gürültüye ilişkin mevzuattan birinin uygunluğunun ele alındığı denetimlerdir. Ortam bazlı denetimler, rutin olmayan denetimlerdir ve ani olarak gerçekleştirilir.
- Rutin olmayan denetimler;
- Havza Bazlı Denetimler
- Ani Denetimler
- Şikayet Denetimleri

1.3. ÇED İzleme Nedir?

Aslında "ÇED İzleme" kavramı, sadece izlemeyi değil aynı zamanda kontrolü de içinde bulunduran bir kavramdır. Bu nedenle, "ÇED İzleme" yerine "ÇED İzleme ve Kontrol" ifadesini kullanmak daha doğru olacaktır. "ÇED İzleme ve Kontrol" kavramını tanımlamadan önce "ÇED Nedir?", "ÇED Niçin Yapılır", "ÇED Raporu, Proje Tanıtım Dosyası Nedir" vb. hususların açıklanmasında fayda bulunmaktadır.

1.3.1. ÇED nedir? Niçin yapılır?

ÇED Yönetmeliğine göre ÇED, "Gerçekleştirilmesi planlanan bir projenin olası çevresel etkilerinin belirlenmesi olumsuz çevresel etkilerinin tespit edilerek alınacak önlemlerin irdelendiği, yer ve teknoloji alternatiflerinin değerlendirilmesi amacıyla yapılan bir çalışmadır. ÇED Yönetmeliği hükümlerine göre, ÇED Raporları ve Proje Tanıtım Dosyalarında yer alan hususlar, çevrenin korunmasını sağlamak amacıyla, birer taahhüttür ve uyulması da bir zorunluluktur.

1.3.2. ÇED izleme ve kontrol kavramı

ÇED Yönetmeliğinde, İzleme ve Kontrol, "*Gerçekleştirilmesi planlanan projeye dair "Çevresel Etki Değerlendirmesi Gerekli Değildir" veya "Çevresel Etki Değerlendirmesi Olumlu" kararı alındıktan sonra, inşaat, işletme ve işletme sonrası dönemine ilişkin kararın verilmesine esas teşkil eden şartlar doğrultusunda yürütülmesinin sağlanması için yapılan çalışmaların bütünü,*" şeklinde tanımlanmaktadır. ÇED İzleme ve Kontrol, ÇED Prosedürünü, bir salt bir izin belgesi, yerine getirilmesi gereken sıradan bir resmi işlem olmaktan çıkaran en önemli argümandır. İzlenmeyen, kontrol edilmeyen ve denetlenmeyen bir taahhüdün hiçbir anlamı olmaz.

1.3.3. ÇED izleme ve kontrol neden gereklidir?

ÇED izleme ve kontrol yapılmaması durumunda ÇED Raporu ve Proje Tanıtım Dosyası içerisindeki hususlar taahhütler manzumesi olarak kalacaktır. İzleme ve kontrol çalışmalarında ÇED Raporu ve Proje Tanıtım Dosyasındaki taahhütlerine uymayarak çevreyi kirleten faaliyet sahiplerinin taahhütleri kapsamında gerekli tedbirleri alması sağlanmakta olup, takibi yapılmaktadır. Böylece, yapılan bu çalışmalar ile çevre kirliliğinin önlenmesinde önemli katkı sağlamaktadır.

Bu hususlar dikkate alındığında, ÇED İzleme ve Kontrol, ÇED Prosedürünü, bir salt bir izin belgesi, yerine getirilmesi gereken sıradan bir resmi işlem olmaktan çıkaran en önemli argümanıdır. İzlenmeyen, kontrol edilmeyen ve denetlenmeyen bir taahhüdün hiçbir anlamı olmaz. Bu kapsamda ÇED izleme ve Kontrolün Amacını şöyle sıralayabiliriz:

- Projelerin inşaat döneminde çevreye etkilerinin en aza indirilmesinin sağlanması
- Taahhüt ihlali yapılan projelere idari yaptırımlar uygulanarak taahhütleri doğrultusunda projelerin yürütülmesinin sağlanması
- Proje sahipleri ile sağlanan temasla ÇED'in amacının ve gerekçesinin anlatılması
- Projenin işletme aşamasında alınacak izinlere esas taahhütlerinin yerine getirilmesinin sağlanması
- Projelerin inşaat-işletme döneminde yapılan izleme kontrollerde tespitlerin ilgili karar vericilerle paylaşılması

1.4. Çevre Denetimi ve ÇED İzleme ve Kontrol Arasındaki Benzerlikler ve Farklar

ÇED İzleme ve Kontrol de aslında bir çeşit Çevre Denetimi faaliyetidir. ÇED İzleme ve Kontrolde de; birleşik denetimde yapılan hava, su, toprak atık ile bunlara ilişkin mevzuatlara göre alınan izinler ve yapılan faaliyetlerin incelendiği, ani denetimdeki gibi faaliyet sahibine haber etmeden ani olarak yapılabildiği, projenin türüne göre ortam bazlı inceleme yapılabildiği görülmektedir. Bu durum dikkate alındığında,

ÇED İzleme ve Kontrolü Çevre Denetiminden ayıran hususlar ise, ÇED Raporu ve Proje Tanıtım Dosyalarında, gerçekleştirilecek faaliyetlerin ve Çevre Mevzuatında yer alan hükümlerin projeye ilişkin olarak nasıl uygulanacağının belirtilmiş olmasıdır. Çevre Denetiminde, Denetim görevlisi, Çevre Mevzuatı hükmünü arama, nasıl uygulanması gerektiğini araştırma ve buna uyulup uyulmadığını denetlemek zorundadır. Buna karşılık, ÇED izleme ve kontrole tabii projelerde, gerçekleştirilmesi planlanan faaliyetlerin çevre mevzuatının hangi yönetmeliğinin hangi hükümlerini ilgilendirdiği, bu hükümlerin projede nasıl uygulanması gerektiği ÇED Süreci içerisinde önceden incelenip değerlendirilmiş ve taahhüt altına alınmıştır. Bu nedenle, ÇED İzleme ve Kontrol yapan görevlinin, ÇED Raporu ve Proje Tanıtım Dosyasında yer alan hususlara göre incelemede bulunması yeterli olacaktır.

2. ÇEVRE DENETİMİ VE ÇED İZLEME VE KONTROLÜN YASAL BOYUTU

2.1. Çevre Denetimi Yapılmasına İlişkin Mevzuat

2.1.1. İlgili Mevzuat

Çevre Kanunu: "Amaç", "Tanımlar", "İlkeler", "Kirletme Yasağı", "Çevrenin Korunması" başlıklı maddelerinde çevrenin korunması zorunluluğundan, bu zorunluluğun yerine getirilmesinde yer alan saç ayaklarından birinin de "Denetim" olduğundan bahsedilmektedir. "Denetim, bilgi verme ve bildirim yükümlülüğü" başlıklı maddesinde de denetimin nasıl yapılması gerektiğinden bahsedilmektedir. Ayrıca Çevre Kanununun; "İzin alma, arıtma ve bertaraf etme yükümlülüğü", "Tehlikeli kimyasallar ve atıklar", "Gürültü", "Faaliyetlerin durdurulması", "İdari nitelikteki cezalar", "Fiillerin tekrarı", "İdari cezalarda yetki" ve "Bilgi edinme ve başvuru hakkı" başlıklı maddelerinde denetimle ilgili hükümler bulunmaktadır.

Çevre Denetim Yönetmeliği: Yönetmeliğin amacı; çevrenin korunması için tesis veya faaliyetin çalışmaya başlamasından sona erdirilmesine kadar olan süreçte çevre denetiminin usul ve esaslarını; denetim yapacak personelin, çevre yönetim birimi/çevre görevlisinin, çevre hizmeti konusunda yetkilendirilmiş firmaların nitelikleri ile yükümlülüklerini düzenlemektir.

Çevre Görevlisi, Çevre Yönetim Birimi ve Çevre Danışmanlık Firmaları Hakkında Yönetmelik: Çevre Mevzuatının uygulanmasında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile yatırımcı arasında adeta köprü vazifesi gören ve denetimde de doğrudan muhatap alınan Çevre görevlilerinin, çevre yönetim birimlerinin ve çevre danışmanlık firmalarının nitelikleri, görevleri, çalışma usul ve esasları, belge başvurularının yapılması, değerlendirilmesi, belgelerin verilmesi, denetlenmesi, askıya alınması ve iptali ile ilgili konulara ilişkin düzenlemeler bu yönetmelikle yapılmaktadır.

Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği: 2872 sayılı Çevre Kanunu uyarınca alınması gereken çevre izin ve lisansı sürecinde uyulacak usul ve esasları bu yönetmelikle düzenlenmiştir.

Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği: ÇED Yönetmeliği, her nekadar ÇED izleme ve kontrol yapılırken dikkate alınıyormuş gibi gözükse de, Çevre Denetimlerinin tamamında, ilk aranan ve bakılan belge faaliyete ait ÇED Olumlu ya da ÇED gerekli Değildir Kararı olmaktadır. Ayrıca, Çevre İzni ve Lisansı almak için de önceden ÇED Olumlu ya da ÇED Gerekli Değildir Kararı alınmış olma şartı bulunmaktadır.

2.1.2. Denetim sonucu ceza uygulamasının mevzuattaki yeri

Çevre Mevzuatında "Faaliyetlerin Durdurulması" ve "İdari Nitelikli Para Cezası" olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmektedir:

Faaliyetlerin durdurulmasına ilişkin ceza: Çevre Kanununun "Faaliyetlerin Durdurulması" başlıklı 15. Madde uyarınca gerçekleştirilmektedir.

İdari nitelikli Para cezası: Çevre Kanunun 20. Maddesinde yer alan hükümler uyarınca verilmektedir. Bu maddede, hangi şartlar için hangi miktarda idari para cezası verileceği bentler halinde belirtilmektedir. Fiilerin tekrarı halinde cezaların kaç kat artırılacağı da 23. Maddede belirtilmektedir.

Adli nitelikli cezalarla ilgili hususlar da Çevre Kanunun "Adlî nitelikteki cezalar başlıklı 26. Maddesi ile hüküm altına alınmıştır.

2.2. ÇED İzleme ve Kontrol Yapılmasına İlişkin Mevzuat

2.2.1. İlgili mevzuat

Çevre Kanunu:

ÇED Olumlu veya ÇED Gerekli Değildir Kararı alınmadıkça faaliyete başlanılamayacağı, "Çevresel Etki Değerlendirmesi" başlıklı 10. Madde ile hüküm altına alınmıştır. ÇED kararı olmadan başlanan faaliyetlerin durdurulmasına ilişkin hüküm de Çevre Kanunun "Faaliyetlerin durdurulması" başlıklı 15. Maddesinde yer almaktadır.

Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği:

ÇED İzleme ve Kontrol, ÇED Yönetmeliğinin "Yatırımın İzlenmesi ve Kontrol Edilmesi" başlıklı 18. Maddesine göre gerçekleştirilmektedir.

2.2.2. ÇED izleme ve kontrol sonucu ceza uygulamasının mevzuattaki yeri

Denetimde olduğu gibi ÇED İzleme ve Kontrolde de cezalar "Faaliyetlerin durdurulması" ve "İdari nitelikli para cezaları" olmak üzere iki ayrı şekilde uygulanmaktadır.

Faaliyetlerin Durdurulmasına İlişkin Mevzuat: Çevre Kanunun 15. Maddesi ile ÇED Yönetmeliğinin 19. Maddesinde yer alan hükümlere göre faaliyetler durdurulmaktadır.

İdari Nitelikli Para Cezası: İdari nitelikli para cezaları da, Çevre Kanununun "İdari Nitelikli Para Cezaları" başlıklı 20. Maddesinin (e) fıkrasında belirtilmektedir.

3. MADENCİLİK FAALİYETLERİNİN ÇED İZLEME-KONTROL VE DENETİMİ

Petrol ve madencilik faaliyetlerini, madenin aranması, madenin çıkarılması (açık ocak işletmesi, yeraltı işletmesi), cevher hazırlama ve kırma-eleme-yıkama tesisleri, cevher zenginleştirme tesisleri, petrol ve doğalgazın çıkarılması ve taşınması faaliyetleri şeklinde gruplandırmak mümkündür. Bu gruplandırma Madencilik Faaliyetlerinin denetiminde de dikkate alınmaktadır. Madenciliğin çevreye olan etkileri ise;

topografyanın bozulması, bitki örtüsünün ortadan kaldırılması, toz, gürültü, vibrasyon, atık, görsel kirlilik şeklinde sıralanabilir. Denetim, bu etkilerde, Çevre Mevzuatında belirtilen hususlara uyulup uyulmadığı ve belirtilen sınır değerleri aşıp aşmadığının belirlenmesi üzerine gerçekleştirilmektedir.

3.1. Madencilik Yapılmasına İzin Verilmeyen Veya Özel İzin Alınması Gereken Alanlar

Madencilik faaliyetlerinin yapıldığı alanların mevzuatlar açısından izin verilen alanlar olup olmadığının belirlenmesi denetimde öncelikli olarak dikkate alınması gereken hususların başında gelmektedir. Madencilik faaliyetinde bulunulmasına izin verilmeyecek ya da özel izin alınması gereken alanlar (Değerli, 2015):

- Doğal Sit Alanları, Arkeolojik Alanlar
- Milli Parklar
- Av ve Yaban Hayatı Koruma Alanları
- Özel çevre Koruma Bölgeleri
- Tarım Alanları
- Özel Ormanlar,
- Gençleştirme Yapılan Orman Alanları,
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine Göre Mutlak Koruma Alanı, Kısa Mesafeli Koruma Alanı, belirli şartlar sağlanması kaydıyla Orta Mesafeli Koruma Alanı ve Uzun Mesafeli Koruma Alanında izin gerekli,
- Sulak Alanlar,

3.2. Madencilik Sektörünü İlgilendiren Çevre Mevzuatı

- Çevre Kanunu
- ÇED Yönetmeliği
- Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği
- Çevre Görevlisi, Çevre Yönetim Birimi ve Çevre Danışmanlık Firmaları Hakkında Yönetmelik
- Çevre Denetim Yönetmeliği
- Su Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği,

- Madencilik Faaliyetleri Sonucu Bozulan Arazilerin Doğaya Geri Kazanım Yönetmeliği,
- Kum Çakıl Ve Benzeri Maddelerin Alınması, İşletilmesi Ve Kontrolü Yönetmeliği,
- Gürültünün Değerlendirilmesi Ve Yönetimi Yönetmeliği
- Sanayi Tesislerinden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
- Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği,
- Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği,
- Evsel Katı Atık Yönetmeliği,
- Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği,
- Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği,
- Yaban Hayatı Korunması Ve Yaban Hayatı Geliştirme Sahaları İle İlgili Yönetmelik
- Özel Çevre Koruma Bölgeleri Plan Hükümleri
- Çevre Düzeni Plan Notları (Değerli, 2015)

Madencilik faaliyetlerine ilişkin çevre denetimi ve çed izleme-kontrol yapılırken dikkat edilen hususlar (Değerli, 2015)

- ✓ Madencilik Faaliyetlerinin, maden ruhsatı ve işletme izin alanı koordinatları, ÇED Kararı verilen, Çevre İzni verilen alan ve diğer izin/onay/ruhsat verilen alan koordinatları içerisinde gerçekleştirilip gerçekleştirilmediği,
- ✓ Proje ünitelerinin ÇED Kararı alınmasına gerekçe olan ÇED Raporu veya Proje Tanıtım Dosyasında belirtilen alan koordinatları içerisinde yer alıp almadığı,
- ✓ Ocaklarda, kademe yüksekliği-genişliği-uzunluğu, şev açısı, kademe sayısı, kazıyöntemi, kullanılacak iş makinalarının ÇED Kararı alınmasına gerekçe olan ÇED Raporu veya Proje Tanıtım Dosyasında belirtilen taahhütler ile izin, onay, ruhsat, karar ve görüşlerde belirtilen hususlara uygun olup olmadığı,
- ✓ Tesislerdeki üretim ve akım şemasının, tesiste uygulanan üretim yönteminin, ÇED Kararı alınmasına gerekçe olan ÇED Raporu veya Proje Tanıtım Dosyasında belirtilen taahhütler ile izin, onay, ruhsat, karar ve görüşlerde belirtilen hususlara uygun olup olmadığı,
- ✓ Hammadde, ürün ve pasa alanlarının, ÇED Kararı alınmasına gerekçe olan ÇED Raporu veya Proje Tanıtım Dosyasında belirtilen taahhütler ile izin, onay, ruhsat, karar ve görüşlerde belirtilen hususlara uygun olup olmadığı,

- ✓ Patlatmanın, ÇED Kararı alınmasına gerekçe olan ÇED Raporu veya Proje Tanıtım Dosyasında belirtilen taahhütler ile izin, onay, ruhsat, karar ve görüşlerde belirtilen hususlara göre yapılıp yapılmadığı,
- ✓ Çalışma sürelerinin ÇED Kararı alınmasına gerekçe olan ÇED Raporu veya Proje Tanıtım Dosyasında belirtilen taahhütler ile izin, onay, ruhsat, karar ve görüşlerde belirtilen hususlara uygun olup olmadığı,
- ✓ Toz, gürültü, vibrasyon, hava şoku, taş savrulması değerlerinin, çevre mevzuatında belirtilen sınır değerleri aşıp aşmadığı ve bu etkilere ilişkin alınacak önlemlerin, ÇED Kararı alınmasına gerekçe olan ÇED Raporu veya Proje Tanıtım Dosyasında belirtilen taahhütler ile izin, onay, ruhsat, karar ve görüşlerde belirtilen hususlara uygun olup olmadığı,
- ✓ Sıvı, katı ve gaz atıklarının Çevre Mevzuatında belirtilen miktarları aşıp aşmadığı, bu atıkların Çevre Mevzuatında belirtilen hükümler ile ÇED Kararı alınmasına gerekçe olan ÇED Raporu veya Proje Tanıtım Dosyasında belirtilen taahhütlere göre bertaraf edilip edilmediği,
- ✓ Madencilik faaliyetleri sonucu bozulan arazilerin doğaya geri kazanım çalışmasının yapılıp yapılmadığı,
- ✓ İşletmenin maden ruhsatı, işletme izni, ÇED Kararı, Çevre İzni, katı sıvı ve gaz atıkların bertarafına ilişkin alınmış izin, onay, ruhsat, karar ve/veya görüşler ile yetki belgesi almış kurum/kuruluşlarla yapılmış sözleşmelerin bulunup bulunmadığıdır. (Değerli, 2015)

3.3. Madencilik faaliyetlerinde çevre denetimi ve ÇED İzleme-kontrol çalışmalarında en sık karşılaşılan çevre sorunları

- ✓ Malzeme alınırken basamaklandırma sistemi ile çalışılmaması,
- ✓ ÇED Sürecinde taahhüt edilen kapasite miktarlarının üzerinde çalışması,
- ✓ Kırma eleme tesislerinin uygun olmayan şekilde kurularak kapalı ortama alınmaması, toz önleme sistemlerinin kurulmaması ve hava ve gürültü kirliliğine sebep olması,
- ✓ ÇED sürecinde taahhüt edilen patlayıcı miktarından fazla patlayıcı kullanılması,
- ✓ Alanda uygun olmayan şartlarda patlayıcı depolanması,

- ✓ Faaliyet alanında kullanılan iş makinelerinin bakımlarının alanda uygun şekilde yapılmaması,
- ✓ Oluşan pasa malzemesinin uygun şartlarda depolanmaması,
- ✓ Bitkisel toprağın uygun şekilde değerlendirilmemesi
- ✓ Malzeme alımı esnasında taahhüt edilen ÇED alanı koordinatlarının dışına çıkılması,
- ✓ Yıkama eleme tesisi bulunan faaliyetlerde; uygun çöktürme havuzları yapılmaması sonucu, yıkama suyu içerisinde bulunan rusubatın (tortunun-çöküntünün) uygun şartlarda çöktürülmeden alıcı ortama bırakılması, alıcı ortamda bulanıklığa ve sucul yaşamın yaşam standartlarının düşmesine neden olması,
- ✓ Kum-Çakıl Ocaklarında malzeme alınan alanın rehabilite edilmeden gelişi güzel bırakılması,
- ✓ Dere içerisinden kum alımı esnasında dere tabanında müsaade edilen derinlikten daha alt kotlarda malzeme alınması,
- ✓ Dere içerisinden kum alımı esnasında dere yatağının değiştirilmesi, akış rejimine müdahale edilmesi, göllenme oluşmasıdır.

4. ÇEVRE DENETİMİNİN ETKİNLİĞİ VE VERİMLİLİĞİ

4.1. Çevre Denetim ve ÇED İzleme-Kontrolün Etkin ve Verimli Yapılamamasının Nedenleri?

Adında "Çevre" kelimesinin bulunması ve Çevre Mevzuatını çıkaran olması nedeniyle, halk arasında olduğu gibi kamu kurum ve kuruluşlarında da, çevre denetiminin ve ÇED izleme kontrolün sadece Çevre ve Şehircilik Bakanlığı merkez ve taşra teşkilatının yapması gerektiği gibi bir algı bulunmaktadır. Ancak, çevrenin sadece bir kuruma değil herkese ait olduğu gerçeği dikkate alınırsa çevre kirliliğini önleme ve çevrenin korunmasının tüm kamu kurum ve kuruluşlarının da görev yetki ve sorumluluğunda olduğu anlaşılacaktır.

ÇED Olumlu Kararı verilmesi aşamasında İnceleme-Değerlendirme Komisyonu üyesi kurum ve kuruluşlar ile ÇED Gerekli Değildir Kararı verilmesi aşamasında görüşüne başvurulan kurum ve kuruluşlar, sadece bir prosedürü yerine gelsin algısı ile görüş vermektedir. Çoğu zaman, kurum ve kuruluşlar komisyon toplantılarına dahi katılım sağlamadan sadece basit bir görüş vermekle yetinebilmektedir. Bu verilen

görüşlerle, kurum ve kuruluşlar kendi mevzuatlarına göre yapılan uygulama ve denetiminde sadece ÇED Olumlu Kararı veya ÇED Gerekli Değildir belgesinin bulunup bulunmadığına bakmaktadır.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı da dahil olmak üzere kamu kurum ve kuruluşlarında çevre denetimi yapan personel, hem sayıca ve hem de nitelik olarak yeterli değildir. Çevre Denetimi ve ÇED İzleme Kontrolü tabi faaliyet sayısı ile Çevre Mevzuatını uygulamakla yükümlü olan Çevre ve Şehircilik Bakanlığının merkez ve taşra teşkilatındaki denetleme yapan personel sayısı dikkate alındığında denetim personeli yetersizliği kolayca görülebilecektir.

Personel sayısının az olmasının yanında, nitelikli personel sayısının da az olması personel yetersizliğinin diğer bir yönüdür. Denetim yapılan faaliyet hakkında bilgi ve tecrübesi olmayan personel denetime gönderilebilmektedir. Denetim yapılan faaliyetten bilgi sahibi olmayan bir personelin, o faaliyet için verilen izin, onay, ruhsat, karar ve/veya görüşünde o proje için nasıl uygulanması gerektiğini de bilmesi mümkün değildir. Faaliyetler hakkında bilgisi ve tecrübesi yetersiz olan personel ya sadece dosya üzerinde alınmış izin, ruhsat, karar ve/veya görüşlerin olup olmadığına bakmakta, ya da her faaliyeti aynı kefeye koyarak aynı şekilde uygulama yapılması gerektiği şeklinde hatalı işlem tesis edebilmektedir.

Personel yetersizliğine ilişkin önemli bir husus da denetim yapacak faaliyete göre denetim elemanın olmaması ve/veya görevlendirilmemesidir. Bir madencilik faaliyetine, bir maden mühendisi yerine, madencilikle hiç alakası olmayan bir meslek disiplininden bir personel de gönderilebilmektedir. Çevre ve Şehircilik Merkez teşkilatı ve İl Müdürlüklerindeki personeller ve bu personellerin meslek disiplinleri dikkate alındığında her sektöre ilişkin uygun meslek disiplinine sahip personel sayısının çok yetersiz olduğu ortaya çıkmaktadır. Bazı Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinde sadece bir ve/veya iki farklı meslek disiplinine sahip personellerle o ildeki tüm farklı sektöre ait faaliyetlerin çevre denetimi gerçekleştirilmeye çalışılmaktadır.

Türkiye'de çevre denetimi için ayrılan mali kaynaklar da yeterli düzeyde değildir. Genellikle denetimler, kaynak yetersizliği sebebiyle olması gerektiği şekliyle yapılamamaktadır. Çevre Görevlileri, Çevre Denetimi konusunda etkin ve yeterli sorumluluğa sahip değildir. Çevre Mevzuatı ve özellikle Çevre Görevlisi, Çevre

Yönetim Birimi ve Çevre Danışmalık Firmaları Hakkında Yönetmelik hükümleri incelendiğinde, "Çevre Görevlisi" kavramı, " faaliyet sonucunda olası çevre kirliliğine sebebiyet verene veya verebilmesi muhtemel işletmelere çevre izninin/lisansının alınmasının sağlanması ve Çevre Kanunu ve ilgili Yönetmelikler uyarınca denetime tabii tutulan işletmelerin mevzuata uygun olup olmadığı ve alınan tedbirlerin uygulanıp uygulanmadığının değerlendirmesini yapan personel" olarak tanımlanmaktadır.

Bu tanım ve Çevre Mevzuatı uyarınca dikkate alındığında, Çevre Görevlisi aslında, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı adına denetim yapan bir personel olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak, gerek mevzuattaki hükümler ve gerekse uygulamada yaşanan gerçekler, işletmelerin, Çevre Görevlisinin, sadece, çevre mevzuatına göre alınması gereken izinleri yürüten bir personel gibi gördüğü sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle birçok işletme, angarya ve/veya gereksiz eleman olarak gördüğü çevre görevlisini istihdam etmek yerine Çevre Danışmanlık Firmalarından hizmet almaktadır.

Ancak, işletmeyi denetleme, eksik, hatalı ve/veya yanlış uygulamaları düzeltmeye çalışan, gerek çevre görevlisi olarak istihdam edilen personeli ve gerekse Çevre Danışmanlık Firmalarını, işletmeye karşı koruma ve adına Çevre Mevzuatındaki hükümler yok denecek kadar azdır. Bu durumda da, ücretlerini işletmeden alan çevre görevlileri, çevre yönetim birimi ve çevre danışmanlık firmaları da, işlerini kaybetme tehlikesi ve korkusu gibi haklı nedenlerle, çevre denetimi adına, gerektiği şekilde bir çalışmada bulunamamaktadır.

Çevre görevlisi kavramı ile önemli bir husus da çevre mühendisi ile çevre görevlisinin aynı kavram gibi görülmesidir. Çevre görevlisi, çevre mevzuatının işletmeye uygulanması ve denetimini sağlayan ve farklı meslek disiplinine sahip kişilerden olabilmekte olup bir meslek disiplini değildir. Ancak, çevre mühendisliği bir meslek disiplinidir ve çevre mühendisleri çevre bilim ve tekniği konusunda eğitim almışlardır. Çevre Mühendisi olsa dahi, bir kimsenin çevre görevlisi olabilmesi için eğitimden geçmesi ve eğitim sonucu verilen bilgileri öğrenip öğrenmediği ve uygulayıp uygulayamayacağı konusunda, adı ister sınavla olsun ister testle olsun veya başka bir yöntemle olsun, yeterli olup olmadığının araştırılması gerekmektedir. Ancak, mevcutta yürürlükte olan Çevre Grevlisi, Çevre Yönetim Birimi ve Çevre Danışmanlık Firmaları

Hakkında Yönetmelik hükümlerine göre bu mümkün değildir. Çevre Görevlisi eğitimleri de yetersizdir. Yapılan Çevre Görevlisi eğitimlerinde, adeta yönetmelik hükümleri yazıldığı şekliyle okunmakta, ancak nasıl uygulanacağına dair bir açıklama yapılmamaktadır. Çevre görevlileri ve Çevre Danışmanlık firmaları ile ilgili önemli bir husus da sektörel uzmanlığın ve sektörel ayrışmanın olmamasıdır.

4.2. Çevre Denetimi ve ÇED İzleme-Kontrolün Daha Etkin ve Verimli Yapılabilmesine İlişkin Öneriler

Çevre Denetiminin amacı ceza yazmak değildir: Çevre Denetiminin asıl amacı, işletmelere, çevre kirliliğini önleyecek ve çevreyi koruyacak tedbirleri aldırmak ve Çevre Mevzuatında belirtilen yükümlüklerini yerine getirmelerini sağlamak, işletme sahibi ve çalışanları bu konuda bilinçlendirmektir.

Çevre Denetimini, sadece "Çevre ve Şehircilik Bakanlığı merkez ve taşra teşkilatı yapar" algısının ortadan kaldırılması gerekmektedir: Çevrenin sadece bir kuruma değil herkese ait olduğu gerçeği dikkate alınırsa çevre kirliliğini önleme ve çevrenin korunmasının tüm kamu kurum ve kuruluşlarının da görev yetki ve sorumluluğunda olduğu anlaşılacaktır.

Her proje bir çevrede gerçekleşmektedir. Ve her faaliyet için mer'i mevzuat uyarınca izin, onay, ruhsat, karar ve görüş alınmadan çalışmada bulunulması mümkün değildir. Bir projenin gerçekleştirilebilmesi ve/veya faaliyetlerine devam edebilmesi için sadece, Çevre Mevzuatına göre Çevre ve Şehircilik Bakanlığından izin, onay, ruhsat, karar ve/veya görüş alınması yeterli değildir. Bu durum dikkate alındığında, Çevre ve Şehircilik Bakanlığının dışındaki kurum ve kuruluşların da, projede çevre kirliliğine neden olmayacak ve çevreyi koruyacak şekilde gerçekleştirilmesine ve/veya faaliyetlerine devam etmesi hususları dikkate alınarak izin, onay, ruhsat, karar ve/veya görüş vermesi bir zorunluluk haline gelmektedir.

Verilen izin, onay, ruhsat, karar ve/veya görüşlerin sadece bir prosedür, bir kağıt parçası olmaktan çıkaran denetimdir. Çünkü izin, onay, ruhsat, karar ve/veya görüşlerin uygulanıp uygulanmadığının tespit edilmesi ve uygulanmasının sağlanması ancak denetimle mümkündür. Kurum ve kuruluşlar, izin, onay, ruhsat, karar ve/veya görüşleri verirken nasıl çevre kirliliğinin önlenmesi ve çevrenin korunması ilkesini dikkate

alacaklarsa bunların denetlenmesinde de çevre kirliliğinin önlenmesi ve çevrenin korunması ilkesini dikkate almaları gerekmektedir. Kurum ve kuruluşlar, Çevre Mevzuatı uyarınca, ÇED Olumlu ya da ÇED Gerekli Değildir Kararı, çevre izni/lisansı vb. belgelerin olduğunu, çevreyi korumaya yönelik tedbirlerin alındığını görmeden izin, onay, ruhsat, karar ve/veya görüş vermemelidir.

Çevre denetimi yapan personel, hem sayı ve hem de nitelik bakımından yeterli hale getirilmelidir: Çevre Denetimi yapan personel sayısının yeterli hale getirilmesinin ilk ve en önemli şartı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığının merkez ve taşra teşkilatından denetim yapacak farklı meslek disiplinine sahip personel sayısının artırılmasıdır. Merkez teşkilatının yanı sıra, her ilde gerçekleştirilen faaliyet sayısı ve türü dikkate alınarak personel istihdamı yapılmalıdır. Ancak, personel sayısının artırılması çevre denetimi yapan personelin yetersizliğini tek başına çözemez.

ÇED Raporu ve Proje Tanıtım Dosyası hazırlayanlar ile Çevre Görevlisi olacaklardan yeterlik şartı aranıp bu konuda belge verilirken bu ÇED Raporları ve Proje Tanıtım Dosyasını inceleyen ve çevre denetimi yapan kamu personelinden yeterlik şartı aranmaması bir çelişkidir. Kamuya yeni girmiş bir personel, daha hiç bilgi ve tecrübeye sahip olmadan, deneyimli ve yeterlik şartlarını sağlayanlar tarafından hazırlanmış ÇED Raporu ve Proje Tanıtım Dosyası, izleme-kontrol formu, aylık ve yıllık faaliyet raporları vb. raporları inceleyip karar verebilmektedir. Bu nedenle, sadece Çevre ve Şehircilik Bakanlığı personeli değil, ÇED Raporu ve Proje Tanıtım Dosyasının incelenmesinde görev alacak ve/veya çevre denetimi yapacak kamu personelinin öncelikle iyi bir eğitime tabi tutulması, daha sonrasında da yeterli olup olmadığına dair bir sınav veya benzeri bir uygulamadan geçirilip yeterli olduğuna dair belge verilmesi gerekmektedir. Ayrıca, çevre denetimi yapacak personelin tecrübe kazanması için, tecrübeli personellerin yanında belirli bir dönem staj yaptırılması da, çevre denetimi yapacak personel sayısının tecrübesini artırmada önemli bir rol oynayabilir.

Çevre Denetiminin amacı ceza yazmak değildir: Çevre denetiminin amacı, ceza yazmak değil, işletmelere, çevre kirliliğini önleyecek ve çevreyi koruyacak tedbirleri aldırmak ve Çevre Mevzuatında belirtilen yükümlüklerini yerine getirmelerini sağlamak, işletme sahibi ve çalışanları bu konuda bilinçlendirmektir. Bu nedenle,

verilecek eğitimlerde, çevre denetimi yapacak personelin de bu yönde bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

Çevre Denetimi yapacak personellerin, meslek disiplinleri, bilgi ve tecrübelerine uygun sektörlerin denetiminde görevlendirilmesi, denetimin daha sağlıklı yapılmasına ve amacına ulaşmasına neden olacaktır. Çevre Görevlisi, Çevre Yönetim Birimi ve Çevre Danışmanlık firmalarının çevre denetimi konusunda etkin ve yetkinliğinin artırılması gerekmektedir. Günümüzde, çevre görevlileri, çevre yönetim birimi ve çevre danışmanlık firmalarına ilişkin en önemli problem de; Çevre Denetiminin daha etkin olabilmesi için adeta köprü vaziyette yer alan danışman firmaların, çevre yönetim biriminin ve Çevre Görevlilerinin danışmanlık ücretlerinin düşük olması, bunun getirisi olarak rekabetten dolayı personellerini bu konuda iyi yetiştirmemeleri ve bunun sonucu olarak süreci kurtarma çalışmaları ve danışmanlık yaptığı firmalarda çevre sorunlarının çözümünde etkin olamaması ve firma sahiplerince ciddiye alınmamasıdır.

Çevre Mevzuatında ve özellikle Çevre Denetim Yönetmeliği ile Çevre Görevlisi, Çevre Yönetim Birimi ve Çevre Danışmanlık Firmaları Hakkında Yönetmelikte , çevre görevlisinin, çevre yönetim biriminin ve çevre danışmanlık firmalarının, yaptığı denetim ve bulduğu eksiklik ve yanlışlığı gidermeye yönelik yapacağı çalışma neticesinde, iş kaybetme, işten kovulma, ücretini alamama gibi haklı ve gerekçeli korkularını giderecek bir yeterli yaptırıma sahip bir hüküm bulunmamaktadır. Bu nedenle de, işletmeler çevre kirliliğini önleme ve çevrenin korunması için değil sadece mevzuatta yer alan bir prosedürün yerine getirilmesinin sağlanması yani açıkça "Çevre Görevlisi bulundurma ya da hizmet alma yükümlülüğünü yerine getirdim" diyebilmek için Çevre Görevlisi istihdam etmekte veya Çevre Danışmanlık firmalarından hizmet satın almaktadır.

Çevre Mevzuatında ve özellikle de, Çevre Denetim Yönetmeliği ile Çevre Görevlisi, Çevre Yönetim Birimi ve Çevre Danışmanlık Firmaları hakkında Yönetmelikte değişiklikler yapılması ve bu mevzuata çevre görevlisinin çevre denetimini daha etkin yapmasını, sadece bulduğu eksiklik ve yanlışlığı bildirmek değil bu eksiklik ve yanlışlığı işletmeciye yaptıracak ve bu uygulama nedeniyle iş kaybetme korkusunu ortadan kaldıracak hükümler getirilmesi gerekmektedir.

Çevre görevlisinin, işletmenin bir çalışanı olmaktan çok işletme ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile kamu kurumları arasında bir köprü olduğunu, görev amacının

çevre kirliliğini önleyecek ve çevreyi koruyacak şekilde faaliyette bulunulmasını sağlamak olduğunu kuvvetlendirecek şekilde çevre mevzuatında düzenleme yapılmalıdır. Çevre Mevzuatında yapılacak bu düzenleme, çevre görevlilerin ücretlerinde de düzelme yapabilecek, çevre danışmanlık firmaları arasındaki haksız rekabeti de önleyebilecektir.

ÇED Raporu ve Proje Tanıtım Dosyasını hazırlamaya yetkili olan ÇED Yeterlik Belgesi alan firmaların da ÇED İzleme ve Kontrol Çalışmalarında daha aktif görev almalarının sağlanması Çevre Denetimini etkin hale getirebilecek önerilerden birisidir. Mevcut ÇED Yönetmeliği ve ÇED Yeterlik Belgesi Tebliğine göre, ÇED Yeterlik Belgesi almış firmalar, sadece inşaat dönemi izleme-kontrol formu düzenlemekle yükümlüdür. Ancak, ÇED Yeterlik Belgesi almış firmaların işletme döneminde de ÇED İzleme Kontrol etkin görev alabileceği bir düzenleme yapılması uygun olacaktır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İyi bir mevzuat uygulanabilir mevzuattır. Ne kadar kanun, tüzük, yönetmelik, tebliğ, genelge çıkarılırsa çıkarılsın uygulanabilir olmadıktan sonra hukuki tanımı dışında hiçbir anlamı olmaz. Bir mevzuatın uygulanabilir olması da iyi bir denetim yapılmasına bağlıdır. Bu nedenle, bir mevzuat hazırlanırken, denetleme bölümünün iyi düzenlenmesi ve yürürlüğe girdiği tarihten itibaren de etkin bir denetime tabi tutulması gerekmektedir. Aynı şekilde çıkarılan mevzuata göre ne kadar izin, onay, ruhsat, karar ve/veya görüş verilirse verilsin, denetimi yapılmazsa verilen belgelerin bir kağıt parçasından başka hiçbir geçerliliği olmaz. Çevre kirliliğinin önlenmesi ve çevrenin korunması için bir projenin gerçekleştirilmesine hayır demek ya da bir işletmenin faaliyetlerini durdurmak ve/veya kapatmak işin en kolay yoludur. Ancak, hayır demek ülkenin kalkınmasını engellemenin ötesinde çevrenin kirliliğinin önlenmesi ve çevrenin korunmasına da hizmet etmeyecektir. Yasaklamak yerine, çevrenin korunması ilkelerini dikkate alacak şekilde çalışma yapmayı sağlayacak kanun, tüzük ve yönetmelikler çıkarılmalıdır. Ancak, çevre kirliliğinin önlenmesi ve çevrenin korunması için sadece mevzuat çıkarmak ve izin, onay, ruhsat, karar ve/veya görüş vermekte yeterli değildir. Çıkartılan kanun tüzük ve yönetmeliklerin, iyi ve etkin bir denetimi de yapmayı sağlaması gerekmektedir. Bu sayede Çevre Mevzuatı uyarınca verilen izin, onay, ruhsat, karar

ve/veya görüşler, bir formalitenin yerine getirilmesi için alınan bir kağıt parçası olmaktan çıkar ve uygulanabilir hale gelir.

Çevre Denetimleri, ceza yazmak amacıyla değil, işletmelere çevrenin kirliliğinin önlenmesi ve çevrenin korunmasına yönelik tedbirleri aldırmak ve işletme sahipleri ile çalışanları bu konuda bilinçlendirmeye yönelik yapılmalıdır. Çevre Denetiminin iyi ve sağlıklı yapılabilmesi için, üç saç ayağı olan başta Çevre ve Şehircilik Bakanlığı olmak üzere kamu kurum ve kuruluşları, işletmeciler ve bu ikisi arasında köprü vazifesi gören çevre görevlileri (çevre görevlisi, çevre yönetim birimi ve çevre danışmanlık firmaları) arasında etkin ve sürekli bir iletişim ile koordinasyonun tesis edilmesi gerekmektedir.

Çevre Görevlilerinin, işletmenin kendi isteklerini yerine getiren bir personeli ya da hizmet aldığı bir firma olmaktan çıkarıp, çevre kirliliğinin önlenmesi ve çevre korumasına yönelik faaliyette bulunacağı, etkin bir çevre denetimi yapıp sonuçlarını işletmeciye uygulatabileceği, işten kovulma, ücretini alamama veya haksız rekabete maruz kalmayacağı şekilde görevini ifa edecek şekilde Çevre Denetim Yönetmeliği ve Çevre Görevlisi, Çevre Yönetim Birimi ve Çevre Danışmanlık Firmaları Hakkında Yönetmelik başta olmak üzere Çevre Mevzuatında düzenleme yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Aytuna, T, (ed.), 1986. Felsefeci Gözüyle Denetim, Denetde Yayını, Ankara, (ör. 10 s., 444-448 s.).

Değerli, E, (ed) 2015, Madencilikte Çevre Mevzuatı ve ÇED Yönetmeliği Uygulamaları, Maden Hukuku Sempozyumu, Afyon

Çevre Kanunu (09.08.1983, 2872)

Çevre Denetim Yönetmeliği (21.11.2008, 27061)

Çevre Görevlisi, Çevre Yönetim Birimi ve Çevre Danışmanlık Firmaları Hakkında Yönetmelik (21.11.2013, 28828)

Çevre Görevlisi, Çevre Yönetim Birimi ve Çevre Danışmanlık Firmaları Hakkında Yönetmelik (21.11.2013, 28828)

Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği (25.11.2014, 29186)

ÇED Yeterlik Belgesi Tebliği (27.12.2004, 25383)

Sanal, R, 2002, Türkiye'de Yönetsel Denetim ve Devlet Denetleme Kurulu, TODAİE Yayını, Ankara

Turan, E, 2014, "Türkiye'de Çevre Denetimi Ve Çevre Etiği Bağlamında Yeniden Yapılandırılması, AÜ SBE, Doktora Tezi, Ankara

ÇEVRESEL VERİ TOPLAMA ÇALIŞMALARI NEDİR, ÖNEMİ VE MADENCİLİK FAALİYETLERİNE AİT SÜREÇLERDE KULLANIM ALANLARI

WHAT IS ENVIRONMENTAL DATA COLLECTION STUDIES, IMPORTANCE AND USES IN PROCESSES IN MINING ACTIVITIES

Burak ZORLUTUNA

Çevre Mühendisi, ÇED Uzmanı, Koza Altın İşletmeleri A.Ş., Ankara, TÜRKİYE

burak.zorlutuna@kozagold.com

ÖZET: Madencilik sektöründe fizibilite ve planlama aşamaları kadar önem arz eden Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) süreci, projenin yapılabilirliğini ve çoğu zaman üretim sınırlarını belirlemektedir. ÇED süreci kapsamında faaliyetin planlandığı çalışma alanının ve çevresinin mevcut çevresel durumunun belirlenmesi amacı ile yapılan su kalitesi, hava kalitesi, toprak kalitesi, asit maden drenajı (AMD), arka plan gürültü ölçümleri, flora fauna, hidroloji ve hidrojeoloji çalışmaları Çevresel Veri Toplama Çalışmalarını oluşturmaktadır. Elde edilen verilerin neredeyse tamamı fizibilite, planlama, işletme ve kapama süreçlerinde önem arz etmektedir. Faaliyet alanı ve yakın çevresinin mevcut durumunun tespiti amacı ile yapılan Çevresel Veri Toplama Çalışmaları kapsamında elde edilen veriler işletme sürecinde faaliyet sahibi üzerindeki baskıyı azaltmakta, olması muhtemel şikayet ve denetleme süreçlerinde firmanın savunmasının da temelini oluşturmaktadır. Süreçler içerisinde gerek duyulan bilimsel çalışma ve raporların altlığını teşkil etmesi nedeni ile de zaman ve maliyet gibi etkenlerden kar edilmesini sağlamaktadır. Söz konusu veriler aynı zamanda ilgili kamu kurum ve kuruluşlarının veri tabanlarında da yerini alarak bölgede yapılabilecek olan diğer yatırımlara ve bilimsel çalışmalara altlık sağlamaktadır. Faaliyet öncesi elde edilen verilerin referans olarak kullanılması ile birlikte işletme sürecinde elde edilen verilerin değerlendirmesi de kolaylaşacaktır. Bu çalışma kapsamında Çevresel Veri Toplama Çalışmaları (ÇVT) içerisinde yer alan iş ve işlemler hakkında bilgiler verilmekle birlikte, Koza Altın İşletmeleri A.Ş. tarafından planlanan projeler

kapsamında hangi çalışmalarda kullanıldığı ve karşılaşılan spesifik durumlar ile ilgili örneklerde verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel etki değerlendirmesi, Veri toplama araçları, Altın madeni

ABSTRACT: *The Environmental Impact Assessment (EIA) process, which is as important as the feasibility and planning stages in the mining sector, determines the feasibility of the plant and often its production limits. Water quality, soil quality, acid mineral drainage (AMD) and background noise measurements, flora fauna, hydrology and hydrogeology studies are carried out with the aim of determining the current environmental status of the study area planned for activity in the EIA process. Almost all of the data obtained is important in feasibility, planning, operation and closing processes. The data obtained within the scope of the Environmental Data Collection Studies conducted with the aim of determining the present situation of the activity area and its immediate surroundings reduces legal pressure on the activity owner in the operation process and constitutes the basis of the defense of the company in possible complaints and inspection processes. The fact that obtained data constitutes the basis of the scientific studies and reports required within the processes ensures the profit from time and cost factors. The obtained data also provide a basis for other investments and scientific work that can be done in the region by taking place in the databases of the relevant public institutions and organizations. The evaluation of the data obtained in the operation process will be facilitated by using of the data, which is obtained during Environmental Data Collection before the operation, as a reference. Within the scope of this study, information about the processes and procedures in the Environmental Data Collection Studies (EDC) and in which works are used within the scope of the projects planned by Koza Altın İşletmeleri A.Ş. and examples about encountered specific cases are given.*

Keywords*: Environmental impact assessment, Data collection studies, Gold mine*

1. ÇEVRESEL VERİ TOPLAMA ÇALIŞMALARI

Planlanan bir madencilik faaliyeti kapsamında, arama ve geliştirme dönemindeki çalışmalar neticesinde tenörler, muhtemel ve görünür rezervler vb. üretim parametreleri belirlenmiş olsa da, bölgenin mevcut çevresel özellikleri ve kirlilik yükleri ile ilgili bir çalışmada gerekmektedir. Planlanan faaliyetlerin etkilerinin belirlenmesi için

oluşturulacak olan yol haritasının başlangıç noktası mevcut çevresel durumun ve kirlilik yükünün tespit edilmesi olmalıdır. Bu kapsamda, hava kalitesi, su kalitesi, arka plan gürültü ölçümü, AKD (Asit Kaya Drenajı), toprak kalitesi, flora fauna, uzun yıllara ait meteorolojik ve iklimsel özelliklere ait verilerin toplanması, hidroloji ve hidrojeoloji çalışmaları detaylı olarak gerçekleştirilmelidir. Söz konusu çalışmaların tamamı Çevresel Veri Toplama (ÇVT) çalışmaları olarak isimlendirilmektedir.

Gerçekleştirilecek olan ÇVT çalışmalarının özellikle bölgenin mevsimsel şartlarını da sağlayacak dönemlerde gerçekleştirilmesi elde edilen verilerin değerlendirmesinde yaşanacak hataların önüne geçecektir. Bu kapsamda Koza Altın İşletmeleri A.Ş.'nin, ulusal ve uluslararası akredite laboratuvarlar, üniversiteler ve kendi bünyesinde yer alan uzman personeller ile birlikte gerçekleştirdiği ÇVT çalışmaları aşağıda yer almaktadır.

1.1. Hava Kalitesi Belirleme Çalışmaları

Hava kalitesi belirleme çalışmaları kapsamında PM10 ölçümleri, çöken toz ölçümleri, NO_2, NO_x ve SO_2 (Pasif Örnekleme) ölçümleri yapılmaktadır. Koza Altın İşletmeleri A.Ş. tarafından gerçekleştirilen hava kalitesi belirleme çalışmalarına ait görüntüler Şekil 1'de yer almaktadır. Bölgenin meteorolojik özellikleri ve çalışmaların yapıldığı mevsimsel dönem, elde edilen sonuçların değerlendirmesinde mutlaka dikkate alınmalıdır. Elde edilen veriler ayrıca hava kalitesi modellemelerinde, uzun dönem meteorolojik veriler ile birlikte modelin kurulmasında kullanılmaktadır.

PM10 ölçümleri, akciğerlere ve üst hava yollarına ulaşabilen kaba partikül olarak tanımlanan ve aerodinamik çapları 10 μm'den daha küçük olan havada asılı partikül maddelerin tespiti için yapılmaktadır.

Çöken toz ölçümleri, mevcut ise bölgede yer alan sanayi tesisleri ve bölgede yaşayan halkın günlük faaliyetlerinden kaynaklı atmosfere yayılan tozların rüzgar yönü de dikkate alınarak 4 yönlü çöken toz kovaları yardımı ile ölçülmesidir.

NO_2, NO_x ve SO_2 (Pasif Örnekleme), mevcut ise bölgede yer alan sanayi tesisleri ya da günlük faaliyetlerden kaynaklı olarak oluşabilecek yanma gazlarından kaynaklı olan NO2, NOx ve SO2 gibi emisyonların ölçümü için kullanılmaktadır. Pasif örnekleme yöntemi difüzyon yoluyla havadaki kirliliklerin adsorbent üzerine toplanması tekniğine dayanmaktadır.

1.2. Su Kalitesi Belirleme Çalışmaları

Su kalitesi belirleme çalışmaları kapsamında yüzey suları, çeşmeler, su kaynakları, su depoları ve mevcut ise kuyularda saha parametrelerinin ölçümü ve laboratuvar analizleri için örnekleme çalışmaları yapılmaktadır (Şekil 2). Bölgede yer alan yerleşim yerleri ve proje alanı çevresindeki inceleme alanı belirlenirken bölgenin topografik yapısı ve mevsimsel şartlar da göz önünde bulundurulmalıdır.

Şekil 1. Hava Kalitesi Belirleme Çalışmaları

Şekil 2. Su Kalitesi Belirleme Çalışmaları

Saha parametresi ölçümlerinde, anlık olarak sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, toplam çözünmüş katı madde, tuzluluk, debi ve statik su seviyeleri (kuyu) ölçülmektedir. Çalışma alanında su kalitesinin mevcut durumunun tespiti için doğru örnekleme noktalarından standartlara uygun örnek alımı ve analizlerinin hazırlanması büyük önem taşımaktadır. Örnek alma, taşıma ve saklama işlemleri standartlara uygun olarak yapılmalıdır.

1.3. Arka Plan Gürültü Ölçümleri

Faaliyete başlamadan önce proje alanı ve yakın çevresinde yer alan ve çalışmalardan etkilenebileceği ön görülen yerleşim yerlerinde mevcut durumun tespiti amacı ile arka plan gürültü ölçümleri yapılır. Gürültü ölçüm sonuçları değerlendirilirken bölgede yer alan diğer kaynaklar (yollar, diğer tesis ve işletmeler) mutlaka dikkate alınmalıdır (Şekil 3). Elde edilen veriler sayesinde, planlanan madencilik faaliyetinden (patlatma, tesis vb.) ve kullanılan ekipmanlardan kaynaklı gürültü etkileri daha rahat bir şekilde analiz edilebilmekte ve mevcut duruma katkısı belirlenebilmektedir. Arka plan gürültü ölçümleri, faaliyet kaynaklı eşdeğer gürültü seviyeleri birlikte değerlendirildiğinde sınır değerlerin üzerinde alınan sonuçlar için gerekli tedbirlerde (gürültü bariyerleri vb.) projenin planlama sürecine dahil edilmelidir.

Şekil 3. Arka Plan Gürültü Ölçümleri

1.4. Asit Maden Drenajı (AMD) Potansiyeli

Madencilik faaliyetlerinden çıkan pasa içerisinde bulunan bazı minerallerden kaynaklanan başlıca sorun "asit maden drenajının" oluşumudur. Ekonomik olmayan kayaç (EOK) nedeni ile oluşabilecek olan Asit Maden Drenajı (AMD) üretme durumu jeokimyasal test programları vasıtası ile belirlenmektedir. Bu nedenle ÇVT sürecinde AMD analizleri için örneklemeler yapılmaktadır (Şekil 4). Maden arama döneminde

gerçekleştirilen sondajlardan elde edilen karotlar içerisinden analize gönderilecek olan örnekler belirlenir. Seçilen örnekler öncelikle statik testlerin sonuçlarına göre değerlendirilir. Eğer seçilen örnekler içerisinde AMD potansiyeli yüksek olan numuneler mevcut ise bu numuneler için kinetik test programı planlanır. AMD potansiyeline göre alınması gereken önlemler belirlenerek, işletme dönemi planlamalarına dahil edilir.

Şekil 4. AMD Örnekleme Çalışmaları

1.5. Toprak Kalitesi Belirleme Çalışmaları

Faaliyetlere başlanmadan önce arazi hazırlık döneminde proje alanında yer alan bitkisel toprağın sıyrılması ve özelliğini kaybetmeyecek şekilde depolanması gerekmektedir. Faaliyet sonlandığında rehabilitasyon için kullanılacak olan bitkisel toprağın özelliklerini önceden bilmek, rehabilitasyon döneminde nasıl kullanılacağının planlanması ve hangi tür bitkilerin kullanılacağının tespit edilmesinde, bölgenin iklimsel özellikleri ile birlikte önemli bir etkendir (Şekil 5).

Şekil 5. Toprak Örnekleme Çalışmaları

1.6. Flora – Fauna Çalışmaları

Flora fauna çalışmaları bölgesel veya ulusal üniversitelerden uzmanlar ile yapılmaktadır. Literatür bilgilerine ek olarak, farklı dönemleri kapsayan arazi çalışmaları ve yerel halkın vermiş olduğu bilgiler neticesinde, flora fauna raporları oluşturulmaktadır (Şekil 6). Arazi çalışmalarından önce gerçekleştirilmesi planlanan madencilik faaliyeti ile ilgili teknik bilgiler de uzmanlar ile paylaşılmaktadır. Bu sayede raporlama sürecinde çalışmayı yapan uzmanlar proje etkilerini daha iyi belirleyebilmektedir.

Şekil 6 Flora Fauna Çalışmaları

1.7. Hidrolojik ve Hidrojeolojik Etüt Çalışmaları

Hidrojeolojik ve hidrolojik çalışmaların bütününü, proje sahasının bulunduğu bölgenin jeolojik birimlerinin genel özelliklerinin değerlendirilmesi; izleme-gözlem ve test kuyularının yerlerinin belirlenmesi ve açılması, gözlem ve test (hidrojeolojik parametrelerin belirlenmesine yönelik) yapılan kuyuların bulunduğu jeolojik birimlerin hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi için akifer testlerinin (pompa testi ve slug testlerin) gerçekleştirilmesi, yeraltı suyu seviyelerinin belirli periyotlarla izlenmesi, mevcut durumun su kalitesini belirlemek için madencilik faaliyetleri öncesi laboratuvar örneklemelerinin yapılması oluşturmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmaların tamamı işletme ve kapatma dönemlerinde uygulanacak olan su yönetimi planlamalarının da

temelini oluşturmaktadır. Şekil 7'de hidrolojik ve hidrojeolojik arazi çalışmalarına ait görüntüler yer almaktadır.

Şekil 7. Gözlem Kuyularının Açılması ve Pompa Testleri

2. ÇVT ÇALIŞMALARI KAPSAMINDA ELDE EDİLEN VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE KULLANIMI

ÇVT çalışmalarında elde edilen veriler, işletme, kapama (rehabilitasyon) ve işletme sonrası dönemlerinde yapılacak olan çalışmaların bir çoğunun zeminini oluşturmaktadır. Elde edilen verilen kullanım alanlarını bilmek, olası zaman ve maliyet kayıplarının da önüne geçecektir. ÇVT çalışmalarının düzenli ve ileriye dönük planlanması ile daha sonraki çalışmaların bütçelerinin düşmesini ve zamanın verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Bu kapsamda teknik çalışmaları gerçekleştirilecek olan birimlerin birbirleri ile uyum içerisinde çalışması gerekmektedir.

2.1. Susuzlaştırma Çalışmaları, Proses Tasarımı ve Su Yönetimi Planları

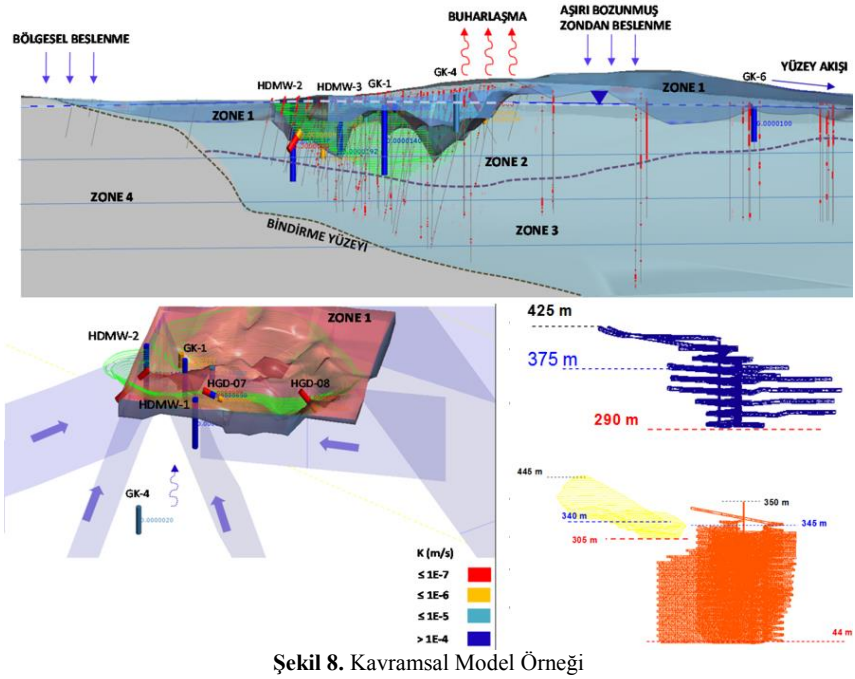
Susuzlaştırma Çalışmaları (Açık Ocak ve Yeraltı Ocağı)

Hidrolojik ve hidrojeolojik çalışmalar kapsamında proje sahasının bulunduğu bölgenin jeolojik birimlerinin genel özelliklerinin değerlendirilmesi; izleme-gözlem ve test kuyularının yerlerinin belirlenmesi ve açılması, gözlem ve test (hidrojeolojik parametrelerin belirlenmesine yönelik) yapılan kuyuların bulunduğu jeolojik birimlerin hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi için akifer testlerinin (pompa testi ve slug

testlerin) gerçekleştirilmesi, yeraltı suyu seviyelerinin belirli periyotlarla izlenmesi, mevcut durumun su kalitesini belirlemek için madencilik faaliyetleri öncesi laboratuvar örneklemelerinin yapılması ile elde edilen veriler mevcut durumu vermekle birlikte, planlama ve işletme döneminde karşılaşılabilecek yeraltısuyu kaynaklı problemlerin çözümü için yapılması gereken teknik çalışmalar için altlık oluşturmaktadır.

Hidroloji ve hidrojeoloji çalışmaları kapsamında elde edilen verilerin kullanıldığı modellemeler ile açık ocak ve yeraltı ocaklarında susuzlaştırma çalışmaları yapılabilmektedir (Şekil 8). Önceden planlanan su yönetimi ve susuzlaştırma çalışmaları sayesinde;

- Açık ocak ve ocak faaliyet alanının kuru kalması, güvenli ve emniyetli bir çalışma alanı sağlanması
- Çevredeki yüzey suları kaynaklı ani su ve çamur baskınlarının engellenmesi,
- Açık ocak şev duraylılığı için şev açılarının optimize edilmesi, örtü malzemesinin kaymasının engellenmesi ve gözenek suyu basınçsızlaştırma teknikleri ile sığ basamak kaymaları ve derin dairesel kaymaların engellenmesi,
- Açık ocak ve yeraltı ocağı susuzlaştırma çalışmaları sonucunda yeraltısuyu deşarj sisteminin belirlenmektedir (SRK Danışmanlık, 2010).



Şekil 8. Kavramsal Model Örneği

Proses Tasarımı

Bölgede yer alan su kaynaklarında (yeraltı ve yerüstü) yapılan izleme çalışmaları sayesinde elde edilen veriler, faaliyet kapsamında kurulacak olan prosesin tasarımında da kullanılmaktadır. Proses tasarımı şekillenirken, proseste kullanılacak suyun kimyasal parametrelerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu sayede üretimde kullanılacak kimyasalların dozajları daha kesin miktarlar ile belirlenebilmekte ve üretim reçeteleri oluşturulmaktadır.

- Liç yöntemi kullanılması durumunda, proses içerisinde siyanür tüketen iyonların bulunması istenmemektedir. Özellikle ağır metallerin iyon halinde bulunmaması istenir. As, Cu, Sb, Pb, S gibi minerallerin yüksek konsantrasyonda olması durumunda altın kazanımı öncesinde rehabilitasyona (çöktürmeye) ihtiyaç duyulmaktadır.
- Flotasyon yönetimi ile çalışan prosesler, liç yöntemi ile çalışan proseslere göre daha hassas olduğu için söz konusu iyonlardan daha çok etkilenmektedir.
- Proseste kullanılacak olan su içerisinde Ca iyonlarının fazla olması proses hatlarının kireçlenmesine neden olmaktadır.

Atık Depolama Tesisi (ADT) Sızıntı Modellemesi

Planlanan faaliyet kapsamında atık depolama tesisi kurulması durumunda, atık depolama tesisi nedeni ile oluşabilecek sızıntılardan kaynaklı kirliliğin değerlendirilmesi gerekmektedir. Kirliliğe neden olan kirletici kaynağı, taşıyıcı ortam ve alıcı ortam olarak ayrı değerlendirilmektedir. Değerlendirme aşamasında (Golder Associates, 2016);

Kirletici Kaynağı için,

- ADT Geometrisi,
- Sızdırmazlık Önlemlerinin Değerlendirilmesi,
- Mevcut Önlemler ile Sızıntı Miktarının Tespiti (Analitik Modelleme)

Taşıyıcı Ortam için,

- Jeolojik Kesitlerin İncelenmesi,
- 3 Boyutlu Jeoloji Modelinin Oluşturulması,
- Hidrolik İletkenlik değerlerinin Belirlenmesi
- Tane Boyu analizleri ve Nem İçeriği Testleri ile Hidrolik İletkenliğin Belirlenmesi

Alıcı Ortam için,

- Yeraltısuyu (YAS) Tablasının Belirlenmesi
- Hidrolik Gradyanın Belirlenmesi,
- Mevcut ise Yeraltısuyu Akış Aşağı Kuyularının ve Özelliklerinin Belirlenmesidir.

Elde edilen veriler sayesinde oluşturulan Analitik ve Nümerik Modellerin sonuçları detaylı olarak değerlendirilmektedir. Alıcı ortamın değerlendirilmesi aşamasında görüleceği üzere, YAS tablasının belirlenmesi, Hidrolik Gradyanın belirlenmesi ve akış aşağı kuyu özelliklerinin belirlenmesi aşamasında ÇVT çalışmaları kapsamında yapılan Hidroloji ve Hidrojeoloji Çalışmalarından elde edilen veriler kullanılmakla birlikte çalışmanın detaylandırılması adına yeni gözlem kuyularına da ihtiyaç duyulabilmektedir.

Su Yönetim Planları

Madencilik faaliyetlerinin gerçekleştirileceği saha içerisinde, kaynak olarak kullanılan, kullanılmayan, madencilik faaliyetlerinden kaynaklı olan ya da doğal süreçler ile saha içerisine giriş yapan ve atık olarak değerlendirilen suyun kalitesinin kontrol edilmesi ve suyun yönetilmesi amacı ile su yönetim planları hazırlanmaktadır.

Bu kapsam içerisinde aşağıda belirtilen su girdileri takip edilmekte ve yönetim planına dahil edilmektedir.

- Ham su (personel ve diğer kullanım suları)
- Proses suyu
- Diğer Su Kaynakları
  - Cevherdeki nem
  - Yağmur suları
  - Açık ocak ve yeraltı işletmeleri suları
  - Personel kaynaklı atıksular
- Yeraltı gözlem kuyuları

Madencilik faaliyeti kapsamında yukarıda belirtilen su girdileri sayesinde proje alanına ait su bilançoları oluşturulmaktadır. Bu çalışmalar esnasında arıtma sistemleri sayesinde tekrar kullanılan ve deşarj edilen su miktarlarını da göz önünde bulundurmak gereklidir. Faaliyete başlamadan gerçekleştirilen Hidroloji ve Hidrojeoloji çalışmaları, su kalitesi tespiti için yapılan örneklemeler ve saha parametresi ölçümleri, daha sonra

hazırlanan Su Yönetim Planının kontrol mekanizmasını oluşturmaktadır. ÇVT çalışmaları ile elde edilen veriler işletme, kapama (rehabilitasyon) ve işletme sonrası dönemlerde faaliyet kaynaklı çevresel etkilerin tespiti ve mevcut ise zararlı etkilerin minimize edilmesi hususunda yol gösterecektir.

2.2. Çevresel Etkiler ve Karşı Aksiyonlar

Asit Maden Drenajı Önlemleri

ÇVT çalışmalarında AMD irdelenmesi amacı ile alınan örnekler ile birlikte çalışma alanı çevresi jeolojik, mineralojik, kimyasal, fiziksel ve biyolojik açıdan elde edilen veriler ışığında değerlendirilmeli, statik ve kinetik test sonuçları ile desteklenmelidir. AMD oluşum potansiyelinin öngörüldüğü durumlarda işletme döneminde ve kapama döneminde alınması gereken önleyici ve koruyucu önlemler belirlenmelidir (Şekil 9).

Şekil 9. AMD Örnekleri

Örtü malzemesi kullanımı, pasanın kontrollü olarak depolanması ve su yönetimi gibi yöntemler kullanılarak kaynağında önlemeye yardımcı olabilecek yöntemlerin tercih edilmesi ile etkin ve ekonomik bir yol izlenmiş olacaktır. Bu yöntemlerin tercih edilmemesi durumunda aktif ve pasif arıtma yöntemlerinden uygun olanı uygulanabilir (Karadeniz, M., 2005).

Yönetim şeklinin belirlenmesinde; proje alanı ve çevresine ait topografya, jeolojik ve mineralojik yapı, üretim şekli ve ömrü, yerüstü ve yeraltı suyu rejimi, iklim ve maliyet gibi parametrelerin değerlendirilmesi gerekmektedir.

AMD potansiyelinin belirlenmesi için ÇVT kapsamında yapılan örnekleme test çalışmaları ile birlikte, hidroloji ve hidrojeoloji çalışmaları, su kalitesinin izlenmesi ve meteorolojik ve iklimsel özelliklerin birlikte değerlendirilmesi ile önleyici yönetim tespiti yapılmaktadır. Bu sayede kaynağında önleme çalışmaları yapılabilmekte ve daha az maliyetli çözüm yolları seçilebilmektedir.

Hava Kalitesi ve Gürültü Kirliliği Konusunda Alınacak Önlemler

Hava kalitesi belirleme çalışmaları kapsamında elde edilen veriler sayesinde, faaliyet alanı ve çevresinin mevcut durumu tespit edilmektedir. Planlanan madencilik faaliyetine ait üretim parametreleri ve arka plan verilerinin birlikte işlenmesi ile oluşturulan faaliyete ait en kötü durum senaryosuna, bölgeye ait topografik, iklimsel ve meteorolojik verilerin eklenmesi ile oluşturulan modelleme sayesinde elde edilen sonuçlar, projenin işletme dönemi boyunca hava kalitesine etkisinin görülmesini sağlamaktadır.

Elde edilen sonuçlara göre öncelikle hava kalitesine etki eden faaliyet kollarındaki etkilerin azaltılması yolunda çözümlerin irdelenmesi gerekmektedir. Mühendislik anlamında, ekonomik ve uygulanabilir bir çözüm bulunamaması durumunda üretim parametrelerinde azaltma yoluna gidilebilmektedir (Şekil 10).

Şekil 10. Toz Bastırma Yöntemleri

Aynı şekilde faaliyet öncesi yapılan arka plan gürültü ölçümleri sonuçları ve faaliyetin buna katkısı ile birlikte oluşması muhtemel eşdeğer gürültü seviyesi tespit edilmektedir. İlgili yönetmelik sınır değerlerinin aşılması durumunda öncelik yine uygun mühendislik çözümlerinin belirlenmesi olmakla birlikte, yine üretim parametrelerindeki değişikliklerde son çare olarak düşünülmelidir.

ÇVT çalışmalarında elde edilen verilen altlık olarak kullanılması ile yapılan etki tespiti sayesinde hava kalitesi ve gürültü kirliliği etkilerinin azaltılması kapsamında belirlenen aksiyon ne olursa olsun, planlanan faaliyetin fayda maliyet analizinde bir yeri olacaktır.

Rehabilitasyon ve Kapama Çalışmaları

Rehabilitasyon ve kapama döneminde ekonomik ömrünü tamamlamış faaliyet alanında dengenin yeniden kurulması, tekrar insanların ya da diğer canlıların güvenle yararlanabileceği hale getirilmesini sağlayacak çalışmaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda bozulan alanın ekolojik, ekonomik ve estetik değerler göz önünde bulundurularak sürdürülebilirliğini sağlamak amaçlanmaktadır.

Rehabilitasyon çalışmaları kapsamında işletme sonrası arazinin kullanıma hazırlanması, teraslama ve şev düzenlemelerinin yapılması, bitkisel toprağın serilmesi, gerekli ise toprağın iyileştirilmesi (kompost, kireç, gübre kül vb.), bitkilendirme ve ağaçlandırma çalışmaları gerçekleştirilmektedir (

Şekil **11**).

Şekil 11. Rehabilitasyon Çalışmaları

Rehabilitasyon aşamalarında, bitkisel toprağın depolama süreci öncesi ve sonrasındaki, kimyasal ve biyolojik durumu, bitkisel toprağın iyileştirme çalışmalarına gerek olup olmadığını belirlemekle birlikte, bölgenin meteorolojik ve iklimsel durumu, ekonomik ihtiyaçları vb. parametrelerle birlikte değerlendirilerek bitkilendirme çalışmalarında kullanılacak tür seçenekleri belirlenmektedir. Bu sayede rehabilitasyon sonrası alanın kullanım şekli de belirlenmiş olacaktır.

Faaliyet öncesi yapılan ÇVT çalışmaları ile elde edilen toprak kalitesi verileri, geçmiş yıllara ait meteorolojik ve iklimsel veriler, bölgeye has ekonomik değeri olan bitki türleri ve iş kolları değerlendirilerek ÇED sürecinde hazırlanan rehabilitasyon projesinin, madencilik faaliyetlerinin sonlanması ile uygulama aşamasına geçilmektedir. Elimizde mevcut olan rehabilitasyon projesinde, işletme döneminde de takip edilen su kalitesi, su bilançoları, meteorolojik veriler ile depolama sonrası bitkisel toprak kalitesi gibi parametrelerin güncellenmesi ile proje uygulamaya konulabilir durumda olacaktır.

2.3. Koza Altın İşletmeleri A.Ş. Projelerinde Karşılaşılan Spesifik Örnekler

İçme ve Kullanma Suyunda Anormallikler

Koza Altın İşletmeleri A.Ş. tarafından halen aktif olarak devam eden bir projenin ÇVT çalışmaları esnasında elde edilen su kalitesi parametrelerinde, bölge halkı tarafından kullanılan içme suyunda ilgili yönetmeliklerin çok üzerinde arsenik olduğu fark edilmiştir. Konu ile ilgili olarak yöre halkı ve ilgili kurumlar bilgilendirilmiştir.

Söz konusu bölgede yapılan işe alımlarda, diğer bölgelerden farklı olarak kandaki arsenik miktarının görüleceği testler talep edilmiş ve birçok personelde sınır değerlerin çok üzerinde arsenik tespit edilmiştir. Söz konusu sonuçlar ilgili personelin özlük dosyasında yerini almıştır. Bu sayede ilerleyen süreçte arseniğin madencilik faaliyeti kaynaklı olduğu yönünde karşılaşılabilecek şikayetler için bir savunma oluşturulmuştur.

3. SONUÇLAR

Madencilik sektöründe fizibilite ve planlama aşamaları kadar önem arz eden Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) süreci, projenin yapılabilirliğini ve çoğu zaman üretim sınırlarını belirlemektedir. ÇED sürecinde faaliyetin planlandığı çalışma alanının mevcut çevresel durumunun belirlenmesi amacı ile yapılan su kalitesi, hava kalitesi,

toprak kalitesi, asit maden drenajı (AMD) ve arka plan gürültü ölçümleri, flora fauna, hidroloji ve hidrojeoloji çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Elde edilen verilerin neredeyse tamamı fizibilite, planlama, işletme ve kapama süreçlerinde gerçekleştirilecek olan çalışmalar için altlık görevi görmektedir.

Söz konusu süreçlerde ÇVT çalışmaları tek başına yeterli gelmemekle birlikte, faaliyet alanının mevcut durumunu bilmek ve buna ek olarak yapılan çalışmaların, birlikte değerlendirilmesi ile elde edilen sonuçlar daha sağlıklı olacaktır.

Her şeyden önce bir faaliyetin gerçekleştirilebilmesi için bazı aşamaları tamamlamış olması ve fayda maliyet analizi sonuçlarının ekonomik bir fayda sunması gerekmektedir. ÇVT çalışmalarında yapılan iş ve işlemler her ne kadar faaliyet sahipleri tarafından bir yük olarak görülse de, yapılan çalışmaların sonuçları neticesinde belirlenen Çevresel Aksiyonlar, gelecek dönemlerde karşılaşılabilecek ceza ve yaptırımlar düşünüldüğünde cüzi miktarlarda kalacaktır.

ÇVT sürecinde elde edilen veriler yukarıdaki örneklerde de görüleceği üzere birçok rapor ve teknik çalışmanın alt aşmalarında yer almaktadır. ÇVT çalışmalarında elde edilen veriler sayesinde, ilerleyen dönemlerde zaman, iş kaybı ve maddi kayıpların önüne geçilmiş olacaktır.

KAYNAKLAR

Golder Associates, 2016. İzmir Çukuralan Jeokimyasal Karakterizasyon Raporu

Karadeniz, M., 2005. Asit Maden (Kaya) Drenajında Aktif ve Pasif Çözüm Yöntemleri. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Ankara.

Koza Altın İşletmeleri A.Ş., 2015. Adana Pozantı Projesi Nihai ÇED Raporu

Nazka Mühendislik, 2016. Çanakkale Karapınar Projesi Nihai ÇED Raporu

SRK Danışmanlık, 2010. İzmir Çukuralan Susuzlaştırma Değerlendirme Raporu

SRK Danışmanlık, 2009. Eskişehir Kaymaz Altın Madeni Nihai ÇED Raporu

MADENCİLİK SEKTÖRÜNÜN ÇEVRESEL YÖNETİMİNDE KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ÇÖZÜM ODAKLI YAKLAŞIMLAR

THE PROBLEMS ENCOUNTERED WITHIN THE ENVIRONMENTAL ADMINISTRATION OF THE MINING SECTOR AND SOLUTION-FOCUSED APPROACHES

Mesut KÖKEN[1*], Ali Kemal ÇAKIR[2], Nihat DEMİR[3]

1: Maden ve Çevre Danışmanı, Aydın, TÜRKİYE

2: Kastamonu Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, TÜRKİYE

3: Bükköy Madencilik Tur. ve Tic. A.Ş., Aydın, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: mst359@gmail.com

ÖZET: Madencilik sektörü 19 yüzyıl başında sanayi devrimi ile birlikte üretim yöntem ve verimliliği ile yeni bir kimlik kazanmıştır. Bu tarihten itibaren sanayinin hammaddeye olan yoğun talebi, maden üretiminin artırılmasında bir gerekçe olmuştur. Sanayi devriminden günümüze maden üretim artışının evrilmesinde bilimsel ve teknolojik gelişmelerin rolü de büyüktür. 20. yüzyılın ortaları, yoğun endüstriyel üretimin yaşam alanlarında kirlilik oluşturabileceğinin anlaşıldığı dönemdir. Madencilik ve endüstriyel faaliyetler doğal kaynakların, doğal yaşam alanlarının, tarım alanlarının ve yerleşim yerlerinin varlığına tehdit oluşturma endişesi ise 1960'lı yıllarda olmuştur. Türkiye'nin çevre yaklaşımları ve uygulamaları Avrupa ülkeleri ile paraleldir. AET (Avrupa Ekonomik Topluluğu) kurucu anlaşması olan 1957 tarihli Roma Anlaşmasında çevre politikalarına yer verilmemiştir. Topluluk, ilk kez 1971 yılında yapılan Bakanlar Kurulu toplantısında çevre konularını dikkate almıştır. Avrupa Ekonomik Topluluğu'nun Avrupa Birliği'ne dönüşmesinde en çok kendisine yer bulan hızlı bir gelişim ve dönüşüme uğrayan konulardan biri çevre kavramıdır. Bugün Türkiye'de uygulanan çevre mevzuatı, Avrupa Birliğine üye ve aday ülkelerin uyguladığı mevzuatla uyumludur. Büyük bir ivme ile gelişen çevre mevzuatı uygulamalarının adaptasyonunda zaman zaman kargaşa ve uyumsuzluklar yaşanmaktadır. Bu çalışmada çevre mevzuatının maden sektörüne yansımaları ele alınarak; çevre danışmanlık hizmetleri, Çevre Bakanlığı ve taşra birimleri olmak üzere paydaş kamu kurumların

uygulamaları ile maden sektörünün mevcut davranışlarının gözden geçirilmesi ve karşılaşılan sorunların ne gibi tedbirlerle önlenebileceği irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel etki değerlendirmesi, Çevre izni, Çevre görevlisi, Çevre planı, Madencilik

ABSTRACT: *At the beginning of 19th century, mining industry has developed a new identity by means of production, method, and efficiency along with industrial revolution. From this date on, strong demand on raw materials by the industry was to be the reason of increase in mining production. From industrial revolution to nowadays, scientific and technological developments have played a great role in evolution of increasing mining production. Mid- 20th century was the time of realization that the intensive industrial production could produce pollution in living zones. The concern for the mining and industrial activities to pose a threat for existence of natural sources, natural habitats, agricultural areas, and residential areas started at 60s. Turkey's environmental approach and practices are parallel to European countries. 1957 dated Treaty of Rome, known as EEC (European Economic Community) founding treaty, includes the environmental policies. The Community took environmental issues into account at the first meeting of the Council of Ministers in 1971. One of the fastest developing and transforming issues in the transformation of the European Economic Community into the European Union is the concept of the environment. The environmental legislation in Turkey today is in line with the legislation of the European Union members and candidate countries. There are occasional confusions and incompatibilities in the adaptation of environmental legislation practices which develop with great momentum. In this study, the reflections of environmental legislation to the mining sector are discussed; environmental consultancy services, practices of stakeholder public institutions, including Ministry of Environment and provincial units, and the current behaviors of mining industry reviewed and what measures can be taken to prevent the problems faced.*

Keywords: *Environmental impact assessment, Environmental permit, Environmental officer, Environmental plan, Mining*

1. GİRİŞ

Yaşamın kaynağı doğadır. Yaşama kaynaklık eden doğanın yapısı stabil olmayıp, kendine has dinamikleri içinde barındırır. Doğanın dinamik yapısının çözümlenerek, doğadan en az zararla yararlanabilmesi ve devamlılığının esas alınması "sürdürülebilirlik" tanımı ile açıklanmaktadır. Doğanın kullanımı; ekolojik, hidrolojik ve jeolojik özelliklerine göre şekillenmiştir. Bu şekillenme kabaca; tarım, orman, mera, yerleşim alanları gibi çeşitli kategorilere ayrılmıştır. Bu kategorik yapılar verimlilik esas alınarak alan yönetimi için oluşturulmuştur. İnsanlar ancak doğayı tanımlayabilir ve bu tanım kapsamında ondan yararlanabilme olanaklarını araştırabilir.

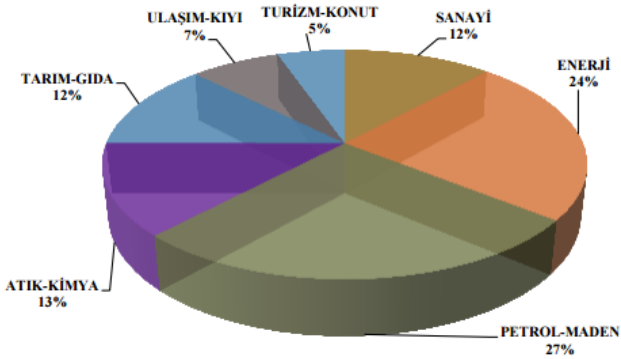
Güneş sisteminin bir parçası olan dünya yörüngesinde ve kendi çevresinde belirli bir hızda dönerken anakara şeklini almış ve toprak, su, iklim gibi yapısal niteliklerinin oluşumunu sağlamıştır. Güneş ışığının (enerjisinin) anakaraya ulaşma yönü ve şiddeti, coğrafik yükseklik farklılıkları, suyun ve anakaranın fiziksel, kimyasal özellikleri birbirinden farklı biyolojik yapıların oluşmasına neden olmuştur. Bu yapı içerisinde cansızdan, canlıya, canlıdan canlıya, canlıdan, cansıza madde değişimi (organik ve inorganik) bir döngü ve bir denge içerisinde sürmektedir.

Ekoloji olarak tanımlanan bu yapıların farklılaşmasında, varyasyonlar oluşturmasında diğer bir etken ise jeolojik devirler boyunca meydana gelen volkanik ve tektonik hareketliliktir. Bu hareketlilik dünya yüzeyinin kimyasal yapısının oluşmasında katkıda bulunur. Mevcut ekolojik yapılar içerisinde yer alan ekosistemlerde, canlı türlerinin çeşitlenmesinde (biyolojik çeşitlilik) ortamın fiziksel ve kimyasal yapısı da etkilidir. Bu doğal ekolojik alanlara yapılacak fiziki müdahaleler ekosistemlerin zarar görmesine neden olur. Biyolojik çeşitlilik zarara uğrar.

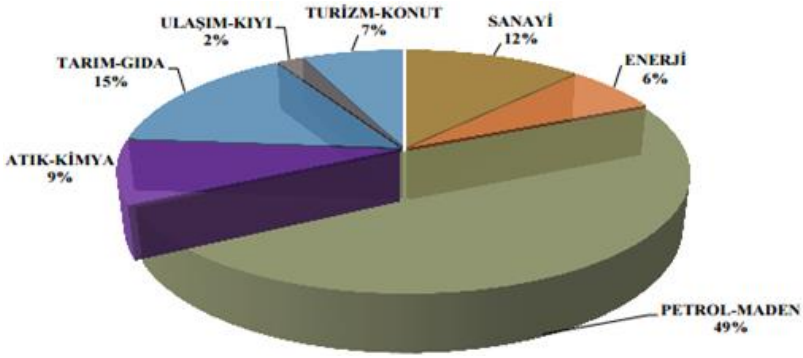
Madencilik sektöründe hammadde rezervleri; tarım, orman, mera, göl, deniz, akarsu gibi tanımlı ekolojik alanların yeraltında veya yüzeyinde bulunmaktadır. Hammadde üretimi alanları ve maden işleme tesisleri prosesleri gereği bu ekolojik yapılar üzerinde yapılır. Bu işletmeler önemli çevresel etkiye sahiptirler. Maden üretimi dünyada olduğu gibi ülkemizde de ekonominin temel taşlarından biridir.

TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) 2016 yılı verilerine göre Türkiye'de maden üretimi GSYH (Gayri Safi Yurtiçi Hasıla) oranı % 1,1'dir (TUİK, 2016). Türkiye'nin sahip olduğu maden rezervi potansiyeli dikkate alındığında bu oran oldukça düşük bir değerdir. Sektörde faaliyetler arttıkça bu oranda artacaktır, iyi bir planlama stratejisi

uygulandığında Türkiye'nin lokomotif sektörü olması kaçınılmazdır. Tüm Türkiye düzeyinde Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği'nin yürürlüğe girdiği 1993 yılından 2016 yılı sonuna kadar, yönetmeliğin Ek-1 (Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulanacak Projeler) listesi kapsamında incelenip değerlendirilen projelerde maden sektörü %27'lik bir orana sahiptir (Şekil 1). Bu oran yönetmeliğin Ek-2 listesi için ise %49 olduğu görülmektedir (Şekil 2). Madencilik faaliyetleri Çevresel Etki Değerlendirmesi projeleri içerisinde diğer faaliyetlerle karşılaştırıldığında oldukça yüksek olup, Ek-2 listesi kapsamında yer alan her iki faaliyetten birinin madencilik sektörüne ait olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 1. 1993-2016 yılları ÇED olumlu kararlarının sektörel dağılımı (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017).



Şekil 2. 1993-2016 yılları ÇED gerekli değildir kararlarının sektörel dağılımı (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017).

Madencilik faaliyetlerinde çevre mevzuatı; Çevre Kanunu, ÇED Yönetmeliği, Çevre İzin Yönetmeliği ve diğer yönetmelikler kapsamında yürütülmektedir. Çevresel Etki Değerlendirmesi; faaliyetlerin henüz başlamadan seçilen yer ve teknoloji

alternatiflerinin tespit edilerek çevrenin kalitesine olumsuz etki etmeyecek bir yapıya dönüştürülmesini sağlamak veya olabilecek olumsuz etkinin en düşük seviyelere indirilmesini içeren çalışmaları kapsamaktadır. ÇED bir süreç olup ekonomik ve ekolojik değerlendirmelerin yatırım kararına dönüşmesinde rol oynayan planlama işlemidir. ÇED kararı aşamasında çevrenin ekolojik ve jeolojik hassasiyetleri (flora, fauna, tarım, orman, depremsellik vs.) ile halkın görüşleri yer alır.

Bütün sektörlerin prosesleri toprak, su ve hava gibi en temel doğal kaynaklara olumsuz etki oluşturmayan, çevresel açıdan sürdürülebilir, koruma ve kullanma ilkesi ekseninde yapılandırılmalıdır. Çevrenin yönetilebilmesi, doğanın yenilenebilme özelliğinin zarar görmemesi ve kirletici unsurların kontrolü ile sağlanabilir. Bu amaçla doğanın korunmasının yasal düzenlemelerinden biri de çevre mevzuatıdır. Her türlü atığın üretilmesinden bertarafına kadar olan aşamalardaki izlenilecek yollar Çevre Kanunu ve bu kanuna istinaden çıkarılmış yönetmeliklerle düzenlenmiştir.

Türkiye'de çevre yönetimiyle ilgili sistemin temelleri Üçüncü Beş Yıllık Kalkınma Planı (1973-1977) ile birlikte atılmış; sistemin başlıca özellikleri ise 1982 Anayasası, 1983 tarihli Çevre Kanunu ve 1991 yılında Çevre Bakanlığı'nın kurulması ile belirlenmiştir. Dolayısıyla, Türkiye'nin çevre yönetim sistemi ve bunun kurumsal temeli, çevre koruma politikaları ile yönetim sistemlerinde önemli değişiklikler öngören 1992 Rio Bildirgesi ve Gündem 21'i öne çıkartmaktadır. Türkiye, ulusal çevre politikalarının, bu tür uluslararası belgelerde benimsenen yaklaşımlarla uyumlulaştırılması gereğini kabul etmektedir (Şeren ve Dedebek, 2013).

Çevre kanunu 1983 yılında yürürlüğe girmiştir. Çevre Kanununda 2006 yılında önemli değişiklikler yapılmıştır. Bu değişiklikler ekseninde çıkarılan yönetmelikler günümüzün çevre yönetim yapısını belirlemiş ve kirlilik kaynaklarının çevreye zarar oluşturmayacak yapısını disipline etmiştir. Çevre kanunun yayımlanmasının üzerinden 34 yıl geçmiş olmasına rağmen, bu kanuna istinaden çıkarılan yönetmeliklerin birçoğu ortalama 10 – 15 yıllık zaman diliminde çıkarılmıştır. Çevre kanunu ve özellikle çevreye ilişkin yönetmeliklerin yayımlanmasının üzerinden çok süre geçmemiş olmamasına rağmen toplumsal anlamda bir karşılık bulmuştur. Ancak mevzuatın uygulanmasında çeşitli nedenlere bağlı olarak aksamalar olmaktadır. Bu aksamaların çözümlenebilmesi için kamu personeli, mevzuat, çevre danışmanlık sistemi ve işletmecilerin davranışlarının irdelenmesi gerekmektedir. Yatırımcının uğradığı zaman

kayıpları önemli ölçüde ekonomik zararlara yol açmakta ve sektörel gelişimi yavaşlatmaktadır. Uluslararası rekabetçi koşullar gözetilerek sektörün verimli ve üretken yapıya dönüştürülmesi desteklenmeli, yatırımcıya yol gösterici ve süreci hızlandıracak sistemsel çözümler yaratılmalıdır. Çevresel duyarlılık kapsamında ekolojik hassasiyetlerin esas alındığı ürerim tesisleri tasarlanarak uygulamaya konmalıdır. Doğal alanların kullanımını belirleyen bu tür çalışmalarda örnek ve yol gösterici lokomotif rol kamunun olmalıdır. Doğal alanlarda planlanan işletmelerin faaliyet öncesi salt kurum görüşlerinin alınarak yatırıma karar verilmesi telafisi mümkün olmayan sonuçları da beraberinde getirecektir. Yatırım kararlarında ekolojik yapıların korunması için çevre mevzuatı ve kamu uygulamaları, sosyokültürel birikim, ekonomik yapının gücü belirleyici olacaktır.

2. ÇEVRE MEVZUATINDA MADEN SEKTÖRÜNÜN YERİ

Maden sektörünün, cevher üretim alanları, zenginleştirme ve işleme tesisleri önemli çevresel etkiye sahiptir. Bu sebeple sektörün her bir aşaması çevre mevzuatı ile doğrudan ilişkilendirilmiştir.

2.1 Türkiye'de Çevrenin Dünü, Bugünü

AB'nin 1957 yılından günümüze çevrenin korunmasına ve geliştirilmesine yönelik olarak kat ettiği mesafenin yansımaları Türkiye'de de yaşandığı söylenebilir. Çevrenin bir sektör olarak değerlendirilmesi, ilk kez 1973-1978 döneminde hazırlanan Üçüncü Beş Yıllık Kalkınma Planında görülmektedir. Bu dönemde çevre sorunları kalkınma çabaları içinde ve kalkınmayı yavaşlatmayacak biçimde ele alınmış, plan çerçevesinde genel olarak kirliliğin engellenmesinin üzerinde durulmuştur. 1979'da hazırlanan dördüncü kalkınma planında, kirliliğin engellenmesi konusundaki çalışmalar devam etmiş ve Çevre Müsteşarlığı kurulmuştur. Çevre sorunlarının toplumsal değişim süreci ile birlikte çözüme kavuşturulması planlanmış ve yerel yönetimlere karar hakkı tanınmıştır. 1980-1983 döneminde çeşitli uluslararası anlaşmalara imza atılmış ve Çevre Yasası çıkarılmıştır. Türkiye'de çevre politikaları ile ilgili olarak üzerinde durulması gereken ilk nokta, çevre konusuna anayasada özel bir yer verilmesidir. 1982 Anayasası'nın 56. Maddesinde "Herkes, sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahiptir", ifadesi yer almıştır.

Çevrenin AB ve Türkiye eksenindeki gelişim süreci ve kurumsallaşması, ülke düzeyinde 2872 Sayılı Çevre Kanun'un çıkış amacı ve yerine getireceği fonksiyonlar ile ortaya konmuştur. Gerek ülkemizde çevre sorunlarının yeni oluştuğu ve anlaşıldığı sırada hazırlanan ve yürürlüğe konulan 2872 sayılı Çevre Kanunu günün ihtiyaçlarına tam olarak cevap verememesi gerekse de çevre sorunlarının süratle büyümesi ve çevrenin öneminin zaman içinde daha da anlaşılır hale gelmesi sebebiyle Kanunun etkinliğini artırmak üzere bazı değişikliklerin yapılması zorunluluğu doğmuştur. Sonuçta 2872 sayılı Kanun, 5491 sayılı Çevre Kanununda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun ile büyük ölçüde değişikliğe uğramıştır.

Kanunun amacı, bütün canlıların yaşamları boyunca ilişkilerini sürdükleri ve karşılıklı olarak etkileşim içinde bulundukları biyolojik, fiziksel, sosyal, ekonomik ve kültürel ortamı olan çevrenin, gelecek kuşakların ihtiyaç duyacağı kaynakların varlığını ve kalitesini tehlikeye atmadan, hem bugünün hem de gelecek kuşakların çevresini oluşturan tüm çevresel değerlerin her alanda (sosyal, ekonomik, fizikî vb.) ıslah etmektir. Bunun korunması ve geliştirilmesi süreci ile bugünkü ve gelecek kuşakların, sağlıklı bir çevrede yaşamasını güvence altına alan çevresel, ekonomik ve sosyal hedefler arasında denge kurulması esasına dayalı kalkınma ve gelişme ilkeleri doğrultusunda korunmasını sağlamaktır.

5491 sayı ile değişiklik yapılan Kanun insan ve diğer canlıların varlık ve gelişmelerini doğal yapılarına uygun bir şekilde sürdürebilmeleri için gerekli olan şartların bütününü sağlamayı amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda da Kanun önümüzdeki çok kısa bir süreç içerisinde gerek devleti, devletin bütün birimlerini, gerekse de kişiler ile kurum ve kuruluşların tamamını ilgilendirecek olan sorumlulukları beraberinde getirmektedir. Yeni çevre politikası çerçevesinde getirilen sorumluluklar devletin ve işletmelerin bugüne kadar yüklendiği sorumluklar arasında en geniş boyutta olanıdır. Belli başlı bazı değişikliklere değinilecek olursa, Atıkların toplanması, geri kazanılması, geri dönüşümü ve bertaraf edilebilmesinin kontrolünü sağlamak ve belgelendirmek kapsamında Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği uygulamaya konulmuştur. Çevre Bilgi Sistemi oluşturularak, tesisler kayıt altına alınarak atık yönetimi web tabanlı çevrimiçi niteliğe dönüştürülmüştür. Çevresel Etki Değerlendirmesi Başvuru Dosyası, Çevresel Etki Değerlendirmesi Raporu ve Proje Tanıtım Dosyası hazırlamak için gerekli şartları taşıyan kurum/kuruluşlara Yeterlik

Tebliği ile belirli bir standart getirilmiştir. Çevre mevzuatı kapsamında her türlü izin, izleme ve denetimlere esas teşkil eden ölçüm ve analizleri yapacak, özel veya kamuya ait kurum ve kuruluş laboratuvarlarının yetkilendirilmesine ilişkin olarak Çevre Ölçüm ve Analiz Laboratuvarları Yeterlik Yönetmeliği ile bir düzenleme yapılmıştır. Yaşanan bu gelişmeler çevrenin sürdürülebilir, geliştirilebilir niteliklerini öne çıkarırken, kayıt altına alarak atıkların yönetilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda çevrenin sektörleşmesi yolu da bu yapılanma ile açılmıştır (Şenol, 2014).

2.2 Madencilik Faaliyetlerinin Çevreye Etkisi

Maden kaynakları çoğunlukla doğal yaşamın içerisinde yer almaktadır (Şekil 3-5). Madencilik faaliyetleri, maden rezervinin bulunduğu yerde yapılmak durumunda olduğundan yer seçimi gibi bir alternatifi bulunmamaktadır. Bu nedenle madencilik faaliyetlerinin kaçınılmaz olarak çevreye, çevrenin bileşenleri olan canlılara ve fiziksel ortamı olan hava, su, toprak üzerine olumsuz etkileri olmaktadır. Faaliyetler hava kalitesine, yüzeysel sulara, yeraltı sularına, toprak ve arazi kullanımına, vejetasyon yapısına, flora ve faunaya olumsuz çevresel etkiler oluşturmaktadır. Bu etkiler:

- ✓ Arazi bütünlüğünün bozulması,
- ✓ Vejetasyon üzerine baskı oluşturması, flora ve faunayı oluşturan türlerin olumsuz etkilenmesi,
- ✓ Patlatma, yükleme, nakliye işlemlerinde toz emisyonları, gürültü, titreşim oluşumları,
- ✓ Sulak alanlara, yüzeysel ve yeraltı suları ile akiferlere kirletici etkileri,
- ✓ Peyzaj değerinin bozulması, siluetin ve topoğrafyanın değişmesi,
- ✓ Bozulan alanların ve pasa malzemelerin rüzgâr erozyonuna duyarlı hale gelmesi, rehabilitasyon ihtiyacı oluşması,
- ✓ Faaliyetlerin ve iş makine ekipmanlarının ürettikleri tehlikeli ve tehlikesiz atıklar (yağ, akü, lastik vs.), toz, gürültü, titreşim, egzoz emisyonları,
- ✓ Pasa ve kullanım dışı stok yığınları.

2.2.1 Madencilik faaliyetlerinde çevre düzeni planları

Madencilik gibi arazi üzerinde yapılacak faaliyetlerde arazi kullanım koşullarını belirleyici etkenlerden biri çevre düzeni planlarıdır. 648 sayılı Çevre ve Şehircilik

Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararname İle Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun Hükmünde Kararname'nin 2/(ç) maddesinde "Her tür ve ölçekteki fiziki planlara ve bunların uygulanmasına yönelik temel ilke, strateji ve standartları belirlemek ve bunların uygulanmasını sağlamak, Bakanlar Kurulunca yetkilendirilen alanlar ile merkezi idarenin yetkisi içindeki kamu yatırımları, mülkiyeti kamuya ait arsa ve araziler üzerinde yapılacak her türlü yapı, milli güvenliğe dair tesisler, askeri yasak bölgeler, genel sığınak alanları, özel güvenlik bölgeleri, enerji ve telekomünikasyon tesislerine ilişkin etütleri, harita, her tür ve ölçekte çevre düzeni, nazım ve uygulama imar planlarını, parselasyon planlarını ve değişikliklerini resen yapmak, yaptırmak, onaylamak ve başvuru tarihinden itibaren iki ay içinde yetkili idarelerce ruhsatlandırma yapılmaması halinde resen ruhsat ve yapı kullanma izni vermek." Çevre ve Şehircilik Bakanlığının görevleri arasında sayılmıştır.

Şekil 3. Kömür eleme yıkama tesisinin doğrudan dereye deşarjı ve yakınında tarım alanları

Şekil 4. Orman ekosistemi içerisinde faaliyet gösteren mermer ocağı işletmesi

Şekil 5. Kırma ve eleme tesisi bitişiğinde, zeytinlik alan

Türkiye'nin 1/100.000 ölçekli Çevre Düzeni Planları önemli ölçüde tamamlanmıştır. Çevre Düzeni Planı üzerinde tanımlanmış lekeler ile arazinin kullanım koşulları planın, plan hükümlerinde yer almıştır. Çevre Düzeni Planı hükümlerinde,

madencilik faaliyetlerine ilişkin arazi kullanım koşulları, Maden Kanunu ve ÇED Yönetmeliğinin hükümleri kapsamında değerlendirileceği kaydedilmiştir.

1/100.000 ölçekli Çevre Düzeni Planları önemlidir. Ancak Madencilik sektörünün çevre mevzuatı uyarınca karşılaştığı sorunların aşılmasında çözümleyici değildir. 1/100.000 ölçekli bir planın herhangi bir uygulama alanındaki kriterleri sağlıklı olarak tanımlayamamaktadır. Çevre Düzeni Planlarının çözümleyici yaklaşımda olabilmesi için 1/25.000 ölçekli Çevre Düzeni Planlarının ivedilikle hazırlanarak uygulamaya girmesi gerekmektedir.

2.2.1.1 Madencilik Faaliyetleri İçin 1/25.000 Ölçekli Çevre Düzeni Planlarının Önemi

1/25.000 ölçekli çevre düzeni planları, 1/100.000 ölçekli çevre düzeni planlarına oranla daha detaylı arazi kullanım koşullarını tanımlamaktadır. Arazinin mevcut ekolojik yapısının bozulmadan, sürdürülebilir ilkeler çerçevesinde yönetimi için 1/25000 ölçekli çevre düzeni planlarının varlığı önemlidir. Zira bu ölçekteki bir planda toprak, su kaynaklarına, ortamın flora fauna gibi biyolojik unsurlarına ve jeolojik yapısında daha detay olarak işlenmiştir.

Madencilik sektörü, 1/25.000 ölçekli Çevre Düzeni Planlarının yaşama geçmesi ile birlikte arazi kullanım karar sürecinde kurum görüşleri oluşturulmasında plan hükümlerinde bu konular yer aldığından zaman kayıplarının önüne geçecek ve uygulamada birliktelik sağlanacaktır.

2.2.1.2 Çevresel etki değerlendirmesi ve madencilik faaliyetleri

Türkiye'de Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) kavramı 1982 anayasasının 56. maddesine istinaden hazırlanarak 11.08.1983 tarih ve 18132 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan 2872 sayılı Çevre Kanunu'nun 10. maddesi ile ilkkez tanımlanmıştır. ÇED Yönetmeliği, Çevre Kanununun yayımlanmasından 10 yıl sonra 07.02.1993 tarih ve 21489 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir (Alıca, 2001).

Yönetmelik, çevresel etki oluşturan faaliyetlerin planlama ve karar aşamasından izleme ve denetlenmesine kadar bir dizi süreci beraberinde getirmektedir. ÇED süreci, çevresel bir etkiye sahip faaliyetin, oluşturacağı çevresel etkinin ekonomik, ekolojik ve sosyolojik olarak incelenmesidir. ÇED değerlendirmesinde planlanan faaliyete konu

alanın hâlihazırda kullanımı, alan ile ilişkili ilgili kurumların ve halkın görüşleri (Ek-1 Listesine dâhil faaliyetler için) ile Çevre Kanununa istinaden çıkarılmış yönetmelikler uyarınca proseslerde çevresel etkiye yol açabilecek kirlilik limitlerine dair kıstasları, kullanılacak teknolojiyi, kirliliğin bertaraf yöntemlerini içeren taahhütleri bünyesinde barındırır.

Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği yayımlandığı tarihten günümüze birtakım değişikliklere uğrayarak gelmiştir. ÇED Yönetmeliğindeki değişiklikler iki farklı şekilde ifade edilebilir. İlk olarak, Ek-1 (çevresel etki değerlendirmesi uygulanacak projeler listesi) ile Ek-2 (seçme ve eleme kriterleri uygulanacak projeler listesi) listelerinde yer alan ya da almayan faaliyetlerin listelere eklenmesi veya çıkarılması ya da proje alanı ve kapasiteyi esas alan uygulama projelerindeki değişiklerdir. İkinci olarak da yönetmelikte tanımlanmış olan inceleme ve değerlendirme sürelerini esas alan değişiklerdir. 1993 yılından günümüze ÇED uygulamalarında yaşanan bir başka değişikliler ise ÇED dosyalarını hazırlayanların taşıdığı nitelikleri ve görev sorumluluklarını belirleyen 20.02.2004 tarihinde yayınlanan ilk Yeterlik Tebliği'dir.

Madencilik faaliyetleri; maden arama, hammadde üretim, zenginleştirme ve işleme tesisleri ÇED Yönetmeliği hükümleri kapsamında yer almaktadır. Yönetmeliğin Ek-1 ve Ek-2 listelerindeki madencilik faaliyetleri ayrı başlık ve alt maddeler şeklinde sıralanmıştır. En fazla değişiklik yapılan yönetmeliklerin başında ÇED Yönetmeliği ve en fazla değişiklik yapılan kısmı madencilik faaliyetlerine ilişkin değişikliklerdir. Gerek yönetmeliklerin tam oturmaması, gerekse uygulamada yaşanan sorunlar ve bazen de alınan hukuki uygulama niteliğindeki kararlar neticesinde yönetmelikte çok sık değişiklikler yaşanmıştır. Bu da işletmecilere ve uygulayıcılara zorluklar yaşatmaktadır.

Madencilik sektörünün çevresel etki değerlendirme sürecinin diğer sektörlere göre en büyük farkı ve problemi, bu sürecin daha uzun sürmesidir. Çünkü yapılan faaliyetler alansal bazlı olduğundan etkisi ve etki alanında bir çok farklı kullanımlar olmakta, bu da görüş oluşturma süreçlerini uzatmaktadır. Bu nedenle kurumların maden alanlardaki planlama ilkelerinin önceden oluşturması önemlidir. Kurumlar madencilik faaliyetlerine ilişkin görüş oluşturma ve karar verme aşamasında kişiye ve kurumun farklı birimlerine göre değişmeyen mevzuatta tanımlandığı şekilde değerlendirmeler yapmalıdır.

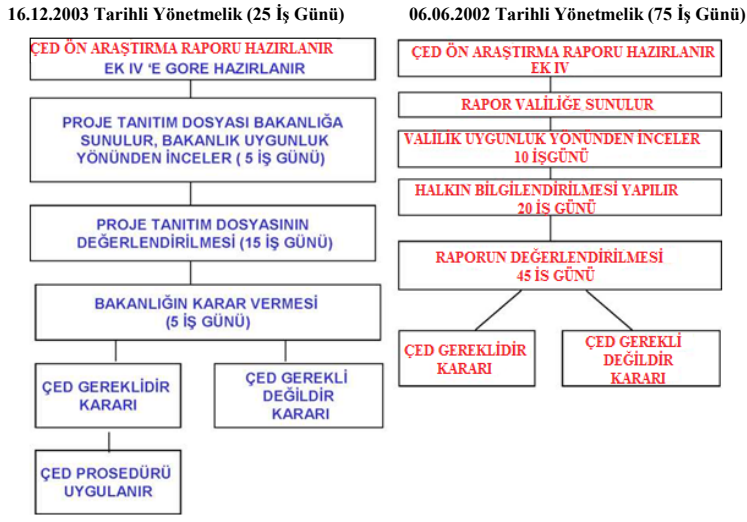
ÇED Yönetmeliği değişimlerinin en önemlisi kuşkusuz "çevre" tanımında yaşanan daraltmadır. Çevre en geniş ve bütüncül şekilde sadece 1993 yılındaki ÇED Yönetmeliğinde tanımlanmıştır. Bu tanıma göre çevre "canlıların yaşamı boyunca ilişkilerini sürdürdüğü ortam olup; bu ortamdaki hava, su, toprak gibi tabii çevrenin fiziksel unsurlarını, üreticiler (bitkiler), tüketiciler (hayvanlar), ayrıştırıcılar (bakteri ve mantarlar) gibi biyolojik unsurlarını, insanların tabii, beşeri, parasal ve maddesel kaynakları kullanım ve işletmelerinden doğan ekonomik çevre unsurlarını, insan topluluklarının demografik yapısı, barınma, sağlık, eğitim ve kültürel ihtiyaçlarını temin biçimleri ile tarihi ve kültürel değerlerin oluşturduğu sosyal çevre unsurları kapsar." Diğer yönetmeliklerde ise çevresel unsurları tek tek sıralamak yerine kısaca "canlıların hayatları boyunca ilişkilerini sürdürdükleri ve karşılıklı olarak etkileşim içinde bulundukları biyolojik, fiziksel, sosyal, ekonomik ve kültürel ortam" tanımıyla yetinilmiştir (Budak vd., 2014).

"Etki" kavramı açısından da benzer bir durum söz konusudur. 1993 Yönetmeliğinde en geniş şekilde "Planlanan bir faaliyetin; hazırlanması, inşaat ve işletme sürecinde ya da işletmenin faaliyetinin sona ermesi halinde, fiziksel, biyolojik, sosyal ve ekonomik çevre unsurlarında doğrudan ya da dolaylı olarak, kısa veya uzun dönemde, geçici ya da kalıcı olarak, olumlu veya olumsuz yönde ortaya çıkması muhtemel değişiklikler" olarak tanımlanmışken devam eden Yönetmeliklerde "çevresel unsurlar" çeşitlendirilmeden sadece kelime olarak geçmiştir. Bazı tanımlar kısaltılıp sadeleştirilirken, uygulamalarda proje içeriği ve eklerinin kapsamında genişlemeler olmuştur (Budak vd., 2014).

2.2.1.3 ÇED yönetmeliği uygulamalarında 1993 yılından bugüne yapılan inceleme, değerlendirme ve karar süreleri değişimleri

ÇED Yönetmeliği uygulamalarında en fazla eleştiri konusu başvurudan karar sürecine kadar geçen sürenin uzun olmasıydı. ÇED Yönetmeliği kapsamında sunulan dosyanın inceleme, değerlendirme ve karar aşamalarında geçen süreleri kısaltan önemli değişiklik 2003 tarihinde yayımlanan yönetmelikle uygulamaya konmuştur. Bu yönetmelikte yapılan düzenleme ile ÇED Dosyaları (Ek-1 Liste) için 117 iş günü olan süre 38 işgününe (Şekil 6), Proje Tanıtım Dosyası/ÇED Ön Araştırma Raporu (Ek-2 Liste) 75 iş gününden 25 iş gününe inmiştir (Şekil 7).

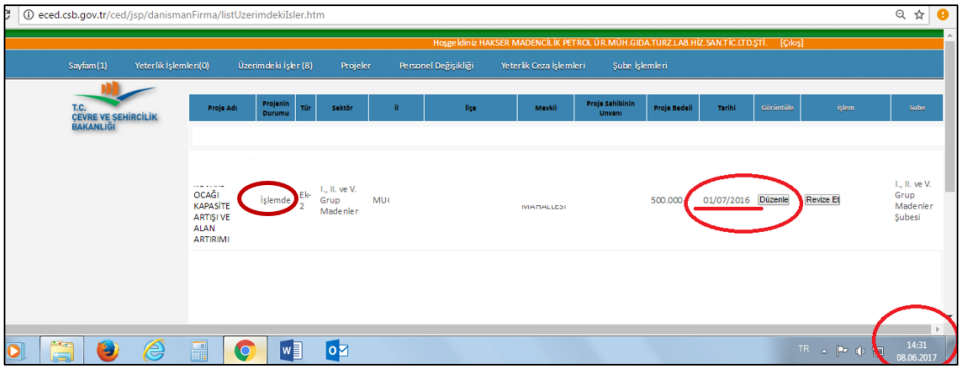
Şekil 6. 2003-2002Yönetmeliklerinin ÇED dosyası sürelerinin karşılaştırılması.



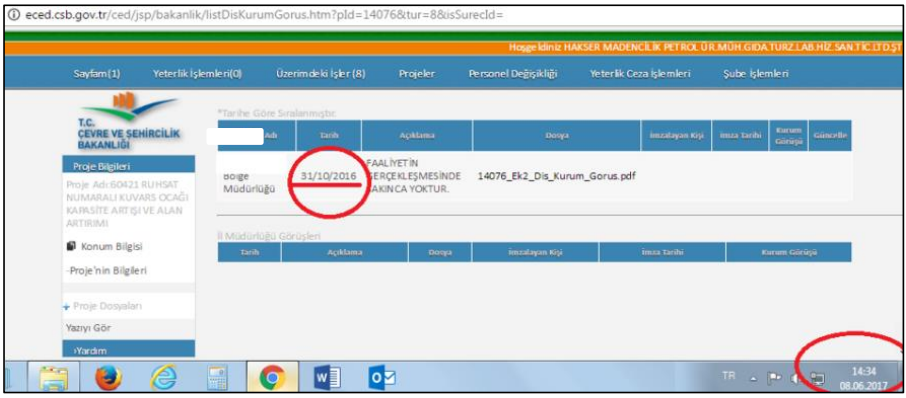
Şekil 7. 2003-2002 Yönetmeliklerinin proje tanıtım dosyalarının/ön ÇED araştırma raporu başvurularının sürelerinin karşılaştırılması

Yönetmelikte yapılan bu değişiklikle inceleme ve değerlendirme süreleri resmi olarak kısalmış olmasına rağmen, çoğunlukla bu süre uygulamalara yansımamaktadır. Yine bu kapsamda 03 Ekim 2013 tarih ve 28784 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği kapsamında, 01 Kasım 2013 tarihinde ÇED işlemlerine ilişkin başvurular "Çevrimiçi ÇED Süreci Yönetimi Sistemi (E-ÇED) üzerinden yapılmaya başlanmıştır. Çevrimiçi ÇED Süreci Yönetimi

Sistemine paydaş kurum ve kuruluşlar tanımlı olup proje ile ilgili olanlara dijital ortamda bildirim yapılmaktadır. Ancak, dosya inceleme sürelerinin yönetmelikte kısalmış olmasına, Çevrimiçi ÇED sürecinin aktif olmasına rağmen sistemde ve sürede yaşanan aksaklıklar; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri ve paydaş kurumların öne sürdükleri çeşitli sebeplerle süreleri yok saymalarından, mevzuata süre konusunda diğer kurumlar için süre konulmamasından, yönetmelik uygulamasındaki aksaklıkların bir araya gelip değerlendirilmemesinden ve dosya hazırlayan kuruluşların istenilen bilgi ve belgeleri zamanında temin etmemelerinden kaynaklıdır. Şekil 8 ve Şekil 9 örneğinde görülen işlem süreleri hep aşılmaktadır. Paydaş kurum ve kuruluşların görüşlerini sunmaları bazen aylarca sürebilmektedir. Yetkilendirilmiş birimler tarafından çevrimiçi bir tarama yapıldığında paydaş kurum görüşü beklediği için sonuçlanmayan ya da yönetmelikte ön görülen süreleri aşan dosya sayısının tahminlerin çok ötesinde olduğu görülecektir.



Şekil 8. Çevrimiçi ÇED sisteminde yaklaşık bir yıl süre geçmiş, tamamlanmamış bir dosya



Şekil 9. Çevrimiçi ÇED sisteminde kurum görüşü

Çevre Müdürlüğü'nce ÇED projesi proje alanı kapsamında bir kuruma görüş sorulduğunda o kurum kendi içinde de bazen konu ile ilgili 5 - 6 şubeye yazıyı havale etmektedir. Bu şubelerin bir kısmı yerinde inceleme yapması, yazının yazılıp birkaç yetkili tarafından imzalanması aşaması ÇED sürecinin uzamasının en büyük sebepleri arasında olmaktadır. İyi niyetli mevzuat iyileştirmelerine, elektronik ortamın inceleme, değerlendirme sürecine sağladığı avantaja rağmen henüz Çevresel Etki Değerlendirme Yönetmeliği proje değerlendirme iş ve işlemleri arzu edilen seviyede değildir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın paydaş kurumlarla düzenleyeceği çalıştaylarla, ortak toplantı imkânlarıyla aksaklıklara yol açan hususların tespitinin yapılması ve çözüm yollarının tespit edilmesi ve mevzuatların uygulanabilir hale getirilmesi gerekmektedir.

ÇED Yönetmeliği, Ek-1 ve Ek-2 Listeleri kapsamında dosya üzerinde ya da yerinde yapılan inceleme ve değerlendirme aşamasında paydaş kurumların, kurul, heyet incelemeleri gerekçesi ile süre çok uzamaktadır. Yönetmelikte paydaş kurumların görüşlerini sunmaları için bir zaman tanımlanması bulunmamaktadır. Bu nedenle dosyayı inceleyen heyet yatırımcıyla diğer kamu kurumu arasında kalmakta, yazılı mevzuat olmayınca ileride sıkıntı yaşama endişesi ile yetki kullanamamaktadır. Bununla ilgili mutlaka yönetmeliğe gerekli hükümler eklenmelidir. Tanımlanan süre içerisinde görüş sunulmadığında, görüşün olumlu olacağına dair hüküm yönetmeliğe konulması, zaman kayıplarının önüne geçecektir.

Paydaş kurumlardan kaynaklı diğer bir konu da proje tanıtım dosyası incelemeleri kapsamında kurumların, sunulan projenin içeriğine ve etkilerine gerektiği kadar bakmadan sadece harita üzerinden değerlendirerek kendi uygulama projeleri ile çakıştı diye olumsuz görüş bildirmeleridir. ÇED aşamasında projelerin fayda maliyet, öncelik ve kamu yararı gibi hususları paydaş kamu kurumların kendi mevzuatları ile birlikte değerlendirilmelidir. Olumsuz kurum görüşü esas alınarak çevre il müdürlükleri herhangi bir değerlendirme yapmadan projeyi iade etmektedirler. Bu durumlarda, ÇED Yönetmeliği prosedürüne, proje sahibinin belirli zaman ile tanımlı itiraz hakkı konulmalıdır. İtiraz değerlendirmeleri yine olumsuz olması durumunda ancak dosya iade edilmelidir. ÇED dosyaların iadesi Çevre Bakanlığı ve taşra birimlerini (il müdürlükleri) evrak dağıtan, takip eden durumda kalıp kırtasiye işlemi yapan bir yapıya sokmaktadır. Yaşanan birçok uygulamada olumsuz görüşe istinaden dosyası iade edilmiş alanda, aynı proje için kurum görüşü olumluya dönmesi ile süreç yeni bir ÇED

başvuru dosyası ile olumlu olarak sonuçlandığı görülmüştür. İşletmeciler için ÇED yönetmeliği kapsamında dosya hazırlamak masraflı bir işlem olup, iade edilen dosya ile birlikte yapılan masraflar işletmeciyi zarara uğratmaktadır. İade edilen dosyalarda Bakanlık adına yatırılan dosya bedelleri faaliyet sahibine geri ödenmelidir. Bu kapsamda mevzuat yeniden düzenlenmelidir.

Madenciliğin hammadde üretim alanlarında yaşadığı sorunlardan bir diğeri ise "ÇED olumlu" veya "Çevresel Etki Değerlendirmesi Gerekli Değildir" kararının iptal edilememesidir. Mevcut uygulamada ancak mahkeme kararı ile "ÇED olumlu" veya "Çevresel Etki Değerlendirmesi Gerekli Değildir" kararları iptal edilmektedir. Ruhsat alanında faaliyet sona erdiğinde, saha terkinde ruhsat ile birlikte ÇED kararları da düşmektedir. Aktif olarak kullanımda olan, hukuku devam eden ruhsat sahalarında, ÇED görüşü alınmış ancak hammadde üretimi sona ermişse, ruhsat alanlarındaki diğer çalışılan alanlardan bağımsız olarak proje sahibinin bildirimi ile ÇED kararlarının düşmesinin yolu açılmalı yeni projelerde değerini yitirmiş alanlar çevresel etki hesabından ve toplam alan miktarından düşülebilmelidir. Madencilik faaliyetlerinde hammadde üretim alanları zaman zaman onlarca hektarlık alanları kaplamaktadır. Ayrıca yönetmelik ek listeleri eşik değerlere göre değerlendirildiğinden bu alanlar önem kazanmaktadır. Aynı ruhsat sahası içerisinde üretimi tamamlanmış ÇED alanlarının ÇED kararının düşürülerek rehabilite projelerinin uygulanması ekosistemin yeniden tesis edilmesine de olumlu etkileri olacaktır.

2.2.1.4 ÇED yönetmeliği uygulamalarında sık olarak karşılaşılan diğer sorunlar

ÇED yönetmeliğinin (25.11.2014 tarih ve 29186 sayılı) geçici 2. Maddesinde; "Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliğinin ilk yayım tarihi olan 07.2.1993 tarihinden önce üretime ve/veya işletmeye başladığı belgelenen projeler Çevresel Etki Değerlendirmesi kapsamı dışındadır" denilmektedir. Yönetmeliğin bu hükmüne tabi ruhsat sahalarında, ruhsat alanının tamamına muafiyet uygulanmaktadır. Muafiyeti olan sahalar için, üretim miktarı kapasitesinde mevzuatta herhangi bir tanımlı miktar bulunmamaktadır. Ancak, Bakanlık uygulamalarında daha önceki yılların üretim kapasitesi esas alınarak, bir önceki yılın üretim miktarının aşılmaması koşulu istenmektedir. ÇED Yönetmeliğin kapsamı dışında olan işletme ruhsatlı alanın kapasiteleri hakkında yönetmelikte her hangi bir hüküm bulunmamaktadır. Bu türden maden sahaları için, madenin sınıfı, yakın

çevresinin çevresel hassasiyetini esas alan özelliklerini belirleyen bir formatın geliştirilerek genelge ve yönetmeliğe ilave edilecek hükümle üretim kapasitesi miktarı yeniden tayin edilmelidir.

Hammadde üretim alanlarını içeren madencilik projeleri ÇED Yönetmeliği hükümleri kapsamındadır. Bu alanlar eğer 25 hektarın üzerinde ise Yönetmeliğin Ek-1 listesi kapsamında, 25 hektarın altında ise Ek-2 listesi kapsamındadır. Ek-2 listesinde yer alan maden üretimi konulu proje tanıtım dosyalarında, bir hammadde üretim alanında istihdam edilen personel sayısı ne olursa olsun fosseptik yapımı, tıbbi atık sorgulaması, revir sorgulaması, kullanım suyunun temin edileceği yere ilişkin belge istenmesi, evsel katı atıklar için yine belediyeden atık kabul belgesi dosyasında olması istenilmektedir. Bu tür ayrıntı niteliğindeki istekler projenin hassasiyetini ve önemini kaybettirmekte, müdürlükte işlemleri uzatmakta ve yatırımcı için zaman kaybı oluşturmaktadır. Faaliyet aşamasında, çevre kalitesinin korunması kapsamında bu taleplerin bir kısmı makul sayılabilir. Ancak bunun personel sayısı bakımından herhangi bir kıstası bulunmamaktadır. 3 – 5 personelden oluşan bir proje alanında da, 80 – 100 personelden oluşan proje alanında da yönetmelik uygulamalarında farklılıklar bulunmamaktadır. Yine bu kapsamda üretilen madenin türüne göre de yönetmelikte bir tanımlama bulunmamaktadır yani metalik bir cevher ile metalik olmayan bir cevher çok farklı prosesleri ve atıkları olmasına rağmen mevzuatta aynı kategoridedir. Dosyada istenilen taahhütlerde aynıdır. Bazen bu taahhütler mantıksız ve anlamsız hal almaktadır. Üretilen hammaddenin oluşturacağı çevresel etkiler için alınacak tedbirler madenin çeşidine, istihdam edilen personelin sayısına göre oluşturulacak kıstaslara göre belirlenmelidir.

Ek-1 listesi kapsamındaki projelerin İDK (inceleme değerlendirme kurulu) kapsamında Bakanlıkta toplantısı yapılmaktadır. Bu toplantıya görüş talep edilen kurumların en az yarısının fiili katılımı istenmektedir. Taşradaki illerden veya Ankara'daki kurumlardan çeşitli nedenlerle ve fiziki şartlar gibi bahanelerle bu katılımı sağlamak oldukça güç olmaktadır. Bakanlığın uygulamasındaki bu organizasyonda katılımı sağlamak maalesef proje sahibi veya dosya hazırlayan yeterlik firmasına kalmaktadır. Çoğunluğun sağlanamaması nedeniyle toplantıların iptal edildiği ve gelen katılımcıların zamanlarının boşa gittiği süreçler yaşanmaktadır. Bu projeler E-ÇED sistemi üzerinden sürdürülürken birçok kurum yetkililerinin bir saatlik bir toplantı

nedeniyle bazen çok uzun mesafelerden getirilmesi gereksiz zaman kaybı değil midir? Ayrıca birçok kurum konu ile ilgili görüşünü yazılı olarak önceden bildirmektedir.

Madencilik faaliyetleri ile ilgili ÇED Yönetmeliğinde Ek-1 ve Ek-2 listelerinde cevher zenginleştirme tesislerinden bahsedilmektedir. Burada tanımlama çok net olmadığından uygulayıcıdan uygulayıcıya göre doğru veya yanlış birbiriyle örtüşmeyen değerlendirmeler yapılmaktadır. Çoğunlukla proje adı esas alınarak, proses göz ardı edilmektedir. Her kimyasal kullanılan tesis ek-1 listesinde kabul etmenin doğru olmayacağı buna örnektir.

2.3 Madencilik Faaliyetlerinde Çevre İzni

Çevre izni; gerçekleştirdiği faaliyetler sonucu hava emisyonu, çevresel gürültü, atıksu deşarjı ve derin deniz deşarjı konularından en az birini içeren işletmelerin aldığı izin olarak tanımlanmıştır. Hava emisyonu, çevresel gürültü, atıksu deşarjı gibi izinler 29.04.2009 tarihinde 27214 Çevre Kanununca Alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmelik ile çevre iznine dönüştürülmüştür. 10.09.2014 tarih ve 29115 sayılı Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği ile mevcut yönetmelikte yenilenme yapılmıştır. Çevresel Etki Değerlendirmesi uygulamalarının anlatıldığı kısımda ifade edildiği gibi, çevre izni uygulamaları da sistematik bir niteliğe kavuşturulmuştur. Bu kapsamda 21.11.2013 tarih 28828 sayılı Çevre Görevlisi, Çevre Yönetim Birimi ve Çevre Danışmanlık Firmaları Hakkında Yönetmelik ile çevre izni iş ve işlemlerinin yetki ve sorumlulukları düzenlenmiştir.

Maden işletmelerinde ve tesislerinde çevre izin süreçleri oldukça uzun bir yol ve yükümlülükler getirmektedir. Her izin süreci aynı zamanda bir denetimi ve işletmede yenilenmeyi getirmektedir. Bu sürecin işletmeci, çevre görevlisi ve il müdürlüklerince iyi yönetilmesi halinde, çevresel önlemler artacak, çevre kalitesinde gözle görülür iyileşmeler olacaktır. Çevre mevzuatlarının amacı olan çevrenin korunması politikası hedefine ulaşmış olacaktır. Diğer önemli husus da yapılan uygulamanın bir formalite olmadığı, madencilik faaliyetlerinin çevre ile beraber ve uyumla sürdürülebileceğini gösterebilmektir. Çevreyi ve maden sektörünü korumak, kurumlar ve işletmecilerin hedef anlayışının aynı noktada buluşmasını sağlamakla olabilecektir.

İşletmelere çevre görevlisi olmak için; çevre mühendisliği bölümünden mezun olanlar veya çevre mühendisliği konularında yüksek lisans veya üzeri eğitim almış

olanlar, üniversitelerin mühendislik bölümlerinden veya fen/fen-edebiyat fakültelerinin fizik, kimya, biyoloji, biyokimya, jeoloji bölümlerinden veya veteriner fakültelerinden mezun olma koşulu getirilmiştir. Çevre görevlisi olmak için sayılan bütün meslek gruplarının eğitim alması zorunludur. Yine çevre görevlisi olmak için çevre mühendisliği bölümünden mezun olanlar dışında yapılacak sınavda başarılı olmak zorunluluğu bulunmaktadır.

Faaliyetleri sonucu çevre kirliliğine neden olan yüzlerce proses bulunmaktadır. Hiçbir bir meslek gurubunun birbirinden farklı yüzlerce prosese hâkim olması söz konusu değildir. Bu çerçevede çevre görevlisi eğitimleri sektörel bazda olmalıdır. Çevre danışmanlık eğitimini ve sınavını başarı ile tamamlayanlar, eğitim aldığı sektöre/sektörlere çevre görevlisi olmalıdır. İşletmeciler de tesisleri için çevre görevlisi seçiminde sektörel tecrübeyi ön plana çıkarmalıdırlar.

Yönetmelik ve uygulamalarda altı çizilmesi, yeniden değerlendirilmesi gereken birçok husus bulunmaktadır. Örneğin Tehlikeli Atık konusunda sigortalamanın maliyeti 400 – 500 Tl. civarında bedeli de makul bir değer iken, çeşitli sebeplerden ötürü sigorta yaptırmamanın cezası 50.975 Tl. dir. Sigorta bedeli ile ceza bedeli oranı mantıklı yorumlanabilmeden uzaktır. Bu ceza çoğunlukla 100 kg - bir varil atık yağ için veya İl uygunluk belgesi aşamasında ibraz edilememesinden dahi uygulanabilmektedir.

Çevre görevlisinin işletme bazında yaptığı iş ve işlemler çevrimiçi olarak web sayfasına da bilgi ve belge olarak işlenmektedir. İşlemlerin birçoğu belirli bir zaman içerisinde yapılması gerekmektedir. Çevrimiçi işlemlerde sıklıkla karşılaşılan sorunlardan biri sistemin hata uyarılarını sıkça vermesi, diğeri de sayfanın donmasıdır. Çevrimiçi sistem uygulamalarında yaşanan sorunların aşılmasında acilen tedbirlerin alınması gerekmektedir. Çevre uygulamaları sırasında elektronik sisteme bir çok belge yüklenmesi gerekmektedir. Bazı belgelerin isimleri belli olup içeriği karışık veya temininde problem olmakta ve bunların bir standardı olmamaktadır. Tesisler için kapasite raporu temin etmek mümkün iken maden ocakları için bu raporun mümkün olmadığı yetkili kurum ve mevzuatlarında ifade edilmektedir. Buna benzer uygulamalarda çare üretmek danışman firmalara kalmakta, farklı farklı belgeler oluşmakta bu da belgede standardını mümkün kılmamaktadır.

Çevre mevzuatı uygulamalarında olmazsa olmaz niteliğinde bulunan, konu başlığı olarak çok önemli olduğu anlaşılan planlama çalışmalarının hak ettiği değeri

bulamamasıdır. Acil Eylem Planı ve Atık Yönetim Planı örneğinde olduğu gibi tatbikat içermeyen, uygulanabilirliği analize tabi tutulmayan, dosya içeriğinde senaryo olarak yer alan çalışmalardır. Bu türden çevre mevzuatı uygulamalarının bir parçası olan planlama çalışmalarının prosedür tamamlayıcı olmaktan arındırılarak işlerlik kazanması gerekmektedir. Bazı konularda da mevzuat ve uygulayıcılar tarafından gereğinden fazla detaylara girilmektedir. Bir atık deposu yapılması ihtiyacında temel kavram sızdırmasız olması iken, eğimli olacak, toplama çukuru olacak, defter tutulacak, sorumlu kişinin kimlik bilgileri, telefonu vb. detaylar gerçek amacını unutturmaktadır.

Birçok sektörde ve farklı kamu kurumlarında danışmanlık, yeterlik firmaları uygulamaları mevcuttur. Bu konularda yaşanan en büyük sıkıntıların başında kötü rekabet, işleyişlerde standart olmaması ve sonucunda iş kalitesinin düşmesidir. Çevre yeterlik uygulamasında; Çevre Laboratuvarlarının uygulamalarında belli bir standart ve ücret tanımlaması oluşturulmuşken, ÇED ve çevre danışmanlık firmalarında bu uygulama yapılamamıştır. Kalite ve standardın yükselmesi için Bakanlıkça gerekli düzenlemelerin yapılması gerekir.

Mevzuatlar konusunda en fazla değişikliğe uğrayan sektör çevre sektörüdür. Çevre Kanununa atfen çıkarılan çok fazla mevzuat bulunması, uygulanabilirliğinin uygun olmaması yönetmelikleri sık sık erteletmekte, madde bazlı değişiklikler yapılmakta, yönetmeliğin yeniden değiştirilmesine kadar gitmektedir. Ayrıca yönetmelik uygulamaları da çok sık değişmesi nedeniyle işletmeciler ve bazen de uygulayıcılar içinde zorluklar oluşturmaktadır. Şirket yetkilileri çevrenin korunması, mevzuatlar konusunda zorluk yaşamamak ve günceli yakalamak adına, işyerinin büyüklüğü ve aktivitesine göre ayrı bir çevre birimi oluşturmalıdır. Hem mevzuat uygulayıcıları hem de yatırımcılar, madenlerin sadece bir kez oluştuğu, insanlığın her zaman hammaddeye ihtiyacı olduğu, yaşadığımız alanların ve geleceğimizin korunması gerektiği bilgisiyle ve bu ilkeleri dikkate alarak çalışmalıdır. İnsanlığın çevreye ve hammaddeye ihtiyacı olduğu unutulmamalıdır.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Madencilik sektörü tarihin ilk evrelerinden beri insanoğlu yaşamının bir parçası halindedir. Günümüzün bilgi birikimi, bilimsel ve teknolojik düzeyi madencilik sektörünün üretimine giderek daha da fazla ihtiyaç duymaktadır. Sektörün her bir

faaliyet alanı, oluşturduğu çevresel etki dolayısı ile çevre mevzuatı ile ilişkilendirilmiştir. Yine sektör olarak maden üretiminin ulusal ve uluslararası rekabetçi bir yapısı bulunmaktadır. Bu rekabetçi ortam koşullarında yapılacak planlama ile verimliliği ve çevre değerlerini esas alan üretim modelleri uygulamaya konulmalıdır. Maden işletmecilerinin, çevrenin hassas koşulları, maliyetler, verimlilik, rezerv durumu ve kalitesi gibi hususlar kapsamında swot analizi yapmaları, karşılaştıkları sorunların çözülmesinde katkı sağlayacaktır. İşletmecilerin sektörel olarak gösterdikleri çabalara kamu da destek olmalıdır.

26 Nisan 2006 da 5491 sayılı Çevre Kanununda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun ile çevreye karşı işlenen suçlar için düzenlemeler yapılmıştır. Bu düzenlemeler Çevre Kanununda veya bu kanuna istinaden çıkarılmış yönetmeliklerde belirtilmiş yükümlülüklerini yerine getirmeyenler için uygulanmaktadır. İdari yaptırıma konu çevre cezaları çok ağır olup, sorunu çözmekten son derece uzaktır. İdari yaptırım kararlarında öncelikli seçenek ceza olmamalıdır. Çevre denetimlerinde tespit edilen aksaklıklarda süre tanınmalı, süre sonunda aksaklıklar giderilmediği takdirde son seçenek olarak cezai işlem uygulanması gündeme gelmelidir. Çevre denetimlerinde tespit edilen aksaklıkların oluşturacağı çevresel etki esas alınarak kanunda belirlenmiş cezanın belirli bir oranı idari yaptırım olarak uygulanmalı, aksaklığın giderilmemesi halinde cezanın tamamının uygulanması bir seçenek olarak değerlendirilmelidir. Çevre cezalarının ağır olması işletmecilerin, kamu personelinin hatta siyasilerin üzerinde bir baskı olmaktan çıkarılmalıdır.

Kamunun 1/25000 ölçekli Çevre Düzeni Planlarını tamamlayarak yürürlüğe sokması, arazi kullanım karar sürecine avantaj oluşturacaktır. Planlama, ÇED işlemlerinin de bir parçasıdır, ÇED inceleme ve değerlendirme aşamasında olan madencilik dosyaları için 1/25000 ölçekli Çevre Düzeni Planlarının varlığı, ÇED kararının daha sağlıklı alınmasına ve gereksiz zaman kayıplarının önüne geçecektir. Aynı ruhsat sahası içerisinde ÇED görüşü mevcut bir alanın maden üretimi tamamlanmış ise bu alana ilişkin iyileştirme projesinin sunulması kaydı ile ÇED belgesinin düşmesine ilişkin düzenlemeler yapılmalıdır.

ÇED Yönetmeliğinde, özellikle Ek-1 listesi kapsamındaki projelerde, ÇED inceleme ve değerlendirme aşamalarının hızlandırılabilmesi için yapılan bir dizi iyileştirmelere rağmen, arzu edilen sonuçlar halen sağlanabilmiş değildir. ÇED

Yönetmeliğinde inceleme ve değerlendirme süre düzenlemelerine paydaş kurum/kuruluşların görüşleri için de bir süre tanımlaması yapılmalıdır. Proje dosyalarında inceleme ve süre gerektiren hususlar taahhütlerle tamamlanmalı, gerekirse inceleme süreci kendi içinde ayrı devam etmelidir. Keyfi ve yatırımı gereksiz uzatan süreçlerin önüne geçilmelidir.

ÇED projelerinin incelenme sürecinde, paydaş kurum görüşü olumuz ise bakanlık veya çevre il müdürlükleri dosyayı iade etmeden, proje sahibine itiraz hakkı ve zamanı yönetmeliğe hüküm olarak konulmalıdır. Gerekçesi her ne olursa olsun dosya iade işlemlerinde, bakanlık hesabına yatırılan ücret yatırımcının hesabına aktarılmalıdır.

Sorunların büyük kısmını da uygulamada standart oluşturulamamasından, kişisel yorum yapılmasından, bakanlığın bu konularda gerekli yönlendirici ve birlikteliği oluşturacak karar ve uygulama yapamamasından kaynaklanmaktadır. Aynı konuda il müdürlüğünden il müdürlüğüne, hatta aynı ilde personelden personele farklı değerlendirmeler yapılarak farklı uygulama yazıları oluşturulmaktadır. Bakanlık uygulama birlikteliğini mutlaka sağlamalıdır.

Faaliyetleri sonucu çevre kirliliğine neden olan işletmeler için yönetmelik gereği zorunluluk olan çevre görevlilerinin eğitimleri sektörel ve proses odaklı olmalıdır. Çevre görevlisi, birden fazla sektör için çevre görevlisi olmak istiyorsa sektörel eğitimlerini tamamlama koşulu getirilmelidir. İşletmecilerde seçimlerinde bu eğitim ve tecrübeleri dikkate almalıdır.

Madencilik sektörünün çevreye karşı oluşturduğu en büyük problemlerden biride ocak faaliyetleri sırasında ve sonrasında oluşan pasa, atık ve artıklardır. Bu sorun özellikle bazı sektörlerde (mermer ocakçılığı ve tesisleri) çalışmanın tıkanmasına ve çözümsüzlüğüne kadar gitmiştir. Konunun çözümlenmesi ise işletmeciler ile beraber sektörün diğer bileşenlerinin; kamu kurumları, akademik çevreler, meslek kuruluşları vb. guruplarla beraber mümkün olabilecektir. Maden işletmecileri faaliyetlerinde çevreye uyumlu, çevre ile beraber madencilik yapılması gerektiğini ilke olarak kabul etmeli, mevzuatın getirdiği hassasiyetleri dikkate alarak çalışmalarını gerçekleştirmelidirler. Madencilik işletmelerinde cevherin yeri, üretim teknikleri ile maden zenginleştirme ve işleme tesislerinde kullanılacak ekipmanın seçimi, uygulama metotları, personel eğitimi de dâhil olmak üzere sürdürülebilir çevre anlayışı ile tasarlanmalı, maden sektörü üniversite işbirliği mutlaka aktif hale getirilmelidir.

Bakanlık daha sürdürülebilir bir çevre için mevcut uygulamalarını kurum ve üniversitelerden elde ettiği görüşlerden oluşturmaktan ziyade bakanlığın alt yapısında oluşturacağı birimler ile havza ve mikro havzaların çevre koşullarını ortaya koyan çalışmalar yapmalı, izleme çalışmaları ile de veri tabanı güncel tutulmalıdır. Dinamik bir çevre veri tabanına sahip olunduğunda başta madencilik sektörü olmak üzere birçok sektörün yatırım karar sürecinde yaşanan olumsuzluklar minimize olacaktır.

KAYNAKLAR

Alıca, S. S., 2001. Çevresel Etki Değerlendirmesinin Yargi Kararlari Çerçevesinde İrdelenmesi: Gazi Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi C. XV, Y. 2011, Sa. 3: 97-130.

Budak, S., Yurtcanlı, S., Gül İ., 2014. 20.Yılında Türkiye'de Çevresel Etki Değerlendirmesi Süreci: Değişimler, Dönüşümler, Kırılganlıklar, İsyanlar: Kamu Yönetiminde Değişim, Kayfor XII Bildiriler Kitabı, 147-166.

Büyükgüngör, H., 2006 Çevre Kirliliği ve Çevre Yönetimi: Toprak İşveren Dergisi 72: 9-17.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017. http://www.csb.gov.tr/db/ced/icerikbelge/icerikbelge2910.pdf (02.02.2017 güncellemesi).

Dervişoğlu, S., 2010. AB Müktesebatına Uyum Sürecinde Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED): Türk İdare Dergisi, Sayı 467: 115-134.

http://www.migem.gov.tr/istatistikler/istatistik-yeni/GSYHDAGILIM.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=1106c96f-5938-431e-afc2-de2fee11a7e4

Serter, G., 2005. Çevresel Değerlendirme Sürecinin Türkiye'deki Tarihsel Gelişimi ve Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) – Stratejik Çevresel Değerlendirme (SÇD) İlişkisi: Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Kamu Yönetimi ve Siyaset Bilimi (Kent ve Çevre Bilimleri) Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Şenol, M., 2014. Avrupa Birliğinde Çevrenin Korunması, Geliştirilmesi Türkiye Ölçeğinde Yaşanan Gelişmeler ve Aydın'ın Çevresel Durumu: AB Sürecinde Aydın Dergisi, Aydın Valiliği (02), 36-39.

Şeren, G.Y., Dedebek, E., 2013. AB Uyum Sürecinde Türkiye'de Çevre Politikaları: Paper prepared for the EY International Congress on Economics I "Europe and Global Economic Rebalancing" October 24-25, 2013, Ankara/Turkey 265-287.

TUİK, 2016. Dönemsel Gayri Safi Yurtiçi Hasıla, IV. Çeyrek, http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24566, (Erişim Tarihi: 25.04.2017), 2017.

THE EFFECTS OF MINING ON THE ENVIRONMENT: A CASE STUDY OF KANKOYO TOWNSHIP OF MUFULIRA DISTRICT OF THE REPUBLIC OF ZAMBIA

MADENCİLİĞİN ÇEVREYE ETKİLERİ: ZAMBİYA CUMHURİYETİ MUFULIRA BÖLGESİ KANKOYO KASABASI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Stephen CHANDA[1*], Wilson MOONO[2]

1: Eskişehir Osmangazi University, Department of Mining Eng., Eskişehir, TURKEY

2: Mining Engineering Consultant

*: Corresponding Author: chanda.stephen.ii@gmail.com

ABSTRACT: This research describes the negative effects of mining on the environment with particular emphasis on Sulphur Dioxide (SO_2). The research is a case study of Kankoyo Township of Mufulira District in the Copperbelt Province of the Republic of Zambia. The Township has experienced high levels of air pollution of SO_2 from smelting processes dating back to the early 20^{th} Century. The research was conducted through a case study methodology, which employed the use of interviews, documents reviews and field investigations as means of collecting data. By using scientific and engineering analytical methods, the extent of pollution was modelled. The analysis found that the concentration of Sulphur Dioxide in ambient air was 164,995 mg/Nm^3, and that of Dust was at 1,505.6 mg/Nm^3, 165 and 30.11 times, respectively, all which were higher than the limit. Heavy metals; Copper and Cobalt concentration was at 187.8 mg/Nm^3 and 1.12 mg/Nm^3 respectively, which represents 120 and 2.20 times higher than the average limit of emission. Lead concentration was found to be at 43.9 mg/Nm^3, 219.5 times higher than the limit. In additional, fall out soil contamination sampling had Cobalt and Copper concentration above the statutory limits. The soil pH was above 5.5 the limit needed to support plant life. However, it was found that the concentration of metals and suspended solids in the nearby stream was within the limit. The local mining company has put measures to try and address the situation. To this effect, the company has upgraded the Mufulira smelter by the installation of a single

contact sulphuric acid plant to treat SO_2 tenor process offgas produced in the Isasmelt furnace for the production of 98.5% sulphuric acid as some measure of mitigating the air pollution. Further mitigation measures include manual monitoring in the event of accidental leakages.

Keywords: Environmental pollution, Ambient air, Soil concentration, Heavy metals, Negative effects

ÖZET: *Bu araştırma, sülfürdioksit (SO_2) etkisine ağırlık vererek madenciliğin çevre üzerindeki olumsuz etkilerini tanımlamaktadır. Çalışma, Zambiya Cumhuriyeti, Copperbelt Eyaletinde, Mufulira Bölgesindeki Kankoyo Kasabası üzerinedir. Bu kasaba, 20. Yüzyılın başlarından bu yana yürütülen madencilik faaliyetleri ve ergitme süreçlerinden dolayı yüksek düzeyde kirlilik yaşamıştır. Bir örnek olay üzerinden yürütülen araştırmada veri toplama aracı olarak çalışanlarla yapılan görüşmeler, belge incelemeleri ve sahadaki araştırmalar kullanılmıştır. Bilimsel ve mühendislik analitik yöntemleri yardımı ile kirlilik derecesi modellenmiştir. Ortam havasında süfürdioksit konsantrasyonunun 164,995 mg/Nm^3, toz konsantrasyonunun ise 1505,6 mg/Nm^3 ve bu değerlerin sırasıyla sınır değerlerin 165 ve 30,11 katı olduğu tespit edilmiştir. Bakır ve kobalt konsantrasyonu, ortalama emisyon sınırından 120 ve 2.20 kat daha yüksek ve sırasıyla 187,8 mg/Nm^3 ve 1.12 mg/Nm^3 'tür. Kurşun konsantrasyonunun sınır değerden 219,5 kat fazla ve 43.9 mg/Nm^3 'tür. Topraktaki kobalt konsantrasyonunun ortalama 20 ppm olduğu, cüruf dökümünde ise 100 ppm'e kadar yükseldiği tespit edilmiştir. Ek olarak, dökülen toprak kirliliği örneklemesinde Kobalt ve Bakır konsantrasyonu yasal sınırlarının üzerindeydi. Toprak pH'sı, bitki ömrünü desteklemek için gereken sınırın 5.5'in üstündeydi. Ayrıca metallerin ve askıda katıların yakın dere içindeki konsantrasyonunun sınırın içinde olduğu bulundu. Madencilik şirketi duruma seslenmeye yönelik önlemler aldı. Bu amaca yönelik olarak, Isasmelt fırınında üretilen SO_2 tenor proses atık gazlarını, hava kirliliğini hafifletmek için% 98.5 sülfürik asit üretimi için muamele etmek için Mufulira ergime fabrikasını tek bir temas kuran sülfürik asit tesisi ile yeniledi. Bu kurulum, elle yapılan izleme ve kontrolleri, elektronik olanlara ek olarak içermelidir. Daha fazla hafifletme tedbirleri, kazara sızıntı olması durumunda manuel izleme içerir.*

Anahtar Kelimeler: *Çevre kirlenmesi, Çevre havası, Toprak konsantrasyonu, Ağır metaller, Olumsuz etkiler*

1. INTRODUCTION

The economy of Zambia depends heavily on mining of Copper. Generally speaking, mining provides revenues to the government through taxes and contributes to the development of the country through job creation and infrastructure development. Mining contribute 87% of total foreign direct investment (FDI) and about 12% of total Gross Domestic Product (GDP) of Zambia. With respect to employment, the Mining industry employees 1.7% labour force, which is about 8.7% of total formal employment in Zambia. Operation of mines in Zambia also contributes to other social-economic activities, such as constructions of roads and schools, and operation of healthy facilities, among other means of cooperate social responsibilities (ICMM 2014). Despite of the above economic contributions, the mining industry has also brought the problem of environmental degradation. The mining of Copper has been going on for more than 85 years. The Copper mined is processed either through leaching or smelting. The smelting process produces Sulphur dioxide gas (SO_2) and heavy metals in the stuck plume. The SO_2 gas is acidic and in Mufulira this has been the main source of air pollution. (Zambia Environmental Outlook Report 3 (2008); ECZ (2005)). Mining activities also has an effect on the soil quality around its site. During the mineral beneficiation process, metal particles fall outs are experienced. These metals are transported by wind and deposıted on the natural soil, compromising the content of relevant minerals, thus affectıng the growth of plants in the area. The reactıon of SO_2 wıth rain water, results ın the formatıon of a weak acid (acid rain), which affects the soil pH, thus vegetation growth. Acid rain also affects the iron roofing sheet of dwelling buildings and the lives of animals. Leaks of hazardous materials spills and mine effluents have a bearing on the quality of the soil and stream water in which they are discharged.

This paper presents a case study of Kankoyo Township. Kankoyo Township is in Mufulira district of the Copperbelt Province (Figure 1), some 75km from the commercial City of Kitwe. This study is very important because Kankoyo Townshıp is a typical example of mining pollution in Zambia which goes largely unnoticed by both local and international communities. Currently Mufulira Mine is run by Mopani Copper Mines limited, a subsidiary of international giant, GLENCO Plc.

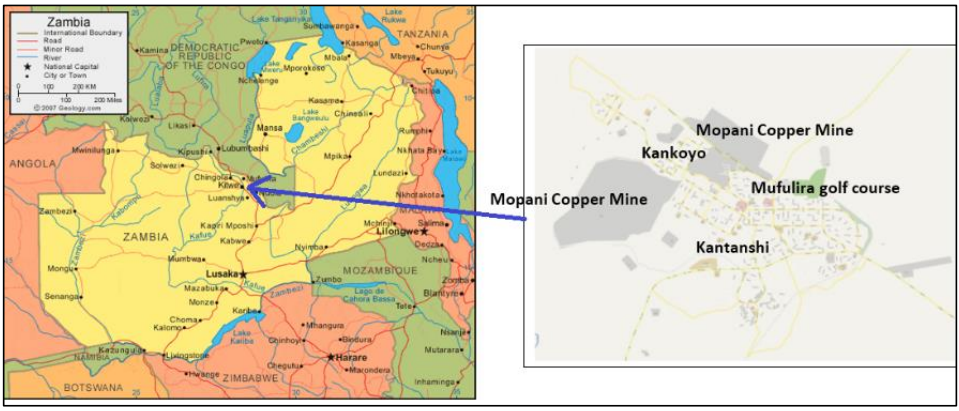


Figure. 1: Location of Mufulira. Source: Google

1.1 Problem statement

Mining operations is associated with pollution and the operation of predecessors of Zambia consolidated Copper Mines (ZCCM) and Mopani Copper Mines in Mufulira has affected Kankoyo and other surrounding areas. This case study looks at the pollution effects of mining of Kankoyo Township which lies within the smelter stuck emission plume range with particular emphasis on SO_2. The pollution has affected subsistence economic activities and general health of residents in the area hence the need to carry out the research to determine effects associated with mining activities.

1.2 Research objectives

The principle objectives of this research were:

1. To conduct an audit of the negative effects of mining operations in Kankoyo Township
2. To quantify the degree of pollution on the environment
3. To design a model of the extent of these pollution
4. To calculate/estimate the cost of repairing the environmental and social degradation due to mining
5. To recommend ways of mitigating these negative environmental effects.

2. MATERIALS AND METHODS

The research methodologies employed were:

a. Site visitations and physical observation

b. Literature review to know what is known about the study: Interviews with government officials, mine officials and locals and reviewing previous studies and expert reports;
c. Physical data collection; soil samples, water samples and ambient air data reports by the mine officials;
d. Data processing: Analyze Concentration of minerals in soil and water using the Atomic Absorption Mass Spectrometer (AAS), Water pH testing and SO_2 air content analysis;
e. Modeling the extent of pollution.

The results that were obtained were subjected to engineering and scientific analysis and the guidelines in appendixes 1-3 were used.

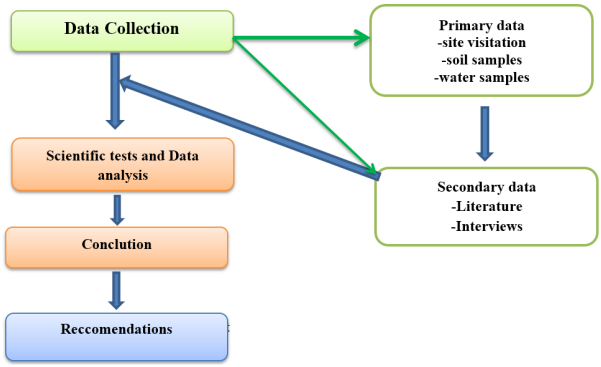


Figure 2: Methodology flow chat

3. RESULTS AND DISCUSSION

Due to restrictions by the mining company to conduct direct stuck emissions from the smelter, the research had to use indirect method of getting air pollution results from the smelter. This involved review of the data earlier collected by ZEMA and other institution. That for soil pollution came from direct sampling in the affected compound. The data reviewed covered a period of 4 years (2011-2014) and soil and water samples collection was between January and August 2014. The data is given in Appendix 4-7.

3.1 Ambient Air

Table 1 below shows the concentration of pollutants in ambient air for a period of 4 years which was under review. The figures are an average of monthly readings.

Table 1: Concentration of pollutants in ambient air. (Nkonde 2012).

Pollutant	Averages concentration (Ng/m^3)	Limit (Ng/m^3)	Times higher than limit
SO_2	164,995	1000	165.00
Dust	1505.636	50	30.11
Cu	187.7873	1.0	187.79
Co	1.115909	0.5	2.23
Pb	43.89812	0.2	219.49

As shown in Table 1 above, the concentration of all the pollutants in ambient air was higher than the emission limit as prescribed by ZEMA and WHO. The Mufulira Smelter underwent some upgrading and this has reduced the levels of emission. This plan was to upgrade the smelter to a treatment capacity of 850,000 tpa of concentrates by the replacement of the existing electric smelting furnace with a high-intensity Isasmelt smelting furnaces. This upgrade involved among others, the Installation of a single contact sulphuric acid plant to treat about 80,000 Nm^3/hr of 9-16% SO_2 tenor process offgas produced in the Isasmelt furnace for the production of 98.5% sulphuric acid. However, the pollutants continue to be periodically realeased in the atmosphere, mostly during periods of electrionic control and monitoring system failure during unplanned power outages.

3.2 Soil Quality

The research area was divided into sampling grids. The grids concentrated in areas that showed predominantly less or no plant life and that showed some form of plant life. The area nearer to the slag dump was avoided during sampling point selection so as to avoid biasness in the results, as it would have been hard to ascertain as to which the pollutant would be- smelter fallouts or slug dump blows. Using the theory of plum effect, soil samples were collected from 13 different (Figure 3) locations. The samples were taken using an auger to a depth of 25cm at each sampling point. The samples were tested for presence of heavy metals and soil acidity and the results are presented in Table 2.

It can be noticed that the limit for copper in the soil in order to support plant life of 200ppm (Rahm, G and Schmitt, M 2002) had been exceeded in all the location where samples were taken, except for one location in the far end of the Township. It must be noticed that at this location (location 13) there is even plant life and it can be concluded that, based on plum effect, the pollutants do not reach that far.

Figure 3. Sampling points in Kankoyo Township

Table 2: Heavy metals concentration in soil and Soil Acidity

Sample collection point number	Pollutant concentration		
	Copper	Cobalt	pH
1	551.6	25.32	5.8
2	2135.1	45.56	4.2
3	2329.4	52.76	4.5
4	2640.6	49.36	4.9
5	789.3	26.66	5.6
6	1479.7	35.51	6.2
7	197.68	30.18	5.1
8	727.6	19.02	5.2
9	2215.24	20.36	5.8
10	939.92	1.032	5.9
11	4261	4.19	6.6
12	1397.64	15.05	6.9
13	150	7.06	7.6

Point 2, 3 and 4 shows cobalt contamination in the soil above the limit of 40ppm. These areas are closer to the smelters, hence it can be concluded that Cobalt fallout happens in the first minutes of being blown and as the result areas further from the smelter are not highly affected by this pollution.

Only three locations showed the soil pH within the limit, locations 11, 12 and 13 (WHO 2015). The other area, which represents the larger part of the Township, reported the soil pH below the limit (pH 5.5). This means that the soil is too acidic and hence cannot support plant life. This can also be confirmed by visual observations as only cactus plants and avocado trees survive in Kankoyo (Refer to figure 6).

3.3 Water Quality

Water from a near-by Mufulira stream located on the western side of the research area was used as a test check. The reason being that the stream is also used as a repository for mining underground and concentrator effluence. The stream water was sampled and tested for presence of contaminants during the research period and the results are given in Table 3 below. The results show that the water was well within statutory limit. This result was used to conclude that the soil contamination in the research area was directly related to the fallout pollution from the smelter whose direction plume path passes over the Kankoyo compound. It was noted that all the parameters of water quality where within limit during the period of research (WHO 2011).

Table 3. Water quality parameters

	pH	TDS (mg/L)	TSS (mg/L)	TCu (mg/L)	TCo (mg/L)
Jan	8.1	762.4	44.0	0.8	0.1
Feb	7.8	745.3	35.3	0.2	0.2
Mar	7.7	728.2	30.6	0.2	0.1
Apr	7.8	835.0	11.6	0.2	0.1
May	8.0	1249.3	13.5	0.4	0.1
June	7.9	463.3	12.8	0.3	0.3
July	7.8	114.9	24.8	0.3	0.1
August	8.5	74.7	10.75	0.4	0.1
Limit	6.0-9.0	<3000	<1000	<1.5	<1.0

4. CONCLUSION

The ultimate aim of this study was to review the extent of pollution in Kankoyo and model and quantify the extent of pollution. The following conclusions have been made:

1. There have been high levels of pollution in Kankoyo Township over past 8 decades. The main pollutant being SO_2.
2. Heavy metals have also been part of particles carried by the smelter stuck emission plume and these are part of the major pollutants that have affected Kankoyo compound.
3. Recently Mopani Copper Mines installed new converters and an acid plant. This has worked well. However periodical pollution do occur but not of significant quantities.
4. Air pollution due to SO_2 and the presence of heavy metals in the stuck emissions has been the predominant form soil pollution.

5. The air pollution has also affected dwelling houses causing Iron roofing sheet to rapidly decay (accelerated) and wall plaster degeneration (Figure 4)
6. The soil acidity due to SO_2 has affected plants growth leading to a desert condition in Kakonyo Township. Figure 5 below shows the devastating effect of SO_2 pollution in Kankoyo Township.
7. The Water quality in the mufilira stream parameters where all within the limit. This can be attributed to the fact that river water is contiously flowing with fresh from uncontaminated upstream.

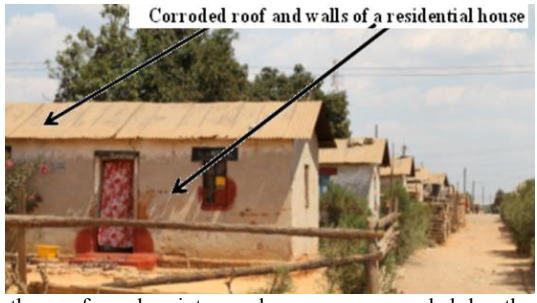


Figure 4. In Kankoyo, the roofs and paints on houses are corroded by the acidy rain. Source: Counterbalance report

Figure 5. Bare land- plants struggle to grow

REFERENCES

Environmental council of Zambia (2005). State of the Zambian Environment

International council on Mining and Metals (ICMM, 2014). Enhancing mining's contribution to the Zambian economy and society

Nkonde, A.K (2002). Description of Ambient Air Quality In Mufulira-A Case Study of Kankoyo Township, Undergraduate Thesis, The Copperbelt University, Environmental Engineering Department, Kitwe, Zambia

Rahm, G and Schmitt, M (2002). Copper for plant production, University of Minnesota Extension, Minneapolis.

World Health Organization, (2011). Guidelines for Drinking-water Quality, 4th Edition, pages 51-72. ISBN 978-92-4-154851-1

World Health Organization (2005). Health Effects Of Transport-Related Air Pollution, edited by Michal Krzyzanowsik, Birgit Kuna-Dibbert and Jürgen Schneider. IBN 92-890-1373-7

Zambia Environmental Outlook Report 3 (2008), pages 40-56

APPENDIXIES

Appendix 1. Emission limit for ambient air pollutants. Source: Statutory Instrument No. 112 of 2013 (Zambia)

	Pollutant	Guideline limit
1.	Sulphur dioxide (SO_2)	1000 mg/Nm^3
2.	Dust	50 mg/Nm^3
3.	Copper	1.0 mg/Nm^3
4.	Cobalt	0.5 mg/Nm^3
5.	Lead	0.2 mg/Nm^3

Appendix 2. Concentration limit for soil pollutant

	Pollutant	Guideline limit
1.	Copper	200 ppm
2.	Cobalt	40 ppm
3.	Acidity (pH)	6.5-7.5

Appendix 3 . Concentration limit for Water pollutant

	Pollutant	Guideline limit
1.	Acidity (pH)	6.0-9.0
2.	Total Dissolved Solids (TDS)	<3000 (mg/L)
3.	Total Suspended Solids (TSS)	<1000 (mg/L)
4.	Total Copper (TCu)	<1.5 (mg/L)
5.	Total Cobalt	<1.0 (mg/L)

Appendix 4. 2011 Ambient air pollutants concentrate results

			Pollutant concentration (mg/Nm^3)		
Month	SO_2	Dust	Cu	Co	Pb
Jan	70,501	727	145.0	0.28	75.90
Feb	28,581	2140	49.0	0.40	20.97
Mar	28,581	646	42.8	0.13	1.38
Apr	15,243	496	42.9	0.10	28.14
May	0	0	0.0	0.00	0.00
Jun	69,739	736	66.2	0.36	15.18
Jul	55,257	538	77.8	0.11	33.90
Aug	62,187	1658	41.5	0.16	28.90
Sep	28,381	408	120.8	0.14	0.90
Oct	45,730	634	58.3	0.08	0.98
Nov	34,297	520	70.0	0.25	6.70
Dec	8,214	611	60.2	0.32	6.20
Sum	**448,722**	**9,114**	**774.5**	**2.33**	**219.15**
Average	**40,793**	**829**	**70.4**	**0.21**	**19.92**

Appendix 5. 2012 Ambient air pollutants concentrate results

	Pollutant concentration (mg/Nm^3)			
Month	SO_2	Dust	Cu	Pb
Jan	66,690	707	120.0	4.60
Feb	72,407	1937	485.0	19.50
Mar	110,515	1254	123.0	8.95
Apr	57,163	781	21.0	4.99
May	38,585	724	158.0	44.10
Jun	1,300,046	2820	265.0	42.99
Jul	85,744	1354	301.0	8.50
Aug	45,589	944	45.0	21.20
Sep	78,123	1034	6.0	29.70
Oct	114,326	1194	17.0	33.50
Nov	21,436	803	50.0	42.90
Dec	95,748	5048	427.0	114.50
Sum	**2,086,372**	**20,612**	**2,018.0**	**375.43**
Average	**189,670**	**1,874**	**183.5**	**34.13**

Appendix 6. 2013 Ambient air pollutants concentrate results

	Pollutant concentration (mg/Nm^3)				
Month	SO_2	Dust	Cu	Co	Pb
Jan					
Feb	196,260	2216	11.0	10.90	67.70
Mar	199,118	478	7.4	0.01	34.10
Apr	95,227	33	0.4	0.01	0.06
May	295,343	652	56.9	0.31	38.80
Jun	241,991	546	49.4	0.27	33.70
Jul	168,631	2168	286.3	0.51	34.23
Aug	16,386	2128	707.2	2.02	32.63
Sep	181,016	470	8.8	0.06	40.13
Oct	291,126	22	0.1	0.00	0.08
Nov	38,108	952	217.4	1.41	49.69
Dec	209,598	522	121.1	0.78	27.69
Sum	**1,932,804**	**12,200**	**1,466.0**	**16.28**	**358.81**
Average	**175,709**	**1,109**	**133.3**	**1.48**	**32.62**

Appendix 7. 2014 Ambient air pollutants concentrate results

	Pollutant concentration (mg/Nm^3)				
Month	SO_2	Dust	Cu	Co	Pb
Jan	274,383	480	17.8	0.09	44.99
Feb	166,726	1900	435.1	2.81	99.44
Mar	200,071	986	211.4	0.32	34.3
Apr	119,090	0	276.7	0.46	78.92
May	102,342	520	326.5	0.66	46.2
Jun	114,326	1860	671.0	1.60	191.4
Sum	**976,939**	**7,760**	**1,938.5**	**5.94**	**495.25**
Average	**88,813**	**705**	**176.2**	**0.54**	**45.02**

ENVIRONMENTAL SECURITY: A CRITICAL APPROACH TO NATIONAL SECURITY

ÇEVRESEL GÜVENLİK: ULUSAL GÜVENLİĞE ELEŞTİREL BİR YAKLAŞIM

Murat ERDEMOĞLU

Inönü University, Mining Engineering Department, Malatya, TURKEY

Corresponding Author: murat.erdemoglu@inonu.edu.tr

ABSTRACT: The definition of national security has varied by time. After World War II, it focused on the subject of "realism" centering on the causes of war and the conditions of peace between and among the self-governing states, developed during the Cold War between the United States and the Soviet Union. As tensions between these superpowers eased after the collapse of the Soviet Union, academic discussions of national security significantly expanded to encompass a far broader range of threats to the peace. Then, by the mid-1980s, studies on the environmental threats associated with the political conflicts of resource usage, deforestation or desertification was becoming known as "environmental security". It is aimed in this paper to approach to national security in terms of environmental issues which are related with mining activities.

Key words: National security, Environmental security, Mining

ÖZET: *Ulusal güvenliğin tanımı zamanla değişti. İkinci Dünya Savaşından sonra, ulusal güvenlik kavramı savaşın sebepleri ve barış koşullarının, bunların kendi aralarındaki ve devletler arasındaki sebeplerini merkeze alan, Birleşik devletler ile Sovyetler Birliği arasındaki Soğuk Savaş boyunca gelişen gerçekçilik (realizm) akımı konusuna odaklandı. Sovyetler Birliği'nin çökmesinden sonra süper güçler arasındaki gerilimin düşmesiyle, ulusal güvenliğe ilişkin akademik tartışmalar, barışa yönelik çok daha geniş kapsamlı tehditleri kapsayacak şekilde önemli ölçüde genişletildi. Daha sonra, 1980lerin ortasında, kaynak kullanımı, ormansızlaşma veya çölleşme kaynaklı politik çatışmalarla bağıntılı çevresel tehditler üzerine yapılan çalışmalar "çevre güvenliği" olarak anılmaya başladı. Bu çalışmada, madencilik faaliyetleri ile ilgili çevre sorunları açısından ulusal güvenliğe yaklaşılması amaçlanmaktadır.*

Anahtar Kelimeler*: Ulusal güvenlik, Çevresel güvenlik, Madencilik*

1. INTRODUCTION

The concept of "environmental security" is relatively new and it has taken on new definition in the 21st century, since natural resource ownership and its protection have become essential elements of national security and foreign policy of a nation targeting sustainable development.

There is a number of definitions and varying reviews of the term environmental security. The following definition as suggested by Stark et al. (2006), at least in this study, well employs;

Environmental security is a condition in which a nation or region, through sound governance, capable management, and sustainable utilization of its natural resources and environment, (i.e. sovereign or nation state), takes effective steps toward creating social, economic, and political stability and ensuring the welfare of its population.

Realistic national security term has been approached in a different manner by suggesting an idea explaining how the states are threatened not only by military, but also political, social, economic and environmental issues (Buzan, 1983; Buzan, 1991). By the mid-1980s, studies on the environmental threats associated with the political conflicts of resource usage, deforestation or desertification was becoming known as "environmental security" which refers to a range of concerns that can be organized into three general categories: i. Concerns about the adverse impact of human activities on the environment - the stress is on the security of the environment as a good in itself, for the sake of next generations, as the context for human life on the Earth; ii. Concerns about the direct and indirect effects of environmental changes which may be natural or human-generated; iii. Concerns about the insecurity of individuals and groups experiencing conflicts due to environmental change such as water scarcity, air pollution, global warming, etc.

Until the end of the Cold War, environmental issues generally centered on conflicts over access to, or control of, natural resources. But today, the focus is now on regional cooperation between countries to prevent transnational environmental crimes like overfishing and illegal logging, to promote communication among stakeholders, and to better understand and address the consequences of environmental disaster (Bilgin, 2010).

As concluded by Norman Myers (1987) with his professional specializations on environment and development, with emphasis on intersectoral analyses of securitization, national security is no longer about fighting forces and weaponry alone. It turns into environmental security and relates progressively to watersheds, forests, soil cover, croplands, genetic resources, climate and other factors rarely considered by military experts and political leaders who proclaim they will not permit one square meter of national territory to be ceded to a foreign invader, while allowing hundreds of square kilometers of topsoil to be eroded away each year (Myers, 1996).

Mining as a base notion of sustainable development of all nations and as having direct impact on the environmental has been considered as possible risk to the national security. In this paper, a critical approach to national security in term of environmental impacts derived from mining and mineral processing activities was done, with representative efforts for establishment of environmental security

2. ENVIRONEMTAL RISKS FROM MINING

Mining is defined as the economic activity dedicated to the production of industrial minerals and metals, including exploration, mining, processing and extraction of the valuable or salable minerals. Worldwide consumption of mined commodities has increased steadily in due course, a trend that is expected to continue, as a result of persistent demand especially in fast - growing developing countries like China and India. Although material intensities have declined in OECD countries –more economic value is being created using relatively less material inputs and recycling is encouraged– the overall use of ore minerals is not declining (UN, 2011). At the same time, the mining and processing of minerals imposes environmental and social costs.

Several factors contribute to the environmental and social impacts of mining. With regards to the excavation of industrial minerals and metals, the first one is the "size" of mining as an economic activity, which relates to the demand for minerals and metals as inputs in the production system. The second one is the environmental impacts of specific extraction techniques like froth flotation or heap leaching, and more broadly the way extractive projects are managed on the ground.

Today, as it is very well-known and stated again by UN (2011) that mining activities may have a range of environmental impacts, including terrestrial degradation,

water pollution, air pollution, soil pollution and destruction of natural habitat. While some impacts are unavoidable once mining operations begin, damaging impacts can be minimized through the use of environmental impacts assessment, use of appropriate mining technologies, adherence to best practices in ongoing operations, and careful post-closure management and monitoring of abandoned mining sites. Briefly,

- Mining has implications for water consumption and water quality. Water usage is essential in all of the mining categories ranging from hard rock, metallic minerals, sand and gravels mining, to industrial minerals mining and coal mining. A strong focus on water management is needed to ensure that water is used efficiently and that drainage and discharges are managed.
- A major environmental problem relating to mining in many parts of the world is uncontrolled discharge of contaminated water particularly from abandoned mines of sulfide minerals of copper, lead and zinc, which are always found together with pyrite, causing acid mine or rock drainage (AMD or ARD). Acid mine drainage is not only associated with surface and groundwater contamination and finally pollution, but is also responsible for degradation of soil quality, aquatic habitats and for allowing heavy metals to leak into the environment.
- Cyanide, which is acutely toxic to humans and animals, is indefeasibly used worldwide in mining industry for economic extraction of gold and silver from its all types of ores, which may be employed as heap leaching of coarse sizes of low grade ores and agitation or tank leaching of fine sizes of high grade ores.
- The disposal of vast amounts of tailings which always remain from metallic minerals processing plants such as froth flotation of complex sulfide ores has been a universal source of environmental damages. Tailings dams typically represent a significant environmental liability associated with mining and mineral processing operations. The failure of such impoundments represents serious risks to the environment and human health, with very costly.
- Uranium mining gives rise to radioactive waste from all stages of mining and milling processes and includes, in addition to mill tailings, waste rock, mineralized waste rock and process water, including acidic or alkaline leaching solutions. Mining and milling removes potentially hazardous constituents in the ore and converts them into

forms such as sand and sludge, which are more susceptible to dispersion in the environment.

- Mine closure and rehabilitation activities need to be planned from the beginning and undertaken throughout a mine's operation. Mandatory insurance requirements or mitigation fees for mining companies may help reduce environmental risk exposure for governments. In this regard, many jurisdictions now require companies to provide guarantees or establish funds for mine closure, also referred to as reclamation funds prior to a mine opening. In many countries the legacy of abandoned or partially rehabilitated mines is an important issue. In many cases, governments are saddled with the cost of remediation and rehabilitation. A key problem is that in most countries existing legislation does not address this issue. As a consequence, there is a lack of established procedures for remediation and potential legal liabilities discourage companies that may wish to work on the site from doing so. Along with clear liability provisions, mandatory mine closure and monitoring plans may help limit this risk. An essential first step is the identification, assessment and inventorying of sites, in order including prioritization in accordance to risk levels, in a transparent process with stakeholder involvement (UN, 2011).
- At least but not last, as one of the important social impacts of mining, displacement arising from mining operations may result in serious socioeconomic difficulties, including marginalization, food insecurity, loss of access to common resources and public services, and social breakdown. In this context, decision-making, including issuance of prospecting licenses, should be transparent and local stakeholders should have the right to be heard.

The types of mining and minerals processing operations share a number of pathways in which the surrounding environment and communities can be exposed to the harmful effects of pollutants associated with mining and minerals processing activities. The pathways generally identified include:

- Airborne transport of pollutants such as dust, smelter emissions, gases, vapors;
- Mass movement of “solid” wastes (generally tailings with very fine particle size and containing heavy metals and toxic compounds like surfactants employed during froth flotation);

- Mass movement of liquid, or semi-liquid wastes (again, generally tailings in pulp and containing heavy metals and toxic compounds);
- Waterborne transport of wastes as suspended solids and as dissolved materials.

In a report studying environment and security risks from mining in Southeastern Europe (ENVSEC, 2004), dominant pathways of exposure are reported to be via,

- Waterways (fluvial transport),
- Airborne toxic emissions from smelters transported in the atmosphere,
- Toxic particulate pollutant transport as dust.

For instance, in Table 1 and Table 2, mining and smelting operations in two exemplary nations in Southeastern Europe, which are believed to have the potential for impacts of a transboundary nature, are listed. Note however, that sites listed as being likely to pose only national risk still may have the potential to create serious negative consequence should there be an incident (ENVSEC, 2004).

Establishing and enforcing clear rules for biodiversity protection in relation to mining, including appropriate zoning of areas where mining activities are permitted, remains elusive in many countries. Although global and national policy debates often center on “no go” areas on land that is already subject to legal protection, mining in important ecosystems that are not adequately protected may pose an even greater threat. Non-governmental organizations have developed general principles and criteria for identifying areas that should be off-limits to mining, oil, and gas development. However, those are not always implemented.

In most countries, developing countries included, there are laws to facilitate public involvement and expert consultation in the Environmental Impact Assessments (EIA) process. In the best cases, input is sought during both the initial stage of reviewing core issues and the later stages involving consideration of alternatives of the project technology and site selection, impacts, and initial EIA findings (Li, 2008). Moreover, beyond evaluating specific projects like gold, silver and uranium mining and smelting, more comprehensive environmental assessment increasingly is considered a necessary part of a nation’s pursuit of sustainable development at all levels of decision making.

Table 1. Albanian candidate sites – transboundary hotspots (from ENVSEC, 2004).

Site name / activity	Hazards	Potential transboundary harm/consequences
Elbasan Smelter complex / Ferrochromium, Fe (steel) and Ni smelters.	Toxic and heavy metal emissions, uncontained and unprotected wastes, residues and chemicals.	Cross border air pollution, pollution of Lake Ohrid shared with Macedonia (FYRoM), Pollution via Shukumbinit River to Adriatic Sea. Tensions with FYRoM
Shkoder / Cu mines (incl. Palaj, Karma I and II)	Toxic/acidic effluents, uncontained waste rock, dust emissions and unsecured workings.	Pollution of Lake Scutari shared with Republic of Montenegro. Tensions with Republic of Montenegro, Serbia and Montenegro.

Table 2. Bosnian and Herzegovinan candidate sites – transboundary hotspots (from ENVSEC, 2004).

Site name / Activity	Hazards	Potential transboundary harm/consequences
Birac Zvornick / Alumina refinery and Aluminum smelter	Toxic emissions, uncontained and unprotected wastes, residues and chemicals, particularly red mud wastes and spent pot linings, etc. from smelting operations.	Cross border pollution via Drina River (border of Serbia and Montenegro) and into Danube River. Tensions with Serbia and Montenegro and downstream Danube countries (Romania and Bulgaria).
Srebrenica Energoinvest /Pb-Zn mine and beneficiation mill	Toxic/acidic effluents, uncontained waste rock, dust emissions and unsecured workings, poorly contained and/unstable tailings wastes.	Cross border pollution via Drina River (border of Serbia and Montenegro) and into Danube River. Tensions with Serbia and Montenegro and downstream Danube countries (Hungary, Romania and Bulgaria).

3. EFFORTS TO PROVIDE ENVIRONMENTAL SECURITY

There are several intergovernmental and non-governmental organizations seeking global security and peace between the nations. Among those including several supragovernmental organizations like European Union (EU) and Commonwealth of Independent States (CIS), the most powerful is the United Nations (UN) with Security Council and General Assembly. One of the subsidiaries of UN, the United Nations Environment Programme (UNEP), as the world's leading intergovernmental environmental organization, is the authoritative source of knowledge on the current state of, and trends shaping the global environment. The mission of UNEP is to provide leadership and encourage partnership in caring for the environment by inspiring, informing, and enabling nations and peoples to improve their quality of life without compromising that of future generations. The other, the United Nations Development Programme (UNDP) is the UN´s Global Development Network, advocating for change and connecting countries to knowledge, experience and resources which can help people build a better life. It operates in 166 countries, working with them on responses to

global and national development challenges. As they develop local capacity, the countries draw on the UNDP people and its wide range of partners. The UNDP network links and co-ordinates global and national efforts to achieve the Millennium Development Goals declared towards to the year 2K.

The Organization for Security and Co-operation in Europe (OSCE) is a prominent instrument for early warning, conflict prevention, conflict management and post-conflict rehabilitation in continental Europe, the Caucasus, Central Asia and North America. Since its beginnings in 1973, the OSCE has taken a comprehensive view of security, including the protection and promotion of human rights and fundamental freedoms, economic and environmental co-operation, and political dialogue.

An initiative, so-called The Environment and Security Initiative (ENVSEC) was launched in 2002 and established in 2003 by the UNEP, UNDP and OSCE, with the common aim of facilitating a collaborative process between key public officials and development partners. In 2004, the North Atlantic Treaty Organization (NATO) became an associated member of the Initiative, and since this time coordinates with ENVSEC its environmental activities that are aiming at enhancing the security in vulnerable regions, and supports selected ENVSEC projects that are in line with NATO's geographical and thematic priorities. The ENVSEC works to assess and address environmental problems, which threaten or are perceived to threaten security, societal stability and peace, human health and/or sustainable livelihoods, within and across national borders in conflict prone regions. The Initiative collaborates closely with governments, particularly foreign, defense and environment ministries, national experts and non-governmental organizations (NGOs). The Initiative primarily seeks to;

- Raise awareness as to the connections between environment and security and assess environmental risks and their impacts on security;
- Engage with governmental and non-governmental stakeholder groups, to identify both risks posed by environmental change, and opportunities for transboundary co-operation to promote sustainable development, peace and stability;
- Use the mapping of risks as well as needs and opportunities for environmental co-operation as part of an integrated assessment and consultative dialogue to improve sustainable resource management, crisis prevention and peace promotion;

- Create networks among stakeholder groups at national level to promote environmental co-operation and foster sustainable development as a tool for confidence building and regional stability.

Together with the stakeholders, ENVSEC has carried out assessments and published reports illustrated by maps, for understanding the linkages between environment and security in the political and socio-economic reality of South Eastern Europe, the Southern Caucasus and Central Asia. Based on the assessments, the Initiative develops and implements work programs aimed at reducing tensions and solving the problems identified.

One of the studies reported by ENVSEC is titled as "Environment and Security, Transforming risks into cooperation: The case of Central Asia and South Eastern Europe" (ENVSEC, 2003). This report contains the preliminary account of the Initiative's findings in two case study regions, Central Asia and South Eastern Europe. These regions are selected for pilot studies due to the complex web of environmental and socioeconomic conditions that together may pose a risk to stability and to the lives and livelihoods of the populations.

At the end of the report it is declared that ENVSEC is as a collaborative mechanism to integrate security, environment and development concerns in the regions and noted that sustainable and equitable management of the environment can be an effective means for building peace, and reducing vulnerability both of individuals and nations.

Another project of ENVSEC is known with the title of "Reducing Environment and Security Risks from Mining in South Eastern Europe". ENVSEC consultations for South Eastern Europe assigned high priority to the issue of mining. The region is rich in mineral resources, has a long history of mineral resource extraction activities, and already has a serious history of mining accidents, due in part to the widespread neglect of environmental safety and human security issues at existing sites, particularly in the post-World War II era. While the majority of risks are the culmination of a long period of sub-standard extraction and waste management activities, the marked changes in economic and political circumstances, conflict, and socio-economic poverty during the 1990s in the subject countries have exacerbated the problems associated with many sites. Challenges are not just linked to the manner in which extraction activities and

waste management has been conducted, the use of hazardous chemicals in mining and minerals processing, poses additional risks in communities when transport and storage accidents occur. In addition to causing widespread environmental pollution, including transboundary pollution and tensions, all these hazards often confront local communities with immediate dramatic risks and/or health damage from chemical contamination. It is considered in the Project that reduction in environment and security risks can be achieved through an action program aimed at improved operational and regulatory systems – systems that provide greater levels of safety at the sites, as well as local-level and transboundary processes for emergency alertness and response. Further, discussion with national authorities and international partners can identify practical options for risk reduction, both at the community level and through the application of national policy and cross-border cooperation (ENVSEC, 2004).

The Institute for Environmental Security (IES), is an international non-profit non-governmental organization established in 2002 in The Hague, The Netherlands, with representatives in Brussels, London, Beirut, California, New York, Toronto and Washington DC. The "knowledge and action network" was set up to increase political attention to environmental security as a means to help prevent conflict, instability and unrest. The Institute's mission is declared as *"to advance global environmental security by promoting the maintenance of the regenerative capacity of life-supporting eco-systems"* (Hecker, 2011). Its multidisciplinary approach integrates the fields of science, diplomacy, law, finance and education. Activities are designed to provide policy-makers with a methodology to tackle environmental security risks in time, in order to safeguard essential conditions for peace and sustainable development. It has several programs concerning the environmental security, titled briefly as follows (IES, 2017):

- Climate Change and International Security
- Climate Change and the Military
- Environmental Security for Poverty Alleviation
- Integrating Energy Needs in Humanitarian Crisis Situations
- Greening European Security
- Global Policy Coherence
- The Hague Environmental Law Facility
- Inventory of Environment and Security Policies and Practices

Additionally, in the context of new approaches to the national security term, especially by ending of the Cold-War, NATO has reconstructed itself. NATO who fulfills its traditional duties by ensuring the security of the allies, and who foresees economic, social, environmental and political issues as the most significant threats causing national instability, even gun war, undertook new missions (Çolakoğlu, 2012). In the context of environment and safety, the Organization has considered many of scientific programs and project, as mentioned about ENVSEC, related to environmentally originated security issues such as climate change, extreme weather events and scarcity of natural sources resulting environmental pollution, disasters, regional tensions and violence.

Finally, as stated by Dikmen (2004) that a collaborative system must be followed between nations to provide and then establish environmental security; the problems arising from environmental issues should be solved in an egalitarian manner to prevent the stresses, importance should be given to environmental diplomacy, peaceful approaches, and international regimes implemented in sensitive ecosystems and ecological cycles to prevent environmental conflicts.

4. CONCLUSION

How the states are threatened not only by military, but also political, social, economic and environmental issues is a national security problem of today's world. Among them, environmental security seems to be considered preferentially, since there are many open-minded efforts tackled with by intergovernmental organizations like UN and NATO. Compromise is emerging around the globe, that environmental degradation, unbalanced access to critical resources like water and competition to extract and control valuable commodities like oil, gas and all kind of metals are each potentially important contributors to conflict.

Among the industrial operations, mining -including mineral processing and smelting- presents an additional security threat. Besides the negative impact on health of the locals and people of adjacent lands, the transboundary pollution deriving from massive productions of mining can increase the risk of tensions between the nations. In order to deal with those tensions and to sustain environmental security all around the globe, responsiveness must be raised as to the connections between environment and

security, and environmental risks and their impacts on security must be assessed, and governmental, non-governmental and intergovernmental stakeholder groups should engage to identify both risks posed by environmental change, and opportunities for transboundary co-operation to promote sustainable development, peace and stability.

REFERENCES

Bilgin, P., 2010. Güvenlik Çalışmalarında Yeni Açılımlar: Yeni Güvenlik Çalışmaları. Stratejik Araştırmalar, 8(4), 20.

Buzan, B., 1983. People, States, and Fear: The National Security Problem in International Relations. Brighton, Harvester Wheatsheaf.

Buzan, B., 1991. People, States and Fear: An Agenda for International Security Studies in the Post-Cold War Era. Harlow, London, Pearson Longman.

Çolakoğlu, E., 2012. NATO'nun Çevreye İlişkin Rolü. The Journal of Social Sciences of Dumlupınar University, 33, 101-112.

Dikmen, A. Ç., 2004. Enerji ve Çevre Ekseninde Ulusal Güvenlik. Letter of idea in Madencilik: journal of Chamber of Turkish Mining Engineers.,p31-32.

ENVSEC, 2003. Environment and Security, Transforming risks into cooperation: The case of Central Asia and South Eastern Europe. Report by UNEP, UNDP and OSCE, ISBN:82-7701-023-0 (Available on-line at https://www.iisd.org/pdf/2003/envsec_ cooperation.pdf).

ENVSEC, 2004. Reducing Environment and Security Risks from Mining in South Eastern Europe. Report by UNEP, UNDP and OSCE. Executive Summary (Available online at http://www.envsec.org/publications).

Hecker, J. H., 2011. Peace and Sustainable Development through Environmental Security: A Methodology for Environmental Security Assessments. Report published by the Institute for Environmental Security. The Hague.

IES, 2017. About Institute for Environment and Security (IES) available on-line at http://www.envirosecurity.org/about/

Li, J., 2008. Environmental Impact Assessments in Developing Countries: An Opportunity for Greater Environmental Security? Working Paper by the Foundation for Environmental Security and Sustainability (Available online at http://www.fess-global.org/WorkingPapers/EIA.pdf)

Myers, N., 1987. Population, Environment and Conflict. Environmental Conservation 14(1) 22.

Myers, N., 1996. Ultimate Security: The Environmental Basis of Political Stability. New York, Norton.

Stark, J., Li, J., Terasawa, K., 2006. Environmental Safeguards and Community Benefits in Mining: Recent Lessons from the Philippines. (Available online at http://www.fess-global.org/WorkingPapers/Lessons_from_RP.pdf)

UN, 2011. Policy options and actions for expediting progress in implementation: Mining. United Nations Economic and Social Council, Report of the Secretary-General. E/CN.17/2011/7.

MADEN İŞLETMECİLİĞİ SEKTÖRÜNDE ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRME (ÇED) HUKUKU UYGULAMALARI

ENFORCING ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT LAW IN THE MINING INDUSTRY

Mehmet Ali AKKAYA

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fethiye İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, Muğla, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar: maliakkaya@mu.edu.tr

ÖZET: Sanayi devrimi ile başlayan ve giderek hızla artan doğal kaynak kullanım süreci, beraberinde çevresel sorunları da getirmiştir. Doğal kaynakların kullanımına bağlı çevresel problemlerin giderek artması, aynı zamanda korumaya ilişkin gerekli önlemleri alma zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Bu teknik araçlardan biri Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED)'dir. ÇED, maden işletmeciliği sürecinde olumsuz çevre koşullarının oluşmaması için en önemli önleyici teknik ve hukuki araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak geçtiğimiz çeyrek asırlık süreçte özellikle madencilik sektöründe beklenen ölçüde ÇED süreci işletilememiş ve bu konuda birçok hukuki sorun ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada maden işletmeciliği alanında Çevresel Etki Değerlendirme hukuku uygulamalarının gerekliliği ve önemi irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel etki değerlendirmesi, Maden işletmeciliği, Stratejik çevresel değerlendirme, Sürdürülebilirlik

ABSTRACT: *The process of large-scale natural resource extraction began with the industrial revolution and has accelerated rapidly since then. This practice creates environmental problems as well. The increase in environmental problems caused by the large-scale extraction of natural resources made it obligatory to take protective measures. One of the technical tools used as a precaution is environmental impact assessment (EIA). EIAs are the most important preventive tools in technical and legal grounds for preventing negative environmental conditions in the process of mining. However, the number of EIA processes that were actually maintained in the last 25 years are fewer than expected, in the mining industry in particular, and there have been*

a number of legal and administrative problems regarding this issue. This study will examine the necessity and importance of enforcing EIA law in the area of mining.

Keywords: *Environmental impact assessment, Mining operations, Strategic environmental assessment, Sustainability*

1. GİRİŞ

İktisadi kalkınma, insan ile doğa arasında denge kurarak doğal kaynakları tüketmeden, gelecek nesillerin ihtiyaçlarının karşılanmasına ve ülke kalkınmasına imkan verecek şekilde bugünün ve geleceğin yaşamını ve kalkınmasını programlama anlamını taşımaktadır. Bu kavram; katma değeri yüksek ve olduğu yerde işlenmesi gereken maden kaynaklarının yenilenemez doğası gereği istisnai bir durum arzetmektedir. Maden işletmeciliğinin tarım alanları, kıyı bölgeleri, doğal yaşam alanları vb. gibi doğal kaynaklar için olumsuz etkisi nedeniyle sürdürülebilir kalkınma ilkeleri için bir takım rehberlik araçlarına ihtiyaç vardır. Bu rehberlik araçlarından biri ÇED'dir. Deniz, kıyı ve yeşil doğası ile birlikte uluslararası kamuoyunun gözbebeği olan Muğla, Aydın, Antalya, Balıkesir gibi kıyı illerimizdeki madencilik faaliyetleri için ÇED süreci daha dikkatli ve özenli işletilerek kıyı illerimizin uluslararası turizm çevrelerince tercih edilen merkez olmaya devam etmesi hedeflenmelidir.

2. ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRMESİ (ÇED)

2.1 Kavramsal Analiz ve Tanımlar

ÇED, teknik bir uygulama olduğu kadar bünyesinde sosyolojik ve birtakım hukuki doneneleri de barındıran bir kavramdır (Karaman, 2011). ÇED'in teknik içerikli kavram olması nedeniyle konunun daha iyi anlaşılır olabilmesi için diğer ilgili kavramlarla birlikte irdelenmesi gerekmektedir. Bu kavramlar; çevresel etki değerlendirme, stratejik çevresel değerlendirme, ÇED komisyonu, ÇED süreci, çevresel etki değerlendirme raporu, çevresel etki değerlendirme kararları vb. gibi teknik kavramlardır.

2.1.1 Çevresel etki değerlendirme

Çevresel Etki Değerlendirmesi kavramına ilişkin pek çok tanım olmakla birlikte, ortak bir tanım bulunmamaktadır. 2872 Sayılı Çevre Kanunu'nun 2. maddesinde ÇED; "gerçekleştirilmesi planlanan projelerin çevreye olabilecek olumlu ve olumsuz

etkilerinin belirlenmesinde, olumsuz yöndeki etkilerin önlenmesi ya da çevreye zarar vermeyecek ölçüde en aza indirilmesi için alınacak önlemlerin, seçilen yer ile teknoloji alternatiflerinin belirlenerek değerlendirilmesinde ve projelerin uygulanmasının izlenmesi ve kontrolünde sürdürülecek çalışmalar" olarak tanımlamıştır (Çevre Kanunu, madde 2). Doktrinde ise, olumlu ve olumsuz etkilerin önceden değerlendirilerek, olumsuzluk durumunda, amacın gerçekleştirilmesi için gerekli önlem planlamasının yapıldığı bir süreç olarak gören tanımın yanı sıra, bir projenin çevresel etkilerine dair bilgilerin gerek proje sahibi gerekse karar veren makam tarafından değerlendirildiği bir süreç olarak tanımlanmıştır (Alıca, 2011).

2.1.2 Stratejik çevresel değerlendirme

Bugün, proje bazındaki faaliyetlere çerçeve oluşturan politika, plan ve programların çevresel etkilerinin en aza indirgenebilmesi için yeni arayışların sonucu olarak, çevre korumada yeni bir araç olabilecek "stratejik çevresel değerlendirme" prosedürü ortaya çıkmıştır (Şimşek, 2010). SÇD, bir plan, program veya politikanın, halkın katılımı etkin sağlanarak çevre üzerinde olası olumsuz etkilerinin değerlendirilmesi, yapılan değerlendirmelerin bir rapor halinde sunulması (Cengiz, 2011), karar mekanizması ile entegre bir şekilde yürütülmesi (Aydın, 2003), çevre yönetiminin teknik araçlarından olan ve faaliyetler düzeyinde uygulanan çevresel etki değerlendirmesinin ileri bir aşamasıdır (Uslu, 1996). 08.04.2017 tarihinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Stratejik Çevresel Değerlendirme Yönetmeliği'ni yayınlamış ve söz konusu kavramı detaylı olarak tanımlamıştır.

2.1.3.ÇED komisyonu

ÇED'e konu olan proje için verilecek özel formatın kapsamını, kriterlerini belirlemek ve bu ilkeler doğrultusunda hazırlanan ÇED Raporunu inceleyip değerlendirmek üzere Bakanlık tarafından kurulan "Kapsam Belirleme ve İnceleme Değerlendirme Komisyonu"nu ifade etmektedir (ÇED Yönetmeliği, Mad. 12).

2.1.4 ÇED süreci

Gerçekleştirilmesi planlanan projenin çevresel etki değerlendirmesinin yapılması için ÇED Yönetmeliğinin 8. ve 16. maddelerinde belirtilen başvuru ile başlayan ve işletme sonrası çalışmaların uygun hale geldiğinin belirlenmesi ile sona eren süreçtir.

2.1.5 Çevresel etki değerlendirmesi raporu

Yatırıma başlanabilmesi için bakanlık dışındaki diğer kamu kurumları tarafından verilecek izin niteliğindeki idari işlemler öncesinde aranması gereken bir ön koşuldur. Bu şart-koşullar "Çevresel Etki Değerlendirmesi Olumlu Kararı", "Çevresel Etki Değerlendirmesi Gerekli Değildir Kararı" veya "Çevresel Etki Değerlendirmesi Olumsuz Kararı" olarak adlandırılmış ve tanımlanmıştır. Genel olarak madencilik sektöründe ÇED süreci ile ilgili en çok karşılaşılan sorun bu raporlardır. İdari bir karar olan bu kararlar zaman içerisinde idari yargıda dava konusu yapılarak iptale konu edilmektedir. Bu durum da beraberinde idari karar ile yargı kararı arasında çelişkili durumu ortaya çıkarmıştır.

2.2 ÇED'in Amacı, Gerekliliği ve Önemi

Ekonomik ve sosyal gelişmeye engel olmaksızın, çevre değerlerini ekonomik politikalar karşısında korumak, planlanan bir faaliyetin yol açabileceği bütün olumsuz çevresel etkilerin önceden tespit edilip, gerekli tedbirlerin alınmasını sağlamak ÇED'in genel amacıdır. Kısaca ÇED'in genel amacı sürdürülebilirliktir (Akkaya, 2015).

ÇED'in genel amacı; ekonomik ve sosyal gelişmeye engel olmaksızın, çevre değerlerini ekonomik politikalar karsısında korumak, planlanan bir faaliyetin yol açabileceği bütün olumsuz çevresel etkilerin önceden tespit edilip, gerekli tedbirlerin alınmasını sağlamaktır (Akkaya, 2015). Önerilen projeye getirilen çeşitli alternatiflerin CED çalışması kapsamında incelenmesi, çevresel faydaları arttırırken, proje sahibinin maliyetlerini azaltabilecek başka seçenekler de sunabilir. Halkın katılım sureci sayesinde, ilgili taraflar, proje sahibi ve kamu kurum kuruluşları arasında güven duygusu oluşturur ve katılımcı duygusallığı sayesinde de ÇED süreci, o ülkenin genel demokratik surecine katkıda bulunur. Faydalarını kısaca özetlemek gerekirse; tasarım aşamasında ortaya çıkabilecek olumsuz durumları önceden görerek "etkisiz hale getirmesi için gerekli tedbirleri ortaya koyması, olumsuz etkilerin minimize edilmesini sağlar, proje sahibi için maliyet azaltıcı seçenekler sunar, gereksiz maliyetlere katlanılmaz, karar verme surecine yönelik daha güvenilir, katılımcı ve bütünleşik yaklaşım sergiler. Bölge halkını sürece dahil edip dışlamadığı için demokrasiye katkı ve halkın projeye sahiplenmesi söz konusudur (Karadeniz, 2007).

2.3 Çevresel Etki Değerlendirme İlkeleri

ÇED sürecine ilişkin genel kabul görmüş birtakım ilkeler zaman içerisinde oluşmuştur. Bu ilkeler; kamu yararı; sürdürülebilirlik; bütünleşik planlama; önkestirim-erken aşamada diyalog; sorumluluk: karar verme; güçlü irade kullanımı; danışma ve katılım; esneklik; demokrasidir.

2.3.1 Kamu yararı

Kamu yatırımları ile çevrenin korunması ikilemi karşısında bir tercih yapma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. "Üstün kamu yararı" tartışması genellikle çevresel değerler üzerinde en çok olumsuz etkide bulunan sanayileşme ve kentleşme faaliyetleri ile çevre koruma çabaları arasında tercih yapılacağı zaman gündeme gelmektedir. Örneğin, maden işletmesi açılacak alanın korunması mı yoksa işletmeye açılarak ekonomik kaynak yaratılmasında mı üstün kamu yararı olacaktır? Üstün kamu yararı konusunda ne Anayasa'da, ne de mevzuatta bir tanım yoktur. Anayasa Mahkemesi ve Danıştay'ın üstün kamu yararını çevresel değerlerin korunması yönünde yorumladığı görülmektedir (Akkaya vd. 2002).

2.3.2. Sürdürülebilirlik

Kalkınma ve çevrenin birbirini bütünleyen kavramlar olarak algılanmasını savunan "sürdürülebilir kalkınma" yaklaşımının önemi, gün geçtikçe artmaktadır. Sürdürülebilir kalkınmanın en önemli araçlarından biri olan Çevresel Etki Değerlendirmesi(ÇED)'nin amacı; çevre değerlerini korumak, ekonomik kayıpları önlemek ve halkın daha sağlıklı bir çevrede yaşamasına katkı sağlamaktır (Say, 2010).

2.3.3 Bütünleşik planlama

Çevresel değerlendirme süreci, çevresel konuların dikkate alınmasını sağlamak için, planlama sureciyle bütünleştirilmelidir. İdeal bir durumda, değerlendirme projenin hazırlık sureciyle bütünleştirilir (Karaman,1996). Bu aynı zamanda değişik kısımlardan sorumlu ekiplerin veya kişilerin birbirlerinin çalışmalarına etkin şekilde katılmaları veya projeyi hazırlayanlarla değerlendirmeyi yürütenler arasında daha yakın temas ve bilgi alışverişi sağlamak anlamına gelir.

2.3.4 Önkestirim

Çevresel değerlendirme karar verme surecinin mümkün olan en erken aşamasında uygulanmalıdır. Sürecin doğru şekilde çalışması acısından, değerlendirme verilerinin projenin hazırlanması sırasında elde olacağı şekilde bir zamanlama gereklidir. ÇED'in projeye ilişkin kritik kararlar verildikten sonra başlatılması, proje tasarımını, resmi olarak kabul edilmiş olmasa bile, değiştirilmesi zor bir hale getirmektedir.

2.3.5 Danışma, katılım ve demokrasi

Projelerin çevresel değerlendirmeleri surecinde ilgili tarafların geniş katılımı önem arz etmektedir. Halk da çevresel değerlendirme surecine katılmalıdır. İlgili ve etkilenen gruplar projelerin çevresel değerlendirme surecindeki adımlardan ve mevcut katılım fırsatlarından haberdar olmalıdır. Çevresel değerlendirme surecinin sonuçları bu grupların anlayabileceği şekilde kendilerine iletilmelidir. Çevresel değerlendirmenin, bir ülkede projelere iliksin karar verme surecindeki demokrasi düzeyini yükseltebileceği görülmektedir: çevresel değerlendirmenin, değişik politika alanları ile devletin değişik düzeyleri ve halk katılımı arasında temin edeceği tutarlılık nihai olarak bu iyileşmeyi sağlayabilir.

2.3.6 Esneklik

ÇED süreci danışma ve katılımdan sağlanan girdilere uygun şekilde cevap verebilmelidir. ÇED prosedürü bu nedenle esnek olmalıdır. Danışma ve halk katılımından elde edilecek muhtemel sonuçların tahmin edilmesi erken bir aşamada ve sıkça ilgili gruplar ve kurumlarla iletişim kurulması, sinyallerinin alınması ve ÇED sürecinin net bir şekilde açıklanması; beklenmedik sonuçlara cevap verebilmek için danışmanlarla kısa dönemli veya çerçeve sözleşmeler yapılmasına olanak sağlamaktadır.

2.4 ÇED Kararı ve Hukuki Niteliği

ÇED, uygulama olarak teknik olduğu kadar sosyal kapsamı da bulunan, belli aşamaları içeren idari bir süreç ve teknik hukuki işlemdir (Karaman, 2011). Ancak bu süreç sonucunda verilen kararın hukuki niteliği nedir sorusu ile karşı karşıya kalınmaktadır. ÇED konusunda karar verici yetkili kurum Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'dır.

Bakanlığın nihai olarak yapmış olduğu işlem hukuk tekniği açısından değerlendirildiğinde "hukuki işlem" olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu işlemlerin en belirleyici özelliği, idarenin sahip olduğu üstün yetki ve ayrıcalıklar kullanılarak yapılmasıdır. İdari işlem, idarenin idare hukuku alanında bir hukuki sonuç doğurmak veya doğmuş olan bir hukuki sonucu belirtmek üzere yaptığı "tek taraflı işlem"dir.

İdari işlemin bir hukuki işlem olarak, biri "irade açıklaması", diğeri "hukuki sonuç" olmak üzere iki unsuru vardır. Ancak bu iki unsur bir araya geldiği takdirde idari işlem kurulur. ÇED kararı da teknik İdare Hukuku açısından bir idari işlemdir. ÇED süreci faaliyetin konusuna göre değişik kurum ve kuruluşlardan gelen temsilcilerin görüşleri doğrultusunda faaliyetin çevresel etkileri değerlendirilmekte ve bir karara varılmaktadır. Bu kararlar hukuki niteliği itibariyle dört alt başlıkta incelenebilir (Akkaya, 2015).

2.4.1 ÇED olumlu kararı

Çevresel Etki Değerlendirmesi Raporu hakkında komisyon tarafından yapılan değerlendirmeler dikkate alınarak, projenin çevre üzerindeki muhtemel olumsuz etkilerinin, alınacak önlemler sonucu ilgili mevzuat ve bilimsel esaslara göre kabul edilebilir düzeylerde olduğunun belirlenmesi üzerine projenin gerçekleşmesinde çevre açısından sakınca görülmediğini belirten Bakanlık kararıdır.

2.4.2 ÇED olumsuz kararı

Çevresel Etki Değerlendirmesi Raporu hakkında komisyonca yapılan değerlendirmeler dikkate alınarak, projenin çevre üzerindeki muhtemel olumsuz etkileri nedeniyle gerçekleştirilmesinde çevre açısından sakınca görüldüğünü belirten bakanlık kararıdır.

2.4.3 ÇED gerekli değildir kararı

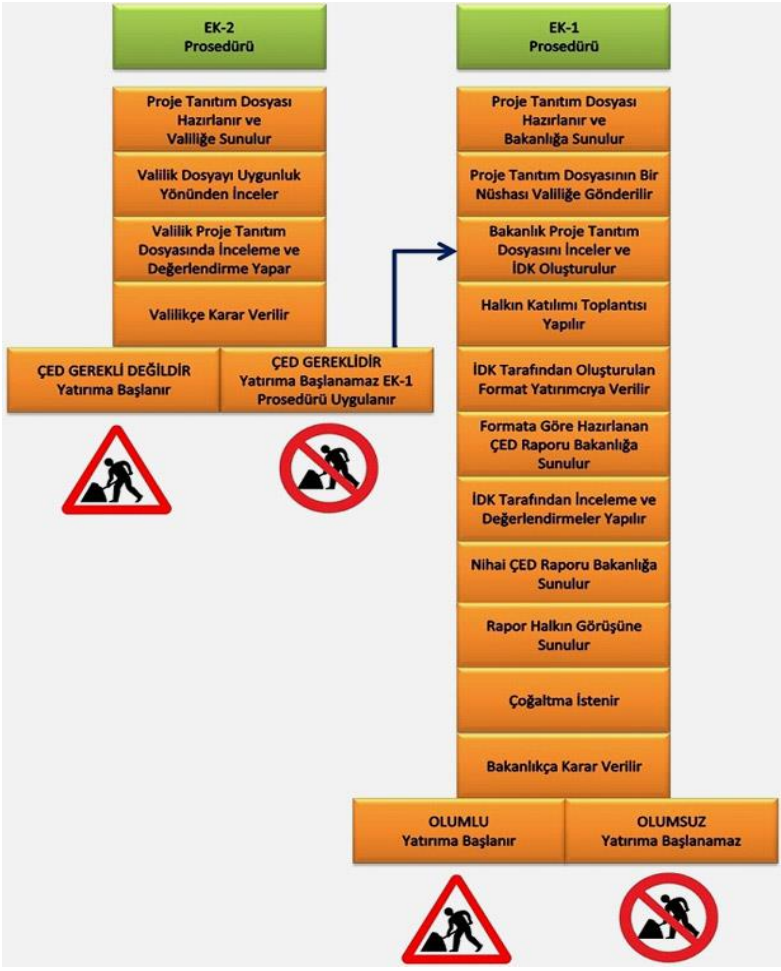
Seçme eleme kriterlerine tabi projeler hakkında yapılan değerlendirmeler dikkate alınarak, projenin çevre üzerindeki muhtemel olumsuz etkilerinin, alınacak önlemler sonucu ilgili mevzuat ve bilimsel esaslara göre kabul edilebilir düzeylerde olduğunun belirlenmesi üzerine projenin gerçekleşmesinde çevre açısından sakınca görülmediğini belirten bakanlık kararıdır.

2.4.5 ÇED gereklidir kararı

Seçme eleme kriterlerine tabi projelerin çevresel etkilerinin incelenerek, çevresel etkilerinin daha detaylı incelenmesi amacıyla Çevresel Etki Değerlendirmesi Raporu hazırlanmasının gerektiğini belirten bakanlık kararıdır.

2.4.6 ÇED süreci

ÇED süreci; gerçekleştirilmesi planlanan projenin çevresel etki değerlendirmesinin yapılması için ÇED Yönetmeliği'nin 8. ve 16. maddelerinde belirtilen başvuru ile başlayan ve işletme sonrası çalışmaların uygun hale geldiğinin belirlenmesi ile sona eren süreçtir (Şekil 1).



Şekil 1. ÇED Süreci (Akkaya, 2015)

Yönetmeliğin 8. Maddesinin genel içeriği; Bakanlıkça yeterlik verilmiş kurum/kuruluşlar ÇED Genel Formatı esas alınarak hazırlanan "ÇED Başvuru Dosyası"nı ve proje sahibi tarafından yetkilendirildiğine dair vekaletname ve imza sirkülerini Bakanlığa sunar. "ÇED Gereklidir" kararı verilen projeler için, bu karar, ÇED Başvuru Dosyası ve proje sahibi tarafından yetkilendirildiğine dair vekaletname ile imza sirküleri, Bakanlıkça yeterlik verilmiş kurum/kuruluşlar tarafından Bakanlığa sunulur. Bakanlık, başvuru dosyasındaki bilgi ve belgeleri uygunluk bakımından inceler. Bu işlemler beş (5) iş günü içinde tamamlanır. ÇED Genel Formatına uygun hazırlanmadığı anlaşılan ÇED Başvuru Dosyası tamamlanmak üzere iade edilir. Bakanlıkça yeterlik verilmiş kurum/kuruluşlar eksikliklerini tamamlayıp ÇED Başvuru Dosyasını yeniden Bakanlığa sunar.

İnceleme sonucunda başvuru dosyasının ÇED Genel Formatına uygun hazırlandığına karar verilmesi halinde, Bakanlık tarafından başvuru dosyasındaki bilgiler dikkate alınarak, ilgili kamu kurum ve kuruluş temsilcileri, Bakanlık yetkilileri, proje sahibi ve Bakanlıkça yeterlik verilmiş kurum/kuruluşlardan oluşan bir Komisyon kurulur. Proje ile ilgili olarak başvurunun yapıldığını, ÇED sürecinin başladığını, ÇED Başvuru Dosyasının halkın görüşüne açıldığını ve ÇED süreci tamamlanana kadar projeye ilişkin görüş ve önerilerin Valiliğe veya Bakanlığa verilebileceği Bakanlık ve Valilik tarafından anons, askıda ilan, internet vb. şekilde halka duyurulur. Bakanlık, halkın katılımı toplantısı ve kapsam belirleme için görüş verme tarihini belirten bir yazıyı ÇED Başvuru Dosyasını, komisyon üyelerine gönderir. Bakanlık, gerekli gördüğü hallerde, projenin konusu, türü ve proje için belirlenen yerin özelliklerini de dikkate alarak, üniversiteler, enstitüler, araştırma ve uzman kuruluşları, meslek odaları, sendikalar, birlikler, sivil toplum örgütlerinden temsilcileri de Komisyon toplantılarına üye olarak çağırabilir. Komisyonda kurum ve kuruluş temsilcisi olarak görev yapan üyelerin, yeterli mesleki bilgi ve deneyime sahip olmaları ve temsil ettikleri kurum/kuruluşların görev alanlarıyla sınırlı olmak üzere görüş vermeye yetkili kılınmış olmaları esastır.

3. MADENCİLİK SEKTÖRÜ VE ÇED UYGULAMALARI

3.1 Madencilik Sektörü ve ÇED Uygulamaları

ÇED; projelerin çevreye olabilecek olumlu ya da olumsuz etkilerinin belirlenmesinde, olumsuz yöndeki etkilerin önlenmesi ya da en aza indirilmesi, yer ve teknoloji alternatiflerinin değerlendirilmesi sürecidir. Çevre politikalarının ana unsurlarından birisi, salt kirlenme sonrası temizleme faaliyetleri yerine, günümüzde kabul gören çağdaş yaklaşımla, tamamlayıcı fonksiyon olarak kirlenmeden araştırma ve inceleme yaparak koruyucu tedbirler almaktır. ÇED Yönetmeliğinin genel amacı, Çevresel Etki Değerlendirmesi sürecinde uyulacak idari ve teknik usul ve esasları düzenlemektir.

Madencilik sektörüne ilişkin Çevresel Etki Değerlendirmesinin (ÇED) uygulanmasında yetkili Bakanlık, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'dır. ÇED uygulamasının geliştirilmesi amacı ile belirli sektörler için madencilik dahil 2006 yılında ÇED Rehberleri hazırlanmış, bu rehberler gerek oldukça ilgili bakanlık tarafından güncellenmektedir. Bu rehber serisi toplam on iki (12) rehberden oluşmaktadır. Bu sektörlerden biri de madencilik kapsamında açık ocak madenciliği ve cevher hazırlama - zenginleştirme tesisleridir.

Madencilik faaliyetlerinin çevreye olan olumsuz etkileri genel olarak; yeryüzünün genel yapısının bozulması, bitki örtüsünün ortadan kaldırılması, atık oluşumu, toz dağılımı, vibrasyon, gürültü ve görsel kirlilik şeklinde kendisini göstermektedir. Söz konusu olumsuz etkileri bertaraf edebilmek için madencilik projelerine ait ÇED raporları ve proje tanıtım dosyasında yer alan konular genel olarak üç ana grupta toplanmaktadır (Karadeniz, 2007).

3.1.1 Proje alanı ve çevresinin özellikleri

Ruhsat alanı koordinatları, ÇED kararı verilen alan koordinatları, proje ünitelerinin (ocak, tesis, hammadde, ürün ve pasa depo alanlar) koordinatları, yer bulduru haritası, vaziyet planı, topografik harita, jeoloji haritası ve imalat haritası, fiziksel ve biyolojik çevrenin özellikleri ve doğal kaynakların kullanımı jeoloji, hidrojeoloji, hidroloji, meteoroloji, toprak özellikleri, tarım ve hayvancılık, flora-fauna, orman alanları, koruma alanları, devletin hüküm ve tasarrufu altında bulunan alanlar, peyzaj değeri yüksek yerler ve rekreasyon alanları-proje yeri ve etki alanının hava, su ve toprak açısından mevcut kirlilik durumu, sosyo-ekonomik çevrenin özellikleridir.

3.1.2 Projenin özellikleri

Üretimi gerçekleştirilecek madenin analizi fiziksel, kimyasal, biyolojik özellikleri, üretim yönteminin tanıtımı ocaklarda; kademe yüksekliği-genişliği-uzunluğu, şev açısı, kademe sayısı, kazı yöntemi, kullanılacak iş makineleri, tesislerde; akım şeması, tesiste uygulanan üretim yöntemi, hammadde, ürün, pasa depolaması, patlatma ömrü ve çalışma süresidir.

3.1.3 Projenin çevresel etkileri ve alınacak önlemler

Hafriyat ve dekapaj işlemleri ile topografyanın değişmesi, toz , gürültü , vibrasyon, hava şoku, taş savrulması, atıklar evsel nitelikli atık, bitkisel toprak, pasa, proses atığı personelden kaynaklı atıksu, prosesten kaynaklı atıksu atıkyağ, tehlikeli atık, su temini, doğaya geri kazanım, sosyo ekonomik çevre üzerine etkiler ve izlemedir. Herhangi bir projenin ÇED Yönetmeliği kapsamında yer alıp almadığını belirlemek için eleme prosedürü yerine getirilir. Eleme prosedürü için öncelikle ÇED Yönetmeliği EK-1 listesi kontrol edilir. Proje EK-1 listesinde yer alıyorsa ÇED Raporu hazırlanması gerekir ve Şekil 1'de yer alan prosedür yerine getirilir. Projenin Ek-1'de yer almaması halinde Ek-2 listesinde yer alıp almadığı kontrol edilir. Ek-2 listesinde yer alan proje hakkında ÇED Raporu hazırlanmasının gerekli olup olmadığını belirlemek üzere "Proje Tanıtım Dosyası" hazırlanır.

3.2 Madencilik Projelerinin ÇED Yönetmeliğindeki Yeri

ÇED Yönetmeliğine tabi diğer projelerde olduğu gibi madencilik projeleri de ÇED Uygulanacak Projeler Ek-1 Listesi ve Seçme-Eleme Kriterleri Uygulanacak Projeler Ek-2 Listesi olarak iki gruba ayrılmıştır.

3.2.1 ÇED Yönetmeliği Ek-I listesinde yer alan madencilik projeleri

ÇED Yönetmeliği Ek-I listesinde yer alan madencilik sektörüne ait projeleri madencilik projeleri ve diğer projeler olacak şekilde iki temel başlık altında sınıflandırmak mümkündür (Çed Yönetmeliği, Ek:1, Ek:2 Listesi).

Madencilik projeleri; 25 hektar ve üzeri çalışma alanında (Kazı ve döküm alanı toplamı olarak) açık işletmeler, 150 hektarı aşan (Kazı ve döküm alanı toplamı olarak) çalışma alanında açık işletme yöntemi ile kömür çıkarma, biyolojik, kimyasal, elektrolitik ya da

ısıl işlem yöntemleri uygulanan cevher zenginleştirme tesisleri ve/veya bu zenginleştirme tesislerine ilişkin atık tesisler, 400.000 ton/yıl ve üzeri kırma, eleme, yıkama ve cevher hazırlama işlemlerinden en az birini yapan tesislerdir. Bu projeler için ÇED Raporu hazırlanması gereklidir.

Diğer Projeler; 500 ton/gün ham petrol, 500.000 m3/gün doğal gaz veya kaya gazının çıkarılması projeleri için ÇED Raporu hazırlanması gereklidir. Taşıma faaliyeti olarak petrol, doğalgaz ve kimyasalların 40 km'den uzun 600 mm ve üzeri çaplı borularla taşınması projeleri için ÇED Raporu hazırlanması gereklidir.

3.2.2 ÇED Yönetmeliği Ek-II listesinde yer alan madencilik sektörüne ait projeler

Madencilik projesinin Ek-1'de yer almaması halinde Ek-2 listesinde yer alıp almadığı kontrol edilir. Ek-2 listesinde yer alan proje hakkında ÇED Raporu hazırlanmasının gerekli olup olmadığını belirlemek üzere "Proje Tanıtım Dosyası" hazırlanır. Bu projeler;

Madencilik projeleri; Madenlerin çıkarılması (Ek-I'de yer almayanlar), yıllık 5.000 m3 ve/veya 250.000 m2 ve üzeri kapasiteli mermer ve dekoratif taşların kesme, işleme ve sayalama tesisleri, 1.000.000 m3/yıl ve üzerinde metan gazının çıkartılması ve depolanması, karbondioksit, kaya gazı ve diğer gazların çıkartıldığı, depolandığı veya işlendiği tesisler (Atölye tipi dolum tesisleri hariç), kırma, eleme, yıkama ve cevher hazırlama işlemlerinden en az birini yapan tesisler, (Ek-1 listesinde yer almayanlar), cevher zenginleştirme tesisleri ve/veya bu zenginleştirme tesislerine ilişkin atık tesisleridir (Ek-1 listesinde yer almayanlar).

Diğer projeler; Havagazı ve kok fabrikaları, kömür briketleme tesisleri, lavvar tesisleri, petrokok, kömür ve diğer katı yakıtların depolama, sınıflama ve ambalajlama tesisleri, (Perakende satış birimleri hariç), kireç fabrikaları ve/veya alçı fabrikaları, manyezit işleme tesisleri, perlit ve benzeri maden genleştirme tesisleri, maden, petrol ve jeotermal kaynak arama projeleridir (Sismik, elektrik, manyetik, elektromanyetik, jeofizik vb. yöntemle yapılan aramalar hariç).

4. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada her türlü maden işletmeciliği sürecinde çevresel değerlerin korunması konusunda Maden Kanunu, Çevre Kanunu, ÇED Yönetmeliği, adli ve idari yargı

kararları (230 adet mahkeme kararı) ve idari kararlar (186 adet ÇED Gerekli Değildir Kararı ve 94 adet ÇED Gereklidir Kararı) veri-materyal olarak kullanılmıştır.

Konu ile ilgili yerli ve yabancı literatür taranmış, kavramsal analiz yapılmıştır. Literatürden elde edilen verilerin analizi ve yeniden düzenlenmesi yöntemi benimsenmiştir. Veriler, alan yazından, internet kaynaklarından, lisansüstü akademik çalışmalar ve yargı kararlarından elde edilmiş, öncelikle elde edilen veriler çalışmanın alt başlıklarına göre ayrılmış ve analize tabi tutulmuştur.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Elde edilen bulgular, Çevre ve Şehircilik Bakanlığına yapılan ÇED başvuruların en fazla madencilik sektöründe olduğunu göstermiştir. Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED), gerçekleştirilmesi planlanan projelerin çevreye olabilecek muhtemel etkilerinin incelendiği bir süreçtir. Bu çalışma ile ÇED Yönetmeliği'nde yapılan değişikliklerin madencilik sektörü üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Çalışmada kavramsal analiz yapılarak, ÇED Yönetmeliği, Yönetmelik uygulama süreci, bu konudaki kazanımlar, madencilik sektörü ve çevresel değerlerin korunması dikkate alındığında ÇED Yönetmeliğinin onaltıkez değişikliğe konu edildiğini, ÇED süreciyle ilgili yargı kararlarının genel olarak uygulanmadığını, başlangıçta ÇED'e konu olan yatırım alanı her geçen gün genişletilmesi gerekirken bu alanın daraltıldığı ve kapsam alanı dışına çıkarıldığı görülmüştür. Bu uygulama sürdürülebilir doğal kaynak yönetimi ile ilgili olumsuz bir uygulamadır. ÇED sürecinin işletilmesi ile ilgili kamuoyunda oluşan genel kanı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığın ÇED raporuna olumlu yanıt verdiği yönündedir. Böyle bir algı var. Şu da bir gerçektir ki, "ÇED Gerekli Değildir" kararları olumsuz kararlardan daha fazladır (Akkaya, 2015).

Madencilik projeleri belirli bir ömrü olan projeler olduğundan ve doğrudan arazi kullanımını içerdiğinden, projenin ömrünü tamamlamasından sonra artık yasal olarak da yapılması istenen doğaya geri kazanım çalışmaları da çalışmanın önemli bir aşamasını oluşturmakla birlikte bu işlemlerin yapılmadığı gözlemlenmiştir. Bu durum 23.01.2010 tarihli Madencilik Faaliyetleri İle Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği ile düzenlenmiştir. Ancak Bu Yönetmeliğe aykırı davrananlar hakkında Çevre Kanununda öngörülen yaptırımların uygulanacağı belirtilmiştir. Çevre

Kanunu'nda öngörülen yaptırımların caydırıcılığı son derece zayıf olup bu durum tartışmalıdır (Aydın, 2003).

Maden işletmeciliğinden etkilenen kişiler bu yerleşim yerlerinde ikamet eden insanlardır. Madencilik faaliyeti mevcut yerleşik halkı göçe zorlamamalıdır. Dolayısıyla maden işletmeciliği ve ÇED sürecinin en önemli ayaklarından birisi halkın-kamuoyunun bilgilendirilmesidir. Projeyi duyurmak, proje ile ilgili bilgi vermek ve halkın görüşlerini almak amacıyla "halkın katılımı toplantısı" yapılmalıdır. Örneğin geçmişte Muğla bölgesinde bulunan ve halen devam eden Yatağan Termik Santrali'nin çevrede yarattığı olumsuz etkiler sebebiyle, yöre halkı projeye oldukça tepkili davranmıştır. Özellikle Yatağan Termik Santralinin hava kalitesi ve bitki örtüsü özellikle de zeytin rekoltesi üzerinde yarattığı olumsuz etkiler dile getirilmiştir.

Benzeri uygulama Saros Körfezi kıyısında gözlemlenmiştir. Saros Körfezi kıyısındaki ormanlık alan 2006 yılında Kütür ve Turizm Bakanlığı tarafından "Turizm Koruma ve Geliştirme Bölgesi", 2010 yılında ise 'Saros Körfezi Özel Koruma Bölgesi" olarak ilan edilmiştir. Bakanlığın "ÇED Raporu Gereksiz" kararı üzerine çevrecilerin başvurduğu mahkemenin "ÇED Raporu Gereklidir" ara kararına rağmen, Saros Körfezi'nde iki yeni kalker ocağı açılması için başvuru yapılmıştır. Bu idari işlemlere karşı iptal davası açılmıştır. Şekil 2'de görüldüğü üzere madencilik faaliyeti için orman ve deniz kıyısının ne kadar olumsuz etkilendiğini görmek mümkündür. Özellikle kıyı bölgelerindeki illerimizde bu tür olumsuz uygulamaları görmek mümkündür. Bu uygulamalar hem yerel halk üzerinde hem de ulusal ve uluslararası deniz ve kıyı turizm camiası üzerinde olumsuzluklara neden olmakta, gerek insan sağlığı ve gerekse yöredeki tarımsal faaliyetler üzerinde önemli olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bu tür uygulamalar son verilmelidir.

Şekil 2. Taşocağı (solda). Kıyı bölgesinde taşocağı (sağda)

6. SONUÇLAR

Çevrenin korunması için bir madencilik projelerinin gerçekleştirilmesine hayır demek en kolay seçenektir. Ancak, hayır demek çevrenin korunmasını sağlayamadığı gibi madenin hayatımızın vazgeçilemez bir parçası olduğunu düşünmek gerekmektedir. Dolayısıyla maden işletmeciliğinde sürdürülebilir kalkınma ilkesi aranmalıdır. Bu ilkeyi gerçekleştirecek araçlardan biri hiç kuşkusuz Çevresel Etki Değerlendirmesidir. Öz olarak madencilik faaliyetleri için ÇED çalışmaları mutlaka yapılmalı hatta daha sıkı şartlar getirilmelidir. Yapılacak bu çalışmalar madenin hem ekonomik hem de çevreye duyarlı şekilde işletilmesini sağlamalıdır. İdari yargıda iptale konu olmayacak hassasiyete ÇED süreci işletilmeli ve idari kararlar verilmelidir. Aksi halde idari anlamda olumlu karar verilip yargısal anlamda olumsuz karar verilmesi hem halk üzerinde hem de yatırımcı ve girişimci üzeri olumsuz duygu ve düşünceye konu olmaktadır. Mavi ve yeşilin buluştuğu, mavi yolculuk için uluslararası öneme sahip olan deniz ve kıyı kentlerimiz için madencilik faaliyetlerinde yasal ve idari prosedürlerde daha hassas davranılmalıdır. Çevrenin korunmasını sadece kamu kurum ve kuruluşlarının sorumluluğunda değil aynı zamanda yatırımcıların da sorumluluğunda olduğu kabul edilmelidir.

KAYNAKLAR

Akkaya, M. A., 2015. Denizel Çevre Sorunları ve Çevresel Etki Değerlendirme Hukuku Uygulamaları (2015 Tarihli Anayasa Mahkemesi Kararı İncelemesi), XII. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi 14-17 Eylül 2015, Muğla. s24-43.

Akkaya, M. A., Çakmak, B., 2002. "Kıyı Yapılarında ÇED Uygulamaları", Türkiye Kıyıları 02-İzmir, Konferansı Bildiriler, KAY Milli Komitesi, ODTÜ, Ankara. s23-28.

Alıca, S., 2011. "Çevresel Etki Değerlendirmesinin Yargı Kararları Çerçevesinde İrdelenmesi", Gazi Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi C. XV, Y. 2011, 3, s45-54.

Aydın, M., 2003. Stratejik Çevresel Değerlendirme (SÇD). Planlama Dergisi, (2003/1),19-25.

Cengiz, G., 2011. Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Stratejik Çevresel Değerlendirme (SÇD) İlişkisi ve Peyzaj Planlama Sürecinde Stratejik Çevresel Değerlendirme'nin İrdelenmesi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı., Ankara. s78-83.

ÇED Yönetmeliği, 25 Kasım 2014 Tarih ve 29186 Sayılı Resmi Gazete.

Çevre Kanunu (2872 sayılı) , 11.08.1983 Tarih ve 18132 sayılı Resmi Gazete.

Karadeniz, M., 2007. Çevre Yaklaşımları ve Madencilik, 2. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Ankara, 12-13 Nisan 2007.34-47.

Karaman, Z. T., 1996. "Sosyo-Ekonomik Çevre ve Çevresel Etki Değerlendirmesi" Türk İdare Dergisi, Sayı: 410, Mart 1996. 94-103.

Karaman, Z. T. 2011. "Çevresel Etki Değerlendirmesinin Yargı Kararları Çerçevesinde İrdelenmesi" Gazi Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi C. XV, Y. 2011, Sayı: 3, 129-136.

Say, P. N., 2010. "Stratejik Çevresel Değerlendirme", Stratejik Çevresel Değerlendirme Çalıştayı 13-14 Mayıs 2010, http://ziraat.cu.edu.tr/scd/, 15 Ocak 2011. Adana. 56-70.

Şimşek, T., 2010. "Çevresel Etki Değerlendirmesi, Mevzuat, Uygulama ve Sorunlar", Danıştay Başkanlığı, Sempozyum 11 Mayıs 2010, 142. Yıl, 63-91.

Uslu, O.,1996. Çevresel Etki Değerlendirmesi, Türkiye Çevre Vakfı Yayını, Ankara, 1996. 243-256.

İKİ FARKLI GECİKME ZAMANININ PATLATMALARDA ÇEVRESEL ETKİLERİ AÇISINDAN KIYASLANMASI

COMPARSION OF ENVIRONMENTAL IMPACTS IN BLASTING OF TWO DIFFERENT DELAY TIME

Vedat DENİZ[1*], Orçun Tugay DENİZ[2]

[1]Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çorum, Türkiye

[2]Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

*:Sorumlu Yazar: vedatdeniz@hitit.edu.tr

ÖZET: Bu çalışmada, Çorum Votorantim Çimento fabrikasının kalker ocağında patlatma çalışmalarından kaynaklanan yer sarsıntısı değerlerinin, delikler arası 17 ms ve 25 ms'lik farklı yüzey gecikme süresi uygulanarak çevresel etkileri açısından bir kıyaslama yapılmıştır. Saha çalışması kapsamında, her iki gecikme aralıklarında patlatmanın titreşim ölçümleri değişik mesafelerden alınarak sahanın ölçekli mesafe-titreşim ilişkileri araştırılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, iki farklı gecikme aralığı için hem aynı yönde titreşim frekansı, genliği ve sürelerinde farklı sonuçlar elde edilirken, hem de ölçekli mesafeler ve maksimum titreşim hızları arasında gecikmeye bağlı olarak farklı ilişkiler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Patlatma, Gecikme aralığı, Titreşim, Maksimum parçacık hızı

ABSTRACT: *In this study, a comparison in terms of environmental impacts of different delay times have been investigated due to blasting operations in quarry belongs to Çorum Votorantim Cement Plant. The method of study is to perform in-situ vibrations two different delay times in order to investigate the blast induced together vibrations. As a result of these studies, not only different results have been obtained with delay times between scaled distances vibrations but also different results are obtained in the frequency and duration of the vibration speeds for the two different delay times.*

Keywords: *Blasting, Delay time, Vibration, Peak particle velocity*

1. GİRİŞ

Çimento ve taş ocaklarının en önemli sorunlarından başı çeken yanlış patlatma uygulaması sonucu kaynaklanan çevresel sorunlardır. Son yıllarda, şehirleşmenin artmasıyla taş ocaklarına yaklaşan yerleşim birimleri nedeniyle, patlatma sonucu ortaya çıkan başta yer sarsıntısı ve gürültü olmak üzere taş fırlaması, toz oluşumu, yeraltı su kaynaklarının kaybolması, nakliye araçların verdiği rahatsızlık ve taş ocağının çevreye verdiği görüntü kirliliği gibi çeşitli şikâyetlere maruz kalmaktadırlar. Patlatma işlemlerinde patlayıcı madde türü ve miktarı ile ocak patlatma paterni verimlilik açısından önemli unsur olurken, ateşleme sistemleri, özellikle yer sarsıntısı ve hava şoku gibi çevresel etkileri ve emniyet açısından daha önemli unsur haline gelmektedir. (Deniz ve Deniz, 2015a; Deniz ve Deniz, 2015b; Deniz, 2016a).

Yer sarsıntısının özellikleri ve niteliği, patlatma yerine yakın kesimlerde daha çok patlatma tasarımı ve delik düzeni, bilhassa bir seferde ateşlenen patlayıcı miktarı, ateşleme aralığı (gecikme süresi) ve bir yere kadar da ateşleme yönünden etkilenir. Diğer bir deyişle bu etmenlere bağlı olarak oluşan parçacık hızı önemli bir hasar göstergesidir. Ancak patlatma yerinden uzaklarda, sarsıntının özellikleri ve niteliği daha çok yer sarsıntısı dalgasının iletildiği kaya veya zemin ortamının özelliklerinden etkilenir. Diğer bir deyişle arazi katsayıları ve yer sarsıntısının frekansı da hasar oluşumunda veya oluşmamasında önemli ve tayin edici etmenlerdir (Dowding, 1985; Bilgin ve ark., 1999).

Yersarsıntılarının frekans özellikleri başlıca iki unsurdan etkilenir. Bunlar jeoloji (kaya türleri) ve gecikmeli ateşlemelerde gecikme aralığıdır. 10 Hz değerinin altındaki frekanslar zeminde büyük yer değişimler ve yüksek düzeyli birim deformasyonlar yarattığı için hasar olasılığını da arttırır. Binalarda hasar olasılığı, zeminde patlatmanın oluşturduğu uyarıcı dalganın frekansı ile söz konusu binanın doğal (özyapısal) frekansının birbirleri ile olan ilişkisine bağlıdır. Patlatmalarda en kritik durum zemindeki uyarıcı dalganın frekansının, bir veya iki katlı binalarda genellikle 5-10 Hz arasında değişen bina özyapısal frekansına eşit veya ondan büyük olduğunda oluşur. Bu durumda bina rezonansa girer ve zemindeki uyarıcı (yer sarsıntısı) dalga geçip gittiği halde bina sarsılmaya devam eder. Bina rezonans halindeyken, parçacık hızı, sınır değerin oldukça altında ise binada hasar oluşmaz ama kişiler rahatsız olur. Fakat bina

rezonans halindeyken parçacık hızı da yeterli büyüklükte (genlikte) ise binada hasar oluşur (Siskind ve ark., 1980; Bilgin ve ark., 1998; Kahriman ve ark., 1999).

Rezonans oluşmaması için bu parçacık hızları ve buna bağlı olarak hesaplanan yer ivmesi (cm/sn^2) ve deplasmanların (cm) belli limitler içinde kalması gerekmektedir. Sismik dalgaların yayılması, yayılma ortamının elastik özelliklerine (mekanik) ve yapısal jeolojik konumuna bağlıdır. Homojen ortamlarda dalga hızları genellikle belli mesafelerde sönümlenirler. Sismik dalga hızları, eklem, tabaka düzlemi ve fay gibi süreksizliklerin konumlarıyla da ilişkilidir. Farklı süreksizlik ortamında ilerleyen dalgalar yansıma ve kırılma yapabileceğinden sönümlemelerinin oluşacağı mesafelerin tanımlanması karmaşık işlemlerdir (Siskind ve ark., 1980; Bilgin ve ark., 1998; Kahriman ve ark., 1999).

Kayaçların jeolojik ve jeoteknik şartları değiştirilemez, ancak gecikme başına patlatılan patlayıcı miktarı ampirik formül ile tahmin edilebilir ve patlatma tasarımı için önerilebilir. Patlatmadan kaynaklanan çevresel sorunların izole edilmesi için geçmişte çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Olayın karmaşıklığı nedeniyle henüz genel bir güvenilir yaklaşım ya da formül bulunmamaktadır. Patlama parametrelerinin ve saha faktörlerinin karmaşıklığı, dalga ve yer hareketi özelliklerine ek olarak, genel bir kriterin gelişimini sınırlamaktadır ve patlatma etkilerini öngörmek ve kontrol etmek için deney alanına özgü çalışmalar yapılmalıdır (Jimeno ve Jimeno, 1995; Kahriman ve ark., 2001).

Howkins (1961), Cook (1992), Jimeno ve ark. (1995), Kahriman (1995), Bohloli (1997), Uyar ve Bilgin (2004), Karakuş (2010) ve Deniz ve Deniz (2015b) patlatma işleminin kayaç yapısına bağlı olup olmadığını araştırmışlar ve patlatmanın kayaç özelikleriyle doğrudan ilişkisi olduğunu belirtmişlerdir.

Ayrıca, patlatma işleminde titreşim süresi de oldukça önemlidir. Örneğin; düşük genlikli fakat uzun süreli titreşimler, yüksek genlikli ama kısa süren titreşimlerden daha tahripkâr olabilmektedir. Dolayısıyla, özellikle köy ve bağ evleri gibi yapılara yakın yerdeki ocaklarda patlatma tasarımı yaparken titreşimleri hem 3 mm/s'den daha aza indirebilmek hem de titreşim sürenin de kısa olmasını göz önünde tutacak şekilde delik gruplamaları ve gecikme elemanları ile patlatmalar gerçekleştirilmelidir.

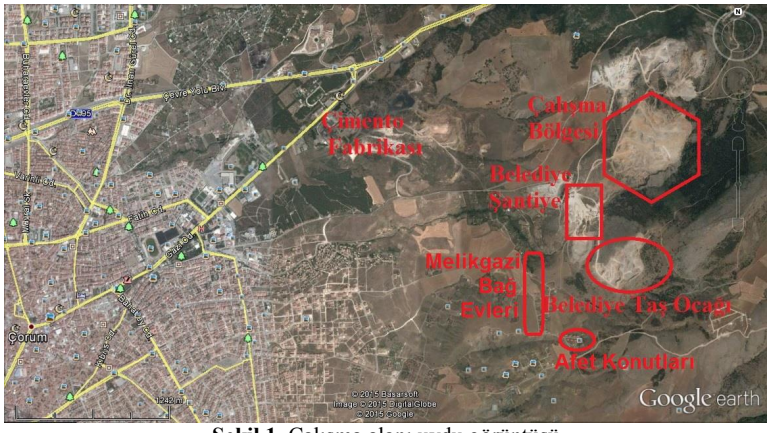
Mingsheng ve ark. (2011) yüzey gecikmelerinin yer titreşimi ve frekanslar üzerine etkileri üzerinde bir dizi test yapmışlardır. Onlar, 25 ms, 42 ms, 50ms ve 100 ms'lik yüzey gecikmeleri ile yaptıkları çalışma sonucunda, yüzey gecikmelerinin

patlatma işleminde etkili olduğunu ve 25 ms ve 100 ms'lik yüzey gecikmeleri ile en düşük frekans değerleri elde ettiklerini belirtmişlerdir. Shi ve Chen (2011) patlatma işleminde gecikme zamanın etkisi üzerinde yaptıkları çalışmada da benzer etki gözlemişlerdir. Onlar 15 ms, 25 ms, 30 ms, 35 ms ve 40 ms'lik yüzey gecikmeleri ile yaptıkları çalışma sonucunda, 15 ms ve 40 ms'lik yüzey gecikmeleri ile en düşük yer titreşimi elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada, patlatmalı kazı işlemlerinde çok kullanılan elektriksiz (NONEL) kapsüllerin delikler arası yüzey gecikme süresinin 17 ms ve 25 ms kullanılması durumunda patlatma işleminde önemli çevresel faktörlerden olan yer titreşimi değerleri açısından uygulamalı bir değerlendirme yapılmıştır.

2. ÇALIŞMA SAHASI

Çalışma sahası olan Çorum Votarantim Çimento Fabrikasının kalker sahası, Çorum ili şehir merkezinin 5 km güneydoğusunda yer almaktadır (Şekil 1). Çorum-Samsun Yolunun 1500 m güneyinde, Çimento fabrikasının 2100 m güneydoğusunda, Çorum Merkez Bahçelievler Mahallesi Melikgazi bağlarının 1100 m doğusunda (Şekil 2-a), Afet konutlarının 1400 m kuzeydoğusunda ve Belediye Taşocağı şantiye binalarına (Şekil 2-a) ise 500 m doğusunda bulunmaktadır. Ayrıca, Şekil 2-b'de çalışma sahası üzerinde ölçüm yapılan yerlerin gösterildiği uydu görüntüsü ve en yakın yerleşim yeri olan Çorum Belediyesine ait taş ocağının tesislerinin ve Melikgazi bağlarının konumu gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı uydu görüntüsü

Şekil 2. Çalışma sahası ile en yakın yerleşim yeri olan Melikgazi bağları arası mesafenin görüntüsü (a) ve Ölçüm alınan noktaların görünümü (b)

3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Bu araştırma kapsamında, Çorum ili Merkez ilçesinin yakınında Çorum Votorantim Çimento Fabrikasına ait kalker sahasında gerçekleştirilen patlatmaların, iki farklı delikler arası gecikme süresinin yer sarsıntısı değerleri ve özellikleri üzerinden çevresel açıdan etkilerini değerlendirme yapılmasını içermektedir. Çalışma sahasında 7 kademe bulunmakta ve her bir kademe yüksekliği hemen hemen eşit ve 10 m olarak düzenlenmiştir. Patlatma çalışmasında, delme işlemi Frukowa marka delici makinesiyle yapılmıştır.

Ocakta yapılan patlatma işleminde patlayıcı madde olarak ANFO, yemleme de EMULITE dinamit kullanılmıştır. Ateşleme ise elektriksiz (NONEL) gecikmeli kapsüller ile yapılmıştır. Delikler arası mesafe ve yük mesafesi 2.5x2.5m olarak ve delikler şeşbeş düzende delinmiştir. Sıkılama boyu 2.5m olarak ve dip delgi miktarı 1m olarak uygulanmıştır. Gecikme başına maksimum şarjın belirlenmesinde; yemlemede kullanılan dinamitin ağırlığı (0.5 kg) ve ANFO göz önüne alınmış olup, atım yeri ile ölçüm istasyonu arasındaki mesafe ise GPS ile bulunmuştur. Patlatma kaynaklı oluşan yer sarsıntısı (titreşimi) için 1 adet Instantel Micromate model sismometre aleti kullanılmıştır (Şekil 3). Elde edilen veriler bilgisayar programlarıyla değerlendirilip, büro çalışmalarıyla raporlandırılmıştır.

Çeşitli araştırmacılar, yapmış oldukları literatür çalışmalarında; tipik patlatmaların, geometrik ve jeolojik şartlardaki değişimler nedeniyle, en iyi yersarsıntısını tahmin şeklinin, gerçek atımların gözlenmesi sonucu elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Öne sürülen çeşitli deneysel ilişkilerden en çok ölçekli mesafe ve titreşim hızını esas alanlara güvenilmektedir. Ölçekli mesafe kavram olarak, yer

hareketlerinin değişik uzaklıklardaki patlatma seviyelerinin miktarları ile ilişkilidir. Ölçek, uzaklığa bağlı olarak kullanılan birimsiz bir faktördür. Ölçekli mesafe, uzaklık ve sismik dalgaların temelini etkileyen patlayıcı madde miktarı kullanılarak ortaya konulmuş bir kavramdır. Kayada meydana gelen dalga hareketlerini yaratan toplam enerji bir seferde ateşlenen patlayıcı madde miktarına bağlı olarak değişmektedir. Patlatma kaynağından itibaren oluşan dalgalar ileriye doğru yayılırken, basınç dalgası etkisinde kalan kaya hacmi artmaktadır. Ölçekli mesafe (SD), sismik gelişimi ve hava şoku enerjisini etkileyen gecikme başına şarj miktarı ve patlatma ile ölçüm noktası arasındaki mesafenin kombinasyonlarından türetilmektedir (Duvall ve Fogelson, 1962; Ambraseys ve Hendron, 1968; Langefors ve Kihlstrom, 1973; Birch ve Schaffer, 1983).

Şekil 3. Titreşim (yer sarsıntısı) ve hava şok ölçüm cihazı (sismometre) ve cihaz kurulumu

Yer sarsıntıları için ölçekli mesafenin belirlenmesinde benzer araştırmalarda en sık kullanılan kareköklü eşitlikten yararlanılmıştır (Duvall ve Fogelson, 1962).

$$SD = R/W^{0.5} \quad (1)$$

Burada; R: Patlatma noktasına uzaklık (m)

W: Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg)

SD: Ölçekli mesafe (yer sarsıntısı için $m/kg^{½}$)

Patlatmadan kaynaklanan yersarsıntılarının önceden tahmin edilmesi, yersarsıntılarının önlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Birçok kişi ve kuruluş bu amaçla çeşitli araştırmalar yapmış ve ölçekli mesafeye bağlı maksimum parçacık hızı tahmininin en iyisi olduğu sonucuna varmışlardır. Maksimum parçacık hızı tahminine yönelik geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan deneysel ilişki aşağıda verilmiştir (Siskind ve ark., 1980).

$$PPV = K*(SD)^{-\beta} \quad (2)$$

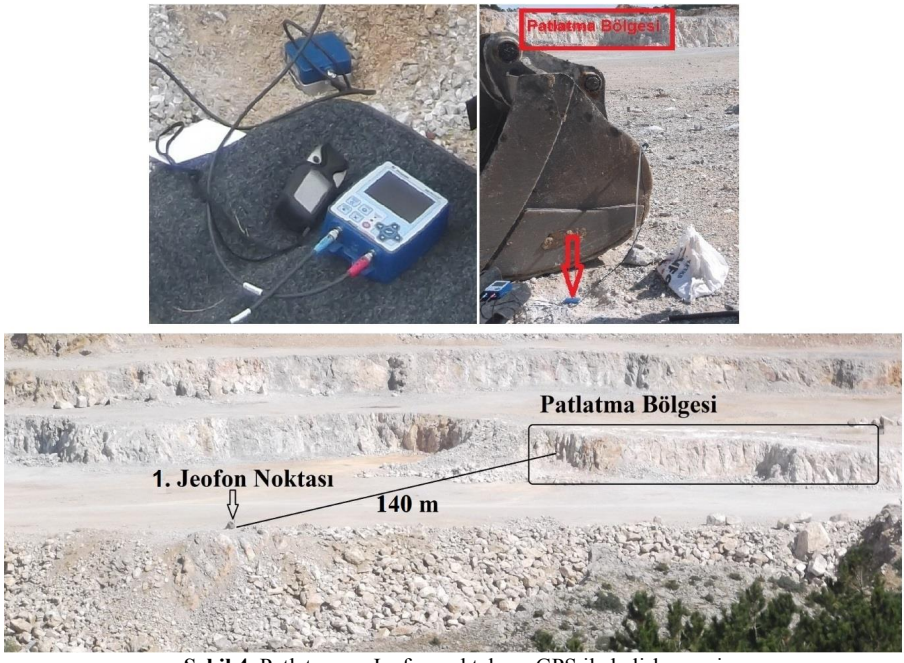
Burada; PPV : Maksimum parçacık hızı (mm/sn)

SD : Ölçekli mesafe (m/kg^{½}),

K, β : Saha sabitleri

Araştırma sahasına yönelik olarak yapılan risk analizinde; yukarıda verilen formül ile öncelikle DIN 4150 Alman Normu (1999), ABD Açık Ocak Madencilik Bürosu (OSM) normu (1983) ve daha sonradan geliştirilen ABD Madencilik Bürosu'nun (USBM) Alternatif Patlatma Hasar Kriteri Normu (2009) ile T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nin (2010) titreşim hasar limitleri için belirlenen titreşim hasar limitleri kullanılmıştır.

Araştırmada; elektriksiz kapsüllerle toplam 20 olay yer sarsıntı ölçer cihazlar tarafından kaydedilmiştir. Yer sarsıntısı (titreşim) ölçer cihaz, Çorum Votorantim çimento taş ocağında yapılan atım noktaları ile aynı yönde ve farklı uzaklıklarda GPS (Global Positioning System) ile belirlenen ölçüm istasyonlarına Şekil 4'deki gibi sistematik bir şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 5'de gösterilen 17ms ve 25ms'lik ki farlı yüzey gecikmeli elektriksiz kapsüllerle 10'ar adet test atımı yapılmıştır.

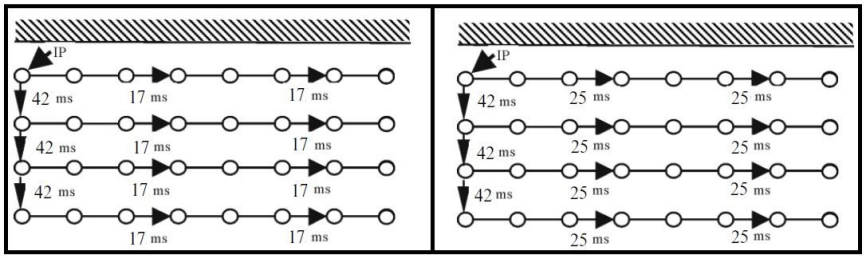


Şekil 4. Patlatma ve Jeofon noktaların GPS ile belirlenmesi

Şekil 5. 17 ms ve 25 ms yüzey gecikmeli elektriksiz kapsüller

4. PATLATMA TESTLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Arazi uygulamalarında, her bir sırasında 18 ile 22 adet olan 4 sırada toplamda 80 adet patlatma delikleri açılarak atım işlemleri yapılmıştır. Tüm patlatma deliklerin dip gecikmeleri 500 ms olup, sıralar arasında yüzey gecikmesi 42 ms olarak uygulanmış ve delikler arası yüzey gecikmeleri ise 10 adet atım için 17 ms ve 10 adet atım için de 25 ms olarak uygulanmıştır. Arazi uygulamasında, delikler arası yüzey gecikmelerinin etkisini araştırmak için yapılan atımlar için yüzey gecikmelerin deliklere göre bağlantı şekli Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. 17 ms ve 25 ms için basamak patlatma uygulamasında ateşleme sisteminin yüzey gecikme bağlantısının görünümü

Araştırma kapsamında; Çorum Votorantim Çimento Fabrikası Kalker Ocağı'nda toplam 20 adet atıma ait 20 ölçüm kaydedilmiştir. Bu 20 adet atımın 10'una 17 ms'lik delikler arası yüzey gecikme uygulanırken diğer 10 adet'inde 25 ms'lik yüzey gecikmesi uygulanmıştır. Bu çalışmada parçacık hızı tahmini için gecikme başına düşen en fazla patlayıcı miktarı ve kaynak ile ölçüm istasyonu arasındaki uzaklıklar dikkate alınarak türetilen ölçekli mesafe ile parçacık hızı arasındaki ilişki incelenmiştir.

Bu çalışmada, her iki yüzey gecikmeleri için ölçülen maksimum parçacık hızı (PPV) ile ölçekli mesafe (SD) veri çiftleri arasında Microsoft Excel programı

kullanılarak regresyon analizi yapılmış ve bulunan ilişkiler Eşitlik 3 ve Eşitlik 4'de verilmiştir.

$$PPV=180.45*SD^{-1,3236} \quad (3)$$

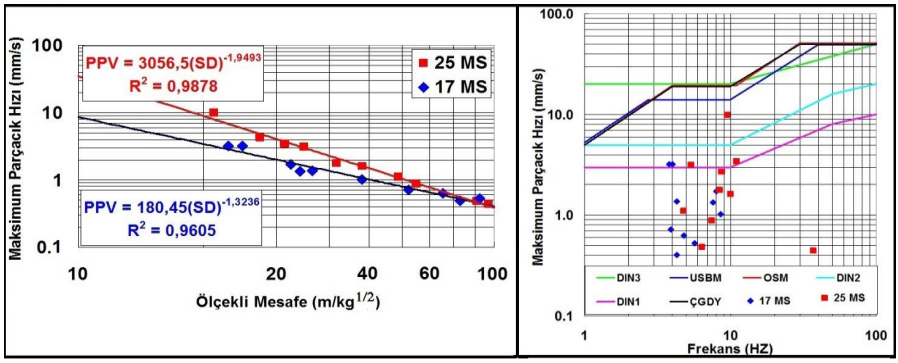
$$PPV=3056.5*SD^{-1,9493} \quad (4)$$

Her iki yüzey gecikmesi için PPV-SD ilişkisine ait elde edilen tahmin eşitliğinin (regresyon katsayıları sırasıyla R^2 =0.9605 ve R^2 = 0.9878'dir.) grafiksel görünümü Şekil 7'te verilmektedir. Şekil 7'den görüleceği üzere, 17 ms ile 25 ms yüzey gecikmelerinde nispeten farklılık olduğu tespit edilmiştir. Atım noktası ile ölçüm noktası arasındaki mesafe uzaklaştıkça yüzey gecikmesinin önemli olmadığı, literatürden de bilindiği üzere daha çok kayaç yapısı ile ilgili olduğu anlaşılmıştır. Atım noktası ile ölçüm noktası arasındaki mesafe yaklaştıkça ise yüzey gecikmesinin önemli olduğu gözükmektedir. Fakat, bu sonucu kesin yargı haline getirebilmek için atım yeri ile ölçüm noktası arasında seçilen yakın konumdaki ölçüm sayısının artırılmasında fayda vardır. Ayrıca, sadece 17 ve 25 ms yüzey gecikmeleri değil, 42 ms ve 63 ms yüzey gecikmelerini de kapsayan çalışmaların yapılması sonrasında kesin karar verilmesi gerekmektedir. İleriki araştırmalarda bu konunun üzerinde detaylı çalışma yapılması hedeflenmektedir.

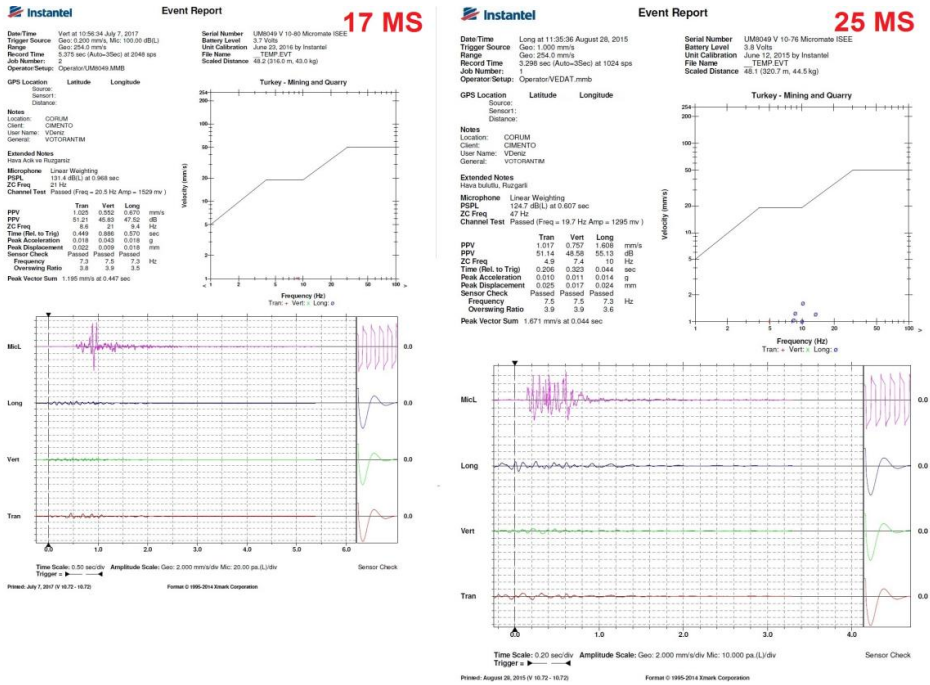
Ayrıca, kaydedilen tüm atımlarda ölçülen maksimum parçacık hızı (PPV) ve karşılık gelen frekans (Hz) değerleri, 17 ms ve 25 ms'lik delikler arası yüzey gecikmeleri için Alman DIN 4150, USA-OSM, USA-USBM ve Çevre ve Orman Bakanlığının ÇGDY Normlarına göre mukayese edilmek üzere Şekil 7'deki grafik üzerinde topluca gösterilmiştir.

Kaydedilen tüm atımlarda ölçülen maksimum parçacık hızı (PPV) ve karşılık gelen frekans değerlerinin Şekil 7'deki grafik üzerindeki yerleri incelendiğinde, ölçü alınan noktalar itibariyle, atımların tamamının USA-OSM (1983), USA-USBM (2009) ve Çevre ve Orman Bakanlığının ÇGDY (2010) Normlarına göre hasar limitinin altında kaldığı anlaşılmıştır. Sadece, Alman DIN 4150-1 ve DIN 4150-2'ye (1983) göre sınırları aşmış gözükmektedir. Sınırları aşan atımlar incelendiğinde ölçüm alınan noktaların ocak içerisinde olduğu ve yaklaşık 1100 m uzaklıktaki Melikgazi bağ evlerine hasar verme riskinin olmadığı görülmüştür. Dolayısıyla da izlenen atımlarda kaydedilen değerlerin ilgili normlara göre söz konusu bağ evlerine ve Çorum Belediyesine ait taş ocağı tesislerine hasar yaratma açısından etkili olamayacağı

anlaşılmaktadır. Ayrıca izlenen atımlarda, 17 ms ve 25 ms'li delikler arası yüzey gecikmeleri için farklı PPV ve frekans ilişkisi göstermiştir. 25 ms'lik yüzey gecikmeleri 17 ms'lik yüzey gecikmelerine kıyasla hem çok daha yüksek parçacık hızları sağlarken hem de nispeten daha yüksek frekanslar oluşturmuştur. Bu durum, 25 ms'lik yüzey gecikmesinin binalara hasar verme ve insanların rahatsız etme duygusu açısından daha kabul edilebilir bir görüntü vermektedir.



Şekil 7. 17 ms ve 25 ms'lik yüzey gecikmesi ile yapılan atımlarda elde edilen maksimum parçacık hızları (PPV) ile ölçekli mesafe (SD) ve Frekans (Hz) değerleri arasındaki ilişkiler



Şekil 8. 17 ms ve 25 ms'li yüzey gecikmeleri ile yapılan patlatma işleminin sismometre kayıt cihazından alınan PPV verileri ile titreşim grafikleri

Patlatma işleminde titreşim süresi de oldukça önemli olduğu ve düşük genlikli fakat uzun süreli titreşimler, yüksek genlikli ama kısa süren titreşimlerden daha tahripkâr olabileceğini biliyoruz. Şekil 8'de atım bölgesi ile ölçüm alınan noktası arasındaki mesafenin yaklaşık olarak aynı olan iki ayrı yüzey gecikmesi (17 ms ve 25 ms) için örnek sismograf grafikleri verilmiştir. Şekil 8'den de görüleceği üzere, 17 ms yüzey gecikmesi ile elde edilen sismik dalgaların 25 ms yüzey gecikmesine göre titreşim süresi daha yüksek ve genlikleri daha düşüktür. Bu durumda, aynı titreşim süresinin yüksek ve genliklerin yüksek olan 25 ms'lik yüzey gecikmesinin hasar verme potansiyeli açısından çok daha uygun olacağı ortaya çıkmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çorum Votorantim Çimento Fabrikasının kalker sahasında yapılan patlatmalarda, delikler arasında iki farklı gecikme süresi (17 ms ve 25 ms) kullanılarak yer sarsıntısı etkisini belirlemek amacı ile gerçekleştirilen çalışmaları sırasında saptanan bulgular aşağıda verilmiştir;

- Taş ocağının değişik yerlerinde 17 ms ve 25 ms'lik olmak üzere iki farklı delikler arası gecikme süresi için 10'ar adet toplam 20 adet atım yapılmış ve bu patlatmaların titreşim ölçümleri aynı yönde değişik mesafelerde oluşturulan 20 adet ölçüm istasyonunda kayıt edilmiştir. Bu ölçümler 0.402 mm/sn ile 9.936 mm/sn arasında değişen bileşke parçacık hızları değerleri elde edilmiştir.
- Elde edilen titreşim parametrelerinin (parçacık hızı. frekans vs); ulusal ve uluslararası normlarına göre yapılan mukayesede, ocağa en yakın bulunan Melikgazi bağ evlerine etkili olamayacağı ve yapılarda herhangi bir hasar yaratabilecek seviyelerde olmadığı anlaşılmıştır.
- Birçok araştırmacı tarafından patlatma işleminin izahını yapabilmesi açısından kabul gören maksimum parçacık hızı (PPV) ile Ölçekli Mesafe (SD) ilişkisi iki farklı delikler arası yüzey gecikmesi (17 ms ve 25 ms) sonucu yapılan değerlendirmede farklılıklar tespit edilmiştir. Yüzey gecikmesinin patlatma işlemine olan etkisi atım noktası ile ölçüm noktası arasındaki mesafenin yakın olduğu durumda etkili olduğu ve mesafenin artması ile etkisinin azaldığı ve daha çok kayaç yapısı ve saha jeolojsi ile ilgili olduğu görüşüne varılmıştır.

- İki farklı yüzey gecikmesi için yapılan atımlar incelendiğinde; 17 ms'lik yüzey gecikmesinden elde edilen titreşim genlikleri daha düşük iken titreşim süreleri ise nispeten daha yüksek olduğu için hasar verme potansiyeli açısından daha riskli olduğu anlaşılmıştır.
- Bu çalışma sonunda, ileriki çalışmalara ışık tutmak için, ikiden fazla farklı gecikme sürelerinde ve atım ve ölçüm noktaları arasındaki mesafenin de daha yakın ve sayısını artırmak gerektiği ortaya çıkmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Fonu'nun desteklediği 19005 Üniversite-Sektör İşbirliği kapsamında bir araştırma projesi (Proje No: MU19005.15.01) ile yapılmıştır. Ayrıca, Bu araştırma sırasında, gerek arazi çalışmalarında gerekse diğer faaliyetlerde her türlü yardımda bulunan Çorum Votorantim Çimento Fabrikası yetkililerine ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Ambraseys N.R., Hendron A.J. 1968. Dynamic Behavior of Rock Masses. In: *Rock Mechanics in Engineering Practice*, Stagg, K.G. and O.C. Zeinkiewicz. Wiley, London, pp: 203-227.

Bilgin H.A., Esen S., Kılıç M. 1998. *TKİ Çan Linyit İşletmesinde Patlatmaların Yol Açtığı Çevre Sorunlarının Giderilmesi İçin Araştırma,* Proje kod no: 97-03-05-01-08, ODTÜ, Ankara.

Bilgin H.A., Esen S., Kılıç M. 1999. Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Binalar Üzerindeki Etkisi ve Büyütme Faktörünün Önemi*, Türkiye 16. Madencilik Kongresi*, Ankara, 25-32.

Birch W.J., Chaffer R. 1983. Prediction of ground vibrations from blasting on opencast sites. *Trans. Inst. Min. Metallurgy*, 4: 103-107.

Bohloli, B. 1997. Effect of the geological parameters on rock blasting using the Hopkinson Split Bar, *Int. J. Rock. Min. Sci.* 34(3-4): pn:032.

Cook, N.G.W. 1992. Natural joints in rock: mechanical, hydraulic and seismic behaviour and properties under normal stress. *Int. J. Rock. Min. Sci. Geomech.* 29**,** 198–223.

ÇSB, 2010. *Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği*. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

Deniz V., Deniz O.T. 2015a. Çorum çimento taş ocağında yapılan patlatmaların çevresel etkiler açısından değerlendirilmesi, *5. Madencilik ve Sempozyumu*, 144-158, Antalya.

Deniz V., Deniz O.T. 2015b. Çorum Belediyesinin taş ocağında patlatma kaynaklı titreşimlerin yönsel açıdan değerlendirilmesi, *5. Madencilik ve Sempozyumu*, 159-174, Antalya.

Deniz V. 2016a. Çorum Belediyesinin taş ocağında elektronik ve elektriksiz patlatma sistemlerinin hava şoku ve yer sarsıntısı açısından karşılaştırması, *8. Uluslararası Kırmataş Sempozyumu*, 186-194, Kütahya.

Deniz V. 2016b. Geleneksel ve elektronik ateşleme sistemlerinin karşılaştırması, *8. Uluslararası Kırmataş Sempozyumu*, 195-207, Kütahya.

DIN 4150, 1999. *Structural vibration in buildings. Part 3: Effects on structures*, Deutsches Institut fuer Normung, Berlin, Germany.

Dowding C.H. 1985. *Blast Vibration Monitoring and Control*, Prentice-Hall, USA.

Duvall W.I., Fogleson D.E. 1962. *Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibration"*, USBM-I 5968.

Howkins L.V. 1961. The reciprocal method of routine shallow seismic refraction investigations, *Geophysics*, 26, 809-819.

Jimeno C.L., Jimeno, E.L., Carcendo, F.J.A., 1995. *Drilling and Blasting of Rocks*, AABalkema, Rotterdam, Brookfield.

Kahriman A. 1995. Kahriman, A. "Sivas Ulaş Yöresi Sölestit Cevheri ve Yankayaçları İçin Optimum Patlatma Koşullarının Araştırılması ve Kayaç Özellikleri İle İlişkilendirilmesi." *Doktora Tezi* , Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.

Kahriman A., Karadoğan A.K., Görgün S., Tuncer G. 1999. Taşocaklarında patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntısının ölçülmesi ve analizi, *2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, 129-142, İstanbul.

Kahriman A., Karadoğan A.K., Görgün S., Tuncer G., 2001. Açık ocak basamak patlatmalarından kaynaklanan yer sarsıntısı hızının tahmini: Çan linyit isletmesinde örnek bir çalısma, *Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi-TUMAKS 2001*, 29-37, Ankara.

Karakuş D. 2010. Patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin yönsel değişiminin araştırılması, *Mühendislik Bilimler Dergisi*, DEÜ Mühendislik Fakültesi, 12(2), 30-43.

Langefors U., Kihlstrom B.1973. *The Modern Technique of Rock Blasting*. 2nd Ed., Wiley Publisher, New York,USA, pp: 405.

Mingsheng Z., Jianhua Z., Changping Y. 2011. Time–frequency characteristics of blasting vibration signals measured in milliseconds, *Mining Science and Technology* (China), 21: 349–352.

OSM, 1983. OSM Bulletin.

Shi X.Z., Chen SH.R. 2011. Delay time optimization in blasting operations for mitigating the vibration-effects on final pit walls' stability, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31: 1154–1158.

Siskind D.E., Stagg M.S., Kopp J.W., Dowding C.H., 1980. Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting", RI 8507, *Bureu of Mines Report of Investigations*, USA.

USBM RI 8507, 2009. *Structure response and damage produced by groundvibration from surface mine blasting*, Report No. RI 8507, Washington, USA.

Uyar Aldaş, G.G., Bilgin, H.A., 2004. Effect of some rock mass properties on blasting-induced ground vibration wave characteristics*, CIM Bulletin*, 97, 52-59.

ÇORUM ÇİMENTO TAŞ OCAĞINDAKİ PATLATMALARDA ORTAYA ÇIKAN HAVA ŞOKU'NUN ÇEVRESEL ETKİLERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

THE EVALUATION OF ENVIRONMENTAL IMPACTS OF AIR SHOCK GENERATED BY BLASTING IN CORUM CEMENT'S QUARRY

Vedat DENİZ[1*], Orçun Tugay DENİZ[2]

[1]Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çorum, Türkiye

[2]Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

*:Sorumlu Yazar: vedatdeniz@hitit.edu.tr

ÖZET: Bu çalışmada, Çorum Votorantim Çimento fabrikasının kalker ocağında patlatma çalışmalarından kaynaklanan hava şoku, işletmenin yakınında bulunan şantiye binalarına ve daha uzakta olan konutlara bir zarar verip vermeyeceği araştırılmıştır. Saha çalışması kapsamında 18 adet patlatmanın 25 farklı hava şoku ölçümü değişik mesafelerden alınarak sahanın ölçekli mesafe-hava şoku ilişkisi araştırılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, ölçekli mesafeler ve hava şoku arasında 0.82 üzerinde oldukça iyi bir korelasyona sahip bir ilişki elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Patlatma, Çevresel etki, Hava şoku

ABSTRACT: *In this study, the possibility of damage creating of air shock in near the residential areas have been investigated due to blasting operations in quarry belongs to Çorum Votorantim Cement Plant. The method of study is to perform in-situ air shock measurements in order to investigate the blast induced air shocks. 18 different blasts were organized in separate parts of the quarry and air shocks values were taken as 25 different events from various distances. The recorded air shocks and scaled distances were subjected to statistical analysis, and an equation is obtained with a good correlation with up 0.82.*

Keywords: *Blasting, Environmental effect, Air shock*

1. GİRİŞ

Çimento ve taş ocaklarını, son yıllarda işletme verimliliği kadar düşündüren bir başka konu da çalışma şartlarından kaynaklanan çevresel sorunlardır. Özellikle şehirleşmenin artmasıyla, yerleşim birimleri tarafından taş ocakları çevrelenerek başta yer sarsıntısı ve hava şoku (gürültü) olmak üzere taş fırlaması, toz oluşumu, yeraltı su kaynaklarının kaybolması, nakliye araçların yerleşim yerlerine verdiği rahatsızlık ve taş ocağının çevreye verdiği görüntü kirliliği gibi çeşitli şikâyetlere maruz kalmaktadırlar. Patlatma işlemlerinde patlayıcı madde türü ve miktarı ile ocak patlatma paterni verimlilik açısından önemli unsur olurken, ateşleme sistemleri, özellikle hava şoku ve yer sarsıntısı gibi çevresel etkileri ve emniyet açısından daha önemli unsur haline gelmektedir. Yanlış patlatma uygulamalarından dolayı birçok ocak çevresindeki halk duyarlılaştırılmış ve en ufak bir hav şoku (gürültü) ve sarsıntıdan rahatsızlık duyar hale getirilmiştir (Deniz ve Deniz, 2015a; Deniz ve Deniz, 2015b; Deniz, 2016a).

İyi bir patlatmadan beklenen en önemli unsurlardan biri de patlatmanın çevresel etkiler açısından emniyetli yapılıyor olmasıdır. Bu tür çevresel duyarlılıklar dikkate alındığında, patlatma kaynağından belirli uzaklıkta bulunan bir yerleşim biriminin ya da tesisin; patlatma sonucu oluşacak gürültü ve titreşimden etkilenmemesi bakımından; herhangi bir gecikme aralığında kullanılabilecek en fazla patlayıcı miktarını önceden belirleyebilmek ve kontrollü patlatmalar gerçekleştirebilmektir.

Çevre sakinlerinin, hangi düzeyde hava şokunun konutlara hasar verebileceğini bilmemeleri doğaldır. Bu bilgi eksikliği ve kulaktan dolma varsayımlarla hareket etmeleri yüzünden, algıladıkları hava şoklarının hasar vereceğine inanmakta ve şikâyetçi olmaktadırlar. Bir kısım kötü niyetli kişiler ise işletmeden değişik menfaatler sağlamak için, aslında taş ocağı çalışmalarından etkilenmedikleri halde şikâyetçi olmaktadırlar (Uyar ve ark., 1999; Deniz ve Deniz, 2015a).

Şikâyetlerin bir kısmının da gerçek ve hasara bağlı şikâyetler olabileceği göz ardı edilmemelidir. Yer sarsıntısı ve hava şoklarından kaynaklanan hasarları gidermek veya tazminat ödemek, ocak işletmecisine daha yüksek maliyetler getirir. Durum böyle olunca, şikâyetlerin haklı olup olmadığının araştırılması hem çevrede bulunan yerleşim yerlerinin korunması, hem de ocak işletme sahiplerinin olabildiğince ekonomik çalışmasının sağlanması için gereklidir. Bunun yolu da yerinde yapılan mühendislik

ölçümler sonucu uygun yöntemleri uygulamaktır (Dowding, 1985; Erkoç, 1998; Uyar ve ark., 1999; Deniz, 2016a).

Bu çalışmada, Türkiye'de madencilik sektöründe ve özellikle taş ocaklarında patlatmalarda çok kullanılan elektriksiz (Non-El) kapsüllerin patlama işleminde önemli çevresel faktörlerden olan hava şoku değerleri açısından uygulamalı bir değerlendirme yapılmıştır.

1.2 Patlatmadan Kaynaklı Çevresel Faktörler

Taş ocaklarında kırmataş üretimi için yapılan patlatmalar, getirdiği ekonomik kazanımlar nedeniyle vazgeçilmezdir. Bununla beraber, patlatmalar sonucu oluşan taş fırlaması, toz oluşumu, yer sarsıntıları ve hava şokları ocak çevresindeki yerleşimler için önemli sorunlar oluşturmaktadır. Bu sorunlar arasında özellikle yer sarsıntıları ve hava şokları öne çıkmaktadır. İsletmeler, patlatmaların yarattığı bu olumsuz etkileri en az düzeyde tutabilmek ve çevreye zarar vermemek için gerekli ölçüm ve değerlendirme çalışmalarını yapmak ya da yaptırmak zorundadırlar (Deniz ve Deniz, 2015b).

Patlatma kaynaklı yer sarsıntıların çevre yerleşim yerlerine olan etkilerinin belirlenmesi ve minimize edilmesinde alışıla gelmiş yöntem, sismografla en yüksek parçacık hızlarının belirlenmesi, patlatma ile ölçüm alınan yer arasındaki güzergah için arazi katsayılarının saptanması, sarsıntının yayılma kuralını belirleyen ölçümlerden sağlanan formülün bulunması ve bu formül kullanılarak yapılan patlatmalar için mesafeye bağlı olarak bir seferde güvenle ateşlenebilecek en yüksek patlayıcı madde miktarlarının saptanmasıdır (Siskind ve ark., 1980; Anderson ve ark., 1982; Dowding, 1985).

Hava şoku patlatma ile oluşan ve istenmeyen etkilerden biridir. Hava şoku ender olarak binalarda hasara yol açsa da yarattığı ani ve güçlü gürültü sebebiyle yakınında bulunan yerleşim yerlerindeki kişiler için şikâyet kaynağıdır. Patlatma ile oluşan hava şoku düzeyleri desibel (dB) cinsinden ifade edilmekte ve sahip olduğu büyüklük oranında hasar yaratmaktadır (Deniz, 2016a).

Hava şoku patlatmadan kaynaklanan, havada yayılan basınç dalgalarıdır. Havanın makaslama direnci olmadığı için sadece basınç dalgaları taşınır. Hava şoku dalgaları genellikle yer sarsıntılarına göre 5-20 kat daha yavaş yayılır ve patlatma yerinden uzaklaştıkça sönümlenir. Hava şoku üzerine yapılan araştırmalarda,

incelenmesi gereken en önemli parametreler gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarı ve ölçüm istasyonuna olan uzaklıktır. Bir taşocağında veya çevresinde patlatmadan kaynaklanan hava şoku; ateşlenen patlayıcı miktarı, patlatma yeri ile ölçüm yeri arasındaki uzaklık ve hava şartları gibi pek çok unsura bağlı olarak değişebilir. Bu sebeple herhangi bir taşocağı veya çevresinde gürültü durumunun değerlendirilmesi ve belirlenmesi gereklidir (Bilgikoçin ve Bilgin, 2007).

Literatür de birçok araştırmacının yapmış olduğu gibi, elektronik kapsüllerin hem yer sarsıntısı hem de hava şoku değerleri açısından çok daha avantajlı olduğu ortaya çıkmıştır (Deniz, 2016a; Deniz, 2016 b).

Deniz (2016a)'in yaptığı çalışmada, çevre yerleşim yerlerinde gürültü şikâyetini azaltacağı düşük şok değerleri ile elektronik ateşleme sistemi elektriksiz ateşlemeye oranla çok daha az hava şoku üretilebileceğini ortaya koymuştur. Elektronik patlama işlemleri esnasında, yerleşim yerlerinde önceden rahatsızlık bildiren kişilerin algı düzeyleri araştırılmış ve hiç bir şey hissetmedikleri ve kırıcı takılarak büyük blokları kırmak için çalışma yapılan günlerde kırıcı gürültüsünün elektronik patlatmaya göre ocakta çalışanların algısı açısından daha çok rahatsız ettiği belirtilmiştir. Bu sayede, Elektronik Kapsüller ile daha fazla delik patlatılmasına ve toplamda daha fazla ANFO (ana şarj) kullanılmasına rağmen, maksimum parçacık hızlarında (mm/sn) ve hava şoklarında (dB) ciddi düşüşler sağlandığı belirtilmiştir.

2. ÇALIŞMA SAHASI

Çalışma sahası olan Çorum Votarantim Çimento Fabrikasının kalker sahası, Çorum ili şehir merkezinin 5 km güneydoğusunda yer almakta olup deniz seviyesinden 1100 m yüksekliktedir (Şekil 1). Çorum-Samsun Yolunun 1500 m güneyinde, Çimento fabrikasının 2100 m güneydoğusunda, Çorum Merkez Bahçelievler Mahallesinin 2500 m ve Melikgazi bağlarının 1100 m doğusunda, Afet konutlarının 1400 m kuzeydoğusunda, Melikgazi Türbesinin 780 m ve Belediye Taşocağı şantiye binalarına ise 500 m doğusunda bulunmaktadır.

3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Bu araştırma kapsamında, Çorum ili Merkez ilçesinin yakınında Çorum Votorantim Çimento Fabrikasına ait kalker sahasında gerçekleştirilen patlatmaların, söz konusu

ocağın yakınında bulunan ve Şekil 2'de gösterilen Çorum Belediyesi taş ocağı şantiye binalarında (Şantiye, Kantar ve Trafo v.b.) ve gözüken daha uzakta bulunan Melikgazi bağ evlerinde gürültü (hava şoku) ve hasarlara neden olabilecek seviyelerde olup olamayacağı konusunda değerlendirme yapılmasını içermektedir.

Şekil 1. Çalışma alanı uydu görüntüsü

Şekil 2. Çalışma sahasına yakın yerleşim alanlarının ve Çorum Belediyesi şantiye binası ile çalışma sahası taşocağının görüntüsü

Çalışma sahasında Şekil 3'de görüldüğü üzere 7 kademe bulunmakta ve genelde 3., 4. ve 5. kademelerde patlatma yapılmaktadır. Ocakta her bir kademe yüksekliği hemen hemen eşit ve 10 m olarak düzenlenmiştir. Patlatma çalışmasında, delme işlemi Şekil 3'de görüldüğü üzere Frukowa marka delici makinesiyle yapılmıştır.

Ocakta yapılan patlatma işleminde patlayıcı madde olarak ANFO, yemleme de EMULITE dinamit kullanılmıştır. Ateşleme ise elektriksiz gecikmeli kapsüller ile yapılmıştır. Delikler arası mesafe ve yük mesafesi 2.5x2.5m olarak ve delikler şeşbeş düzende delinmiştir. Sıkılama boyu 2.5m olarak ve dip delgi miktarı 1m olarak uygulanmıştır. Gecikme başına maksimum şarjın belirlenmesinde; yemlemede kullanılan dinamitin ağırlığı (0.5 kg) ve ANFO göz önüne alınmış olup, atım yeri ile

ölçüm istasyonu arasındaki mesafe ise GPS ile bulunmuştur. Patlatma kaynaklı oluşan hava şoku ölçümü için 1 adet Instantel Micromate model sismometre ve 2 adet Instantel Minimate-Blaster model sismometre aletleri kullanılmıştır (Şekil 4). Elde edilen veriler bilgisayar programlarıyla değerlendirilip, büro çalışmalarıyla raporlandırılmıştır.

Şekil 3. Çorum Votorantim Kalker sahasındaki kademlerin görünümü ve Frukowa delici makinanın delikleri delme işlemi

Şekil 4. Instantel Minimate Blaster model ve Instantel Micromate model titreşim (yer sarsıntısı) ve hava şok ölçüm cihazları

3.1. Hava Şoku (Gürültü) Kaynaklı Çevresel Etkiler

Patlatma uygulamalarında, yüksek hava şoku basıncı veya ani gürültü olarak adlandırılan havada ilerleyen enerji dalgaları oluşur. Bir açık işletmede veya çevresinde patlatmadan kaynaklanan hava şoku; ateşlenen patlayıcı miktarı, patlatma yeri ile ölçüm yeri arasındaki uzaklık ve hava şartları gibi pek çok unsura bağlı olarak değişebilir. Bu sebeple herhangi bir açık işletmede veya çevresinde gürültü durumunun değerlendirilmesi ve belirlenmesi gereklidir.

Hava şoku patlatma ile oluşan istenmeyen etkilerden biridir. Hava şoku ender olarak binalarda hasara yol açsa da yarattığı ani ve güçlü gürültü sebebiyle yakın yerleşimlerdeki insanlar için şikâyet kaynağıdır. Patlatma ile oluşan hava şoku düzeyleri desibel (dB) cinsinden ifade edilmekte ve sahip olduğu büyüklük oranında hasar

yaratmaktadır. Patlayıcı madde atımları sırasında ölçüm istasyonunda 145 dB'den yüksek değerlerde ses'ten rahatsız olma, pencere camı kırılmaları ve binalarda hasar meydana gelebilmektedir (Kahriman ve diğ., 2015).

Ülkemiz Gürültü Yönetmeliğinde patlatma kaynaklı hava şoku değerlendirmesi için herhangi bir sınır değer bulunmamakla birlikte, hasar oluşması için her türlü darbe gürültü üst seviyesi olarak 140 dB (A) aşamayacağını hükmeder. Türkiye gürültü yönetmeliğinde patlatmadan kaynaklanan hava şoku için bir sınır değer verilmediğinden bu araştırmada ABD gürültü yönetmeliğindeki hava şoku için belirlenmiş olan 133 dB (C) sınır değeri kullanılmıştır.

Hava şoku patlatmadan kaynaklanan, havada yayılan basınç dalgalarıdır. Havanın makaslama direnci olmadığı için sadece basınç dalgaları taşınır. Hava şoku dalgaları genellikle yer sarsıntılarına göre 5-20 kat daha yavaş yayılır ve patlatma yerinden uzaklaştıkça sönümlenir. Hava şoku araştırmalarında incelenmesi gereken en önemli parametreler gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarı (W) ve ölçüm istasyonuna olan uzaklıktır (R). Ayrıca sıkılamanın derecesi de önemli bir parametredir. Sıkılamanın derecesinin düşmesiyle birlikte oluşan hava şoku seviyesi artmaktadır. Ön kesme delikleri uygulanan patlatma tekniği gereği sıkılamasız patlatıldıkları için olağan olarak yüksek düzeyde hava şoku üretme riski taşımaktadırlar (Bilgikoçin ve Bilgin, 2007).

Hava şoku yayılımı başta rüzgâr hızı ve yönü olmak üzere meteorolojik koşullardan da etkilenmektedir. Rüzgâr hızı, yönü ve ayrıca sıcaklık inversiyonu önemli parametrelerdir (Bilgikoçin ve Bilgin, 2007). Bu sebeple hava şoku yayılımının değerlendirilmesinde meteorolojik koşullar da dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada da rüzgâr etkisi fazla olduğu günlerdeki ölçüm değerleri değerlendirmeye alınmayarak sadece rüzgarsız günlerdeki ölçümler hesaplamalarda dikkate alınmıştır.

Yer sarsıntıları için ölçekli mesafenin belirlenmesinde benzer araştırmalarda en sık kullanılan kareköklü eşitlikten yararlanılmıştır (Duvall ve Fogelson, 1962).

$$SD = R/W^{1/2} \quad (1)$$

Farklı miktarlarda ve farklı mesafelerde patlatılan patlayıcılardan oluşan hava şoku dalgalarının karşılaştırılması için ölçekli mesafe (SD) yöntemi kullanılmaktadır. Hava şoku yayılımında veriler daha az dağılım gösterdiği için genellikle karekök (½) yerine küp kök (⅓) tipi ölçekli mesafe yöntemi tercih edilir (Dowding, 1985). Bu

yöntem eşdeğer ölçekli mesafelerde eşdeğer hava şoku dalgalarının oluştuğunu varsayar (Siskind ve ark., 1980; Dowding, 1985; Ambraseys ve Hendron, 1968).

$$SD = R/W^{1/3} \quad (2)$$

Burada; R: Patlatma noktasına uzaklık (m)

W: Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg)

SD: Ölçekli mesafe (yer sarsıntısı için; $m/kg^{½}$; hava şoku için; $m/kg^{⅓}$)

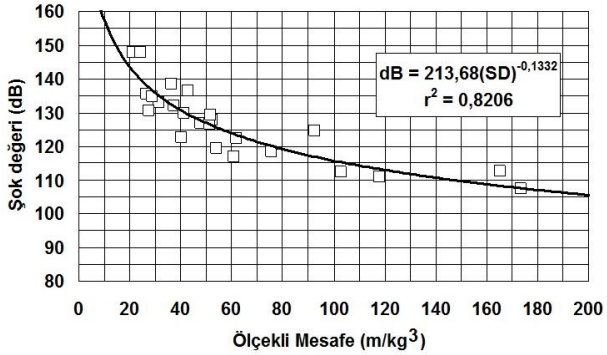
Araştırmada; elektriksiz kapsüllerle 18 adet test atımına ait toplam 25 olay yer sarsıntı ölçer cihazlar tarafından kaydedilmiştir. Hava şoku ölçer cihazlar, Çorum Votorantim çimento taş ocağında yapılan atım noktaları ile farklı yönlerde ve muhtelif uzaklıklarda GPS (Global Positioning System) ile belirlenen ölçüm istasyonlarına Şekil 5'deki gibi sistematik bir şekilde yerleştirilmiştir.

Şekil 5. Patlatma ve Jeofon noktaların GPS ile belirlenmesi

Hava şoku ölçümlerinde, ölçüp kaydedebilen dijital sismograflar olarak yer titreşimi (sarsıntısı) ölçümünde de kullandığımız Instantel Micromate ve Instantel Minimate Blaster model sismograflar kullanılmıştır. Cihazlar asgari 88 dB ve azami 148 dB düzeyinde şok (gürültü) ölçümü yapabilmektedir. Cihazlar tarafından kaydedilen hava şoku kayıtları cihazla birlikte sağlanan yazılımla bilgisayara aktarılmıştır.

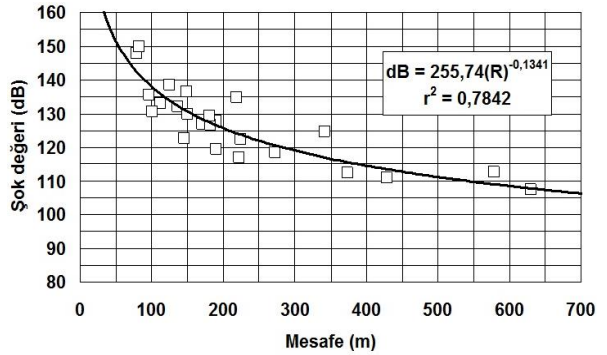
Rüzgârsız günlerde alınan tüm kayıtlar değerlendirildiğinde (Şekil 6); şantiye binaları yönünde kaydedilen hava şoku değerleri 122 dB'in altında olduğundan ABD standardına tümüyle uymaktadır. Bir başka deyişle şantiye binaları yönünde kaydedilen değerlerin tümü hasar oluşması için verilen ABD için sınır değeri olan 133 dB'i aşmamıştır. Ayrıca, Şekil 6'da gösterildiği üzere Türkiye'de anlık hasar sınır değeri olan 140 dB değeri yedi (7) kez aşılmıştır. Bu aşılan kayıtlar incelendiğinde atım noktası ve ölçüm noktası arasında mesafenin çok yakın (79 m ile 256 m'nin arasında) ve ocak içerisinde olduğu ve ilave olarak patarların da patlatıldığı durumlarda tespit

edilmiştir. ABD standardının sınır değerini olan 133 dB'i ise on sekiz (18) kez aşılmış bu ölçüm değerleri de kaydedilen değerlerin atım noktası ve ölçüm noktası arasında mesafenin çok yakın ve ocak içerisinde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6. Elektriksiz kapsüller ile yapılan patlatmaların ölçekli mesafeye bağlı olarak elde edilen hava şoku değerleri ilişkisi

Şekil 7'de ise elde edilen hava şoku değerleri ile doğrudan metre cinsinde uzaklık arasında ilişki incelendiğinde mesafe azaldıkça hava şok değeri de üstel olarak azalmaktadır. Elde edilen kayıtlardan hava şokunun 80 m'den sonra 140 dB'in altında oluştuğu gözlemlenmiş ve 300 m den sonra kesin olarak 119 dB'in altına düştüğü gözlemlenmiştir. 750 m den sonra ise kesin olarak 100 dB'in altına düştüğü belirlenmiştir. 630 metreden sonra kaydedilen 107 dB'lik değer izin verilen sınırların (hem ABD hem de Türkiye'nin belirlediği) içerisinde ve yerleşim birimlerinde rahatsızlığa yol açmayacak düzeydedir.



Şekil 7. Elektriksiz kapsüller ile yapılan patlatmaların mesafeye bağlı olarak elde edilen hava şoku değerleri ilişkisi

Şekil 6 incelendiğinde, birçok araştırmacı tarafından da kabul gördüğü üzere; maksimum parçacık hızı (PPV) ile ölçekli mesafe (SD) arasında küp kök (1/3) ilişkisi bu çalışmada da 0.82'lik iyi bir regresyon katsayısıyla elde edilmiştir. Şekil 7'de ise daha düşük bir ilişki katsayısı (r^2=0.78) olmak la birlikte mesafeye bağlı olarak hava şoku (gürültü) değerlerini dB cinsinden doğrudan tahmin edilebilir olduğu bulunmuştur.

Mevcut ölçümler sonucunda Votorantim Çorum çimento taş ocağındaki patlatmaların 1450 m ila 1600 m uzaklıklarda bulunan Melikgazi bağ evleri ile Afet konutları açısından izin verilen sınırlar içinde olduğu ve bu değerleri geçmesinin mümkün olmayacağı tespit edilmiştir. Ayrıca, Votorantim Çorum çimento taş ocağına 450 m ila 950 m uzaklıkta bulunan Çorum Belediyesi taş ocağı şantiye binaları için de izin verilen sınırlar içinde olacağı bulunmuştur. Kayıtlar yönetmeliklere uygun olduğu halde ileride oluşabilecek sorunlardan tamamen kurtulmak için hava şoku yayılma dinamiği ayrıntılı bir şekilde incelenmelidir. Ayrıca, ileride oluşabilecek herhangi bir sorun riskini azaltmak için sıkılama işleminin daha dikkatli yapılması ve gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarının 50 kg ile sınırlandırılması önerilmiştir.

Patlatma esnasında oluşan hava şoklarının çevreye verdiği hasar çoğunlukla insanlarda psikolojik rahatsızlık olarak ortaya çıkmaktadır. Hava şoku ne kadar düşürülürse algı da o kadar düşürülebilir ve şikâyetler ortadan kaldırılabilir. Müteahhit firmanın işin yürütümünde esas aldığı şartnamede hava soku ile ilgili herhangi bir sınır değer konmamıştır. Aslında, Çorum Votorantim çimento fabrikası tarafından çevre halkının hassasiyetinden dolayı bu değer 125 dB üzerinde çıkmaması istenmelidir. Ayrıca, gürültü ve taş savrulmasını önlemek için sıkılama uzunlukları mutlaka yük mesafesine (dilim kalınlığına) eşit veya ondan büyük uygulanması, hava şoku (gürültü) sorunlarına karşı başarılı olunmasının temel unsurudur.

3.2. Taş Sıçramalarından Kaynaklı Çevresel Etkiler

Açık ocak patlatmaları yapılan yerlerde en hassasiyetle üzerinde durulan konuların başında taş sıçramaları gelmektedir. Özellikle basamak patlatmalarında taş sıçramalarının menzilini hesaplamak çok iyimser bir yaklaşımdır. Çünkü bölgenin jeolojik formasyonundan, delik parametrelerine, sıkılamasına kadar birçok etken taş sıçramalarına neden olmaktadır. Votorantim Çimento Taş ocağına en yakın olan Çorum Belediyesi taş ocağının şantiye binalarına 450-650 m olması sebebiyle taş sıçraması

sonucu oluşabilecek hasar riskini de azaltmakta ve yine taş ocağına en yakın mesafede ki yerleşim yeri olan Melikgazi bağlarına 1400 m olması taş sıçraması sonucu oluşabilecek hasar riskinin olamayacağı tespit edilmiştir. Bu ocak için taş sıçramalarının sadece ocak içerisinde çalışan iş makinelerine zararı olacağı düşünülmektedir.

Yapılan patlatmalarda taş sıçramalarına neden olan belli başlı faktörler;

a) Deliklerin düzgün bir şekilde sıkılama yapılmaması,

b) Patlatma ekibindeki personelin yeterince kalifiye olmaması,

c) Üretim baskısında dolayı işin kısa zaman da bitirilmeye çalışılması.

3.3. Tozdan Kaynaklı Çevresel Etkiler

Votorantim Çorum çimento fabrikasına ait taş ocağında yapılan patlatmaların hiç birinde patlatma öncesi Arazöz'le sulama yapılmadığından her patlatmada toz oluşumu meydan gelmiştir. Sadece, yağmur yağması sonrası yapılan 1 ile 3 adet patlatmada diğer patlamalara göre daha az toz oluşumu meydana gelmiştir. Ocak etrafında ki bazı tarla sahiplerinin mahsullerindeki kurumaları patlatma sonucu oluşan tozdan kaynaklı olduğunu iddia etmişlerdir. Buna rağmen, ocak ile yerleşim yeri arasındaki mesafenin uzak (1400 – 1650 m) olması ve tarlalara ulaşacak tozun mesafeye bağlı olarak seyrelmesi sebebiyle Toz Yönetmeliğin izin verdiği oran olan 450 mg/m^2-gün olan sınır değerin çok altında kalacağı kanaati oluşmuştur. Yapılan şikâyetlerin mesnetsiz olduğunu tespit edilmesi için toz ölçümlerinin de yaptırılması yetkililere önerilmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çorum Votorantim Çimento Fabrikasının kalker sahasında yapılan patlatmalardan kaynaklanan hava şokunun (gürültü) sahaya yakın binalarında hasar yaratmaması ve yaşayanları tedirgin etmemesi amacı ile 24 Temmuz – 1 Aralık 2016 döneminde gerçekleştirilen araştırma ve inceleme çalışmaları sırasında saptanan bulgular aşağıda verilmiştir;

- Taş ocağının değişik yerlerinde 18 adet atım yapılmış ve bu patlatmaların hava şoku ölçümleri işletmeye değişik mesafelerde oluşturulan 25 adet ölçüm istasyonunda kayıt edilmiştir. Bu ölçümler 108 dB ile 148 dB arasında değişen hava şoku değerleri elde edilmiştir.

- Yapılan patlatmalar sırasında hava şoku değerleri (ocak içerisinde ve çok yakın kurulan istasyonlarda ölçülen yedi (7) adet hariç), şantiye binaları yönünde 108-127 dB arasında kaydedilmiştir. Bu değerler, yapılacak patlatmaların seçilen ölçüm istasyonlarına göre 450-600 m'den daha uzakta bulunan çevredeki tesis ve yapılarda herhangi bir hasar yaratmayacağı gibi, cam kırılmaları, sesten rahatsız olma gibi durumlarının da meydana gelmeyeceği anlaşılmıştır.
- Patlatma esnasında taş sıçramaları, her ne kadar ocak ile en yakın yerleşim mesafesi arası 1400 m olması nedeniyle tehlike yaratmasa da ocak içi iş makinelerine ve diğer tesislere zarar vermemesi için olası taş sıçramalarını önlemek için ya sıkılama boyları dikkatlice ayarlanmalı ya da delikler üzerine eskimiş konveyör bantları serilmelidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Fonu'nun desteklediği 19005 Üniversite-Sektör İşbirliği kapsamında bir araştırma projesi (Proje No: MU19005.15.01) ile yapılmıştır. Ayrıca, Bu araştırma sırasında, gerek arazi çalışmalarında gerekse diğer faaliyetlerde her türlü yardımda bulunan Çorum Votorantim Çimento Fabrikası yetkililerine ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Anderson, D.A. Winzer, S.R., Ritter, A.P. 1982. Blast design for optimizing fragmentation while controlling frequency of ground vibration. *Proceedings of the 8th Conference on Explosives and Blasting Technique*, 69–89, New Orleans, USA.

Bilgikoçin O., Bilgin H.A. 2007. Uşak Kışladağ altın madeninde ön-kesme patlatmasından kaynaklanan hava şoku basıncı analizi, *V. Delme Patlatma Sempozyumu*, 189-196, Ankara.

Deniz V., Deniz O.T. 2015a. Çorum çimento taş ocağında yapılan patlatmaların çevresel etkiler açısından değerlendirilmesi, *5. Madencilik ve Sempozyumu*, 144-158, Antalya.

Deniz V., Deniz O.T. 2015b. Çorum Belediyesinin taş ocağında patlatma kaynaklı titreşimlerin yönsel açıdan değerlendirilmesi, *5. Madencilik ve Sempozyumu*, 159-174, Antalya.

Deniz V. 2016a. Çorum Belediyesinin taş ocağında elektronik ve elektriksiz patlatma sistemlerinin hava şoku ve yer sarsıntısı açısından karşılaştırması, *8. Uluslararası Kırmataş Sempozyumu*, 186-194, Kütahya.

Deniz V. 2016b. Geleneksel ve elektronik ateşleme sistemlerinin karşılaştırması, *8. Uluslararası Kırmataş Sempozyumu*, 195-207, Kütahya.

Dowding C.H. 1985. *Blast Vibration Monitoring and Control*, Prentice-Hall, USA.

Duvall W.I., Fogleson, D.E. 1962. *Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibration"*, USBM-I 5968.

Erkoç, Ö.Y. 1998. Patlama ile çevreye verilen sarsıntılar ve hasar kriteri üzerine bir araştırma, *3. Delme-Patlama Sempozyumu*, 129-139, Ankara.

Kahriman A., Çeltikçi A., Bağdatlı S., Ocak İ., Özdemir A., Sefer İ., Sağlam R. 2015. Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Odayeri-Paşaköy (3. Boğaz Köprüsü Dahil) Kesimi" Ömerli Köyü kalker ocağında yapılan açık ocak patlatmalarının çevresel hasar riski açısından analizi, *8. Delme Patlatma Sempozyumu*, 277-284, İstanbul.

Siskind D.E., Stagg M.S., Kopp J.W., Dowding C.H., 1980. Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting", RI 8507, *Bureu of Mines Report of Investigations*, USA.

Uyar G.G., Erkoç Ö.Y., İpek T. 1999. Patlatmalar sonucu çevreye verilen sarsıntılar üzerinde bir yorum, *2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, 255-260, İstanbul.

MUĞLA YATAĞAN'DA MADENCİLİK VE MADENCİLİKLE İLİNTİLİ ÇEVRE SORUNLARI

MINING ACTIVITIES AND MINING-RELATED ENVIRONMENTAL ISSUES IN MUGLA YATAGAN REGION

Osman Zeki HEKİMOĞLU[1]*, Kübra KOÇ[2]

1: Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Muğla, TÜRKİYE

2: DSİ 21. Bölge Müdürlüğü, Muğla, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar: ozhekimoglu@mu.edu.tr

ÖZET: Muğla ilinde başta mermer ve kömür üretimi olmak üzere önemli madencilik faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Mermer işleme tesislerinde elde edilen mermer artıkları ve termik santrallerde ortaya çıkan santral külü, cürufu ve yapay jips gibi malzemeler yakın bir gelecekte madencilikle ilintili çevre sorunları oluşturabilecek potansiyele sahiptirler. Oluşabilecek çevre sorunlarının olumsuz etkilerini en aza indirmek için mermer fabrika artıkları ve termik santralde ortaya çıkan atık malzemelerin değişik amaçlar için kullanılabilmeleri çok yararlı olacaktır. Ayrıca Yatağan yöresinde yaklaşık 240 milyon tonluk kömür rezzervinin uygun yeraltı yöntemleriyle kazanılması gerekmektedir. Bu bildiride, Yatağan yöresinde madencilikten kaynaklanan atık malzemelerin yakın gelecekte kömür üretimi için uygulanması gerekli olan yeraltı işletme yönteminde dolgu malzemesi ve diğer endüstriyel alanlarda ise olası ham madde olarak kullanımı tartışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Maden atığı, Reklamasyon, Çevresel konular, Doğal taş.

ABSTRACT: *Considerable numbers of mining activities mainly in the form of marble and coal have been carried out in Mugla region. Leftovers from marble processing plants, together with wastes such as ashes, slugs and artificial gypsums emerging from coal-fired power plants pose potential mining-related environmental problems in a near future. Utilization of marble left-overs along with power plant wastes for a variety of purposes would prove to be very useful to minimize the drawbacks arising from environmental problems. Moreover, around 240 million ton coal deposits in Yatagan region are required to be extracted through appropriate underground mining methods.*

This paper discusses possible uses of mining-related wastes as backfill material for future underground coal mining that is bound to take place in this region in a near future, as well as utilizing them in other branches of industry.

Keywords: *Mining waste, Reclamation, Environmental issues, Natural stones*

1. GİRİŞ

Muğla İli Türkiye'nin güneybatısında yer almaktadır (Şekil 1). Başta mermer, kömür ve krom olmak üzere önemli maden yataklarına sahip konumdadır. Ayrıca değişik oranlarda manganez, feldispat ve çimento hammaddeleri vardır. Yörede en yoğun madencilik başlıca mermer ve kömür üzerinde yapılmaktadır. Milas ve Yatağan İlçelerinde yer alan kömür yatakları, bu ilçelerde bulunan ve toplam kurulu gücü 1700 MW olan termik santralları beslemektedir. Kömür madenciliğinin yanı sıra, Türkiye'deki mermer üretiminin yaklaşık % 20'si de Muğla'da gerçekleştirilmekte olup, Muğla ve ilçelerinde 100 civarında mermer ocağı ve yaklaşık 70'den fazla mermer işleme tesisleri bulunmaktadır. Bu mermer ocakları ve işleme tesisleri en çok Kavaklıdere ve Yatağan ilçelerinde yoğunlaşmıştır (Tuğrul, 2017).

Şekil 1. Muğla ilinin Türkiye'deki konumu

Muğla'daki mermer ocaklarının büyük bölümünde blok çıkarma verimi genel olarak %10 civarındadır. Blok olarak üretilemeyen mermerler türüne göre kalsit olarak değerlendirilmekte ya da uygun büyüklük ve desenlerde olanlarından ikincil bir kesme işlemiyle plaka elde edilmektedir. Mermer işleme tesislerinde kesme işlemi sonucunda

geriye kalan parça ve toz halindeki malzemelerin başka amaçlar için kullanılma olanağı vardır. Bunun için bu malzemelerin, atık olarak değilde artık (left-over) olarak söz edilmesi daha uygun görülmüştür. Bunlar çamur olarak adlandırılan şlam ve paledyen olarak bilinen değişken boyutlardaki parçalar halindedir. Ocak üretimi sırasında elde edilen ancak ticari değeri olmayan mermerlerin, ocakta oluşan boşluklara geriye dökülerek doğaya yeniden kazandırma olanağı her zaman bulunmaktadır. Bunun yanı sıra mermer ocağının hemen yakınında kurulan mermer işleme tesislerinden çıkan artıkların da sonradan ocak içersine dökülerek elden çıkarılma şansı bulunmaktadır. Ancak mermer ocaklarından uzakta ve toplu halde bulunan mermer işleme tesislerinin artıkları için böyle bir olanak bulunmadığından bu tür tesisler için çevresel etki açısından önemli bir sorun bulunmaktadır.

Muğla Yöresindeki termik santrallerden atık olarak olarak kül, cüruf ve yapay jips'ler ortaya çıkmaktadır. Bu malzemeler normal koşullarda değişik amaçlar için kullanılarak değerlendirilmektedir. Muğla'daki kömür ocakları bugüne değin açık ocak yöntemiyle işletilmektedir. Ancak Yatağan'daki kömür ocakları ekonomik sınırlarına yaklaştığından yaklaşık beş yıl sonra burada kömürlerin yearaltı yöntemleriyle işletilmesi gerekmektedir. Bu konuda gerekli olan ön çalışmalar şimdiden başlatılmış olup ayrıntılı sürece girilmiştir. Yatağan'daki kömür damarlarının kalınlığı 12 metreye kadar çıktığından ötürü burada kalın damar madenciliği söz konusu olacaktır (Şekil 2). Bilindiği gibi kalın damarlı kömür yataklarının yeraltı yöntemiyle işletilmesi her zaman kolay olmamaktadır. Burada yapılan ön araştırmalar, kömürün tavan ve tabanını oluşturan kayaçların çok düşük dayanımda olduğunu göstermiştir. Bu durum, tam mekanize uzun ayak madenciliğinin burada verimli olarak uygulanabilmesinde bazı olumsuzluklar yaratmaktadır. Yatağan'da yeraltı madencilik yöntemleriyle kazanılması gereken yaklaşık olarak 240 milyon ton işletilebilir kömür rezervi bulunmaktadır (Akın, 2017). Türkiye'nin önemli bir enerji girdisini sağlayan buradaki termik santrallerin üretimlerini sürdürebilmeleri için bu kömür rezervlerinin en etkin ve verimli yeraltı işletme yöntemleriyle mutlaka değerlendirilmesi gereklidir.

Bu bildiride, Muğla İlinde önemli bir yeri bulunan mermer ve kömür madenciliği ve bunlarla ilintili olan çevre sorunları anlatılmaktadır. İl sınırları içersinde miktarı gittikçe artan mermer fabrika artıklarının ve termik santrallerde oluşan kül ve

benzeri malzemelerin özellikle civardaki kömür madenciliği açısından nasıl değerlendirilmesi konusunda öneriler sunulmakta ve tartışılmaktadır.

Şekil 2. Yatağan açık ocak işletmesinde gözlenen kömür kesiti

2. MUĞLA İLİNDEKİ MERMER VE KÖMÜR MADENCİLİĞİNİN İRDELENMESİ

2.1 Mermer Madenciliği

Muğla İlindeki mermer madenciliği yoğun olarak Milas-Yatağan-Kavaklıdere İlçelerinden geçen doğrultu üzerinde yoğunlaşmaktadır. Üretim yapılan ocak sayısı 100 civarında olup bu ocaklardaki blok verimi ortalama olarak % 10'u geçmemektedir. Ocaktaki mermer artıkları bilinen yöntemlerle ikincil bir değerlendirme sürecinden geçsede yine de yeterli olmamaktadır. Ocakta üretilen mermerlerin atıl durumda bulunan % 90 gibi oranının işletme sonrası açılan alanlara yeniden dökülerek çevre sorunlarının önüne geçme olanağı her zaman bulunmaktadır. Ancak doğadan koparılıp hazır parçalar haline gelmiş olan bu artıkların başka amaçlar için de kullanılmasına yönelik uygulamaların yaşama geçirilmesi çok yararlı olacaktır.

Mermer işleme fabrikalarının büyük çoğunluğu maliyeti düşürmek için normal olarak ocakların hemen yakınında kurulmuştur. Ancak Bayır Belde'sinde ocaklardan uzak olan ve kümelenmiş konumda bulunan değişik ölçekli 25 adet civarında mermer işleme tesisleri bulunmaktadır. Bu tesislerden çamur (şlam) ve paledyen (değişik boyutta mermer parçaları) olarak adlandırılan mermer artıkları ortaya çıkmaktadır. Bayır'da kurulu mermer işleme tesislerinde günde yaklaşık 1600 ton civarında çamur ve paledyen ortaya çıkmaktadır (TUĞRUL, 2017; YUCA, 2017). Bunlar şu anda etkin olarak değerlendirilemediklerinden ötürü atılmaktadırlar. Bu atıkların elden çıkarılması

bugüne değin her işletmecinin kendi olanakları içersinde yapılmaktaydı (Şekil 3). Ancak bunların gelecekte sorun oluşturmaması için Muğla Büyükşehir Belediyesince Bayır'da, bu tesislere yaklaşık 5 km uzaklıkta bir döküm alanı sağlanmıştır. Fabrika artıkları işletmeci tarafından kamyonlarla bu alana taşınarak dökülmektedir (Şekil 4). Bu durum doğal olarak işletmeciye ek bir maliyete neden olmaktadır.

Şekil 3. Mermer işleme tesisinde paledyen yığını (ENTAŞ Mermer)

Şekil 4. Şlam ve paledyen artıklarının döküldüğü atık alanı

Muğla İlindeki mermer madenciliği çevresel ilişkiler açısından genel anlamda aşağıdaki gibi bir değerlendirilebilir:

- Muğla mermerleri genelde beyaz renkli olmaları nedeniyle artıklarının kalsit olarak değerlendirilme olanağı bulunmaktadır. Mermer ocaklarından elde edilen artıkların yanısıra, fabrikalardan çıkan paledyenler'de bu amaçla kullanılabilir. Özellikle ocak artıklarının belli bir düzeyde bu amaçla kullanıldığı görülmektedir (ERCAN, 2017). Ancak yörede bu konuda büyük ölçekli bir üretim ve pazarlama henüz gelişmemiştir.

Bu konu, ayrıntılı olarak araştırılıp olası çözümler oluşturulursa, ocak ve fabrika artıklarının değerlendirilmesinde yöre için değişik bir yan sektör elde edilecektir.

- Mermerlerin ayni zamanda çimento üretiminde hammadde olarak kullanabilme özellikleri bulunmaktadır. Çimento endüstrisi için gerekli olan kireçtaşı genel olarak taş ocaklarından delme patlatma yöntemiyle elde edilmektedir. Bu durum doğal olarak çevresel sorunlara da neden olmaktadır. Yöredeki mermer artıkları doğadan mekanik kazı ile çıkarılmış kimi boyutlardaki hazır parçalar halindedir. Bu amaçla değerlendirilirse, çimento hammaddesi için büyük kapasiteli ocakların açılması ve buna eşlik eden yoğun delme patlatma işlemleri önemli oranda azalacaktır.
- Yatağan Termik Santralinde baca gazlarındaki kükürt'ün arıtılması işleminde kireçtaşı kullanılmaktadır. Bu iş için gerekli kireçtaşları daha önce taş ocaklarından sağlanmaktaydı. Ancak bu malzemlerin son zamanlarda santral yakınındaki mermer ocaklarından sağlandığı görülmektedir. Bu işlemin yaygınlaştırılarak sistematik bir yönteme dönüşmesi sağlanmalıdır. Ayrıca mermer işleme tesislerinde ortaya çıkan ve öğütülmüş boyuta yaklaşmış olan çamur'ların (şlam) susuzlandırılarak bu amaç için kullanımının ayrıntılı olarak araştırılması çok yararlı olacaktır.
- Mermer ocaklarından uzak ve dağınık olarak bulunan mermer işleme tesislerini bu iş için entegre edilmiş bir yerde toplayarak daha düzenli hale getirilmesi daha verimli olacaktır. Bu tesislerden çıkan artıkların mutlaka etkin bir şekilde değerlendirme yoluna gidilmelidir.

2.2 Kömür Madenciliği

Muğla İlindeki kömür havzalarında ilk çalışmalar 1979 yılında Yatağan Eskihisar'da başlamıştır. 1983 yılına dek Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) Kurumu Ege Linyitleri İşletmesi Müessesesine bağlı olarak Yatağan Bölge Müdürlüğü kurulmuştur. 1984 yılında Merkezi Muğla'da bulunan Güney Ege Linyitleri İşletmesi (GELİ) Müessesesi Müdürlüğü'ne bağlı olarak, Yatağan, Tınaz-Bağyaka Bölge Müdürlüğü ve Milas-Sekköy Bölge Müdürlüğü oluşturulmuştur. 1995 yılında Müessese Müdürlüğü kapatılarak bunun yerine, Yeniköy Linyitleri İşletmesi Bölge Müdürlüğü (YLİ) ile Güney Ege Linyitleri İşletmesi Bölge Müdürlüğü' (GELİ) oluşturulmuştur. Daha sonra merkezi Yatağan'da bulunan Güney Ege Linyitleri İşletmesi Müessesesi Müdürlüğü yeniden oluşturulmuş ve Yeniköy Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü de buraya

bağlanmıştır. 1 Aralık 2014 Yatağan Termik Santrali ve Güney Ege Linyitleri İşletmesi Bereket Enerji (Elsan Elektrik) firması altında kurulan Yatağan Termik Enerji Üretim A.Ş.'ye devredilerek özelleştirilmiştir. Daha sonrada Milas Bölgesindeki kömür ocakları ve termik santralleri'de özelleştirilmiştir (TKİ Arşivi, 2017).

Yatağan'daki kömür ocaklarında açık ocak yöntemiyle üretim yapılmaktadır. Üretim sonucu bozulan doğal ortamın yeniden kazanılması için 1991 yılından beri burada yoğun reklamasyon çalışmalarına başlanmıştır. Yatağan Bölgesindeki Eskihisar ve Tınaz açık ocak alanlarında bugüne değin toplam 527,10 Hektarlık alanda ağaçlandırma yapılmıştır. Buna karşı gelen ağaç dikimi ise 1 148 164 adet olarak gerçekleştirilmiştir (TKİ Arşivi, 2017). Döküm alanlarına önce akasya ağacı daha sonra değişik türde başka ağaçlar dikilmiştir (Şekil 5). En sonunda da yörede önemli yeri olan zeytin ağaçları yetiştirilmiş ve 2009 yılında 5,50 ton üstün kaliteli zeytinyağı elde edilmiştir. Yatağan Bölgesinde gerçekleştirilen başarılı reklamasyon çalışmaları madenciliğin çevre açısından sanıldığı kadar sakıncalı olmadığını ve gerekli önlemler alındığında bozulan doğal alanın geriye kazanılabilir olduğunun en açık örneğidir.

Şekil 5. Yatağan açık ocak işletmesinde ağaçlandırılmış alanlar

Yatağan'daki kömür ocaklarından yılda yaklaşık 5,50 milyon ton üretim yapılmakta ve bu miktar yaklaşık 700 MW kapasiteli termik santrali beslemektedir. Yatağan Termik Santralinde günde yaklaşık 1000 ton cüruf ve 5000 ton santral külü meydana gelmektedir. Açığa çıkan santral külünün 1000 tonu sulu halde çıkan cürufla karıştırılarak atık sahasına gönderilmektedir. Baca gazlarındaki kükürt gazları kireçtaşı kullanılarak arıtılmaktadır. Bu işlem sonucu ayda 46 bin m3 civarında yapay sulu jips ortaya çıkmaktadır. Elde edilen jips %40 oranında su ile karışık halde bulunduğundan

ötürü bunun atık sahasına doğrudan taşınmasında bazı güçlükler yaşanmaktadır. Bu nedenle susuzlandırma işlemi yapılarak su oranı %15-20 oranına indirilmektedir (Toprak, 2017). Ancak bu koşullarda da bant konveyör ile yapılan yüklemeler sırasında bant kayışına yapışma sorunu nedeniyle zorluklarla karşılaşılmaktadır (Şekil 6). Bunu önlemek için ise jipse belirli oranlarda santral külü eklenerek katılaştırılıp taşınabilir düzeye getirilmektedir.

Şekil 6. Yatağan Termik Santralinde kısmen susuzlaştırılmış yapay jips yığını

Santral külü ve yapay jips atık alanına taşınmaktadır. Santral külü çimento endüstrisinde yoğun olarak tercih edilen bir hammaddedir. Yatağan İlçesindeki santral küllerininim belli bir kısmı civardaki çimento fabrikalarına satılmaktadır. Buna karşın, santralde ortaya çıkan toplam atık malzemelerin yaklaşık %60'ı atık alanında atıl olarak kalmaktadır (Toprak, 2017). Normal koşullarda, atık alanında bulunan santral külleri içerisinde bulunan ağır elementler yağışlar sonucu alt kısımlara çökmekte ve zamanla yeraltı sularına karışarak önemli çevre kirliliğine neden olmaktadırlar. Bu durum Muğla gibi yıllık yağış oranının yüksek olduğu bir bölge için üzerinde düşünülmesi gereken bir konudur. Kısacası bu santral atıklarının etkin bir şekilde değerlendirilmesi çok yararlı olacaktır.

Yatağan'daki kömür ocaklarında uygulanan açık işletme yöntemi, kömür damarının gittikçe daha derin konuma girmesi nedeniyle yaklaşık beş yıl sonra ekonomik sınırını aşacaktır. Bu nedenle burada bulunan 240 milyon ton civarındaki işletilebilir kömür rezervinin yeraltı madencilik yöntemiyle kazanılması gerekmektedir. Bu sürece şimdiden girilmiş olup gerekli araştırmalar sürdürülmektedir. Yeraltı kömür madenciliğinde yüksek kapasiteli üretim genel olarak tam mekanize uzun ayak

yöntemiyle elde edilmektedir. Yatağandaki kömür damarının kalınlığı 12 m'ye kadar çıktığından, burada doğal olarak tavandan göçertmeli uzun ayak yöntemi uygulanacaktır. Yapılan ön çalışmalar, kömürün tavan ve tabanındaki kayaçların çok düşük dayanıma sahip olduğunu göstermiştir. Tavandan göçertmeli uzun ayak yönteminde tavan tabakasıyla doğrudan temastan kaçınabilme olanağı var olduğundan tavan kayacının bu aşırı zayıflığı bir ölçüde sorun olmaktan çıkarılabilir. Taban kayacının zayıf olması nedeniyle, dayanımı bunlardan daha yüksek olan kömürün belli bir kısmı taban olarak kullanılabilir. Ancak şu andaki koşullarda, Yatağan Bölgesindeki kömürlerin tam mekanize uzun ayak yöntemiyle işletilmesi birim maliyet açısından ekonomik sınırları zorladığı anlaşılmaktadır (AKIN, 2017). Tam mekanize uzun ayak yönteminde ilk yatırım maliyetinin yüksek oluşu burada rol oynayan faktörlerden en önemlisidir. Bu nedenle burada alternatif bir yeraltı işletmesinin düşünülmesi çok yararlı olacaktır.

Termik santral atıklarının ve Muğla'daki mermer işleme tesislerinden elde edilen artıklar gözetildiğinde burada "dolgulu yöntemle" çalışan bir yeraltı işletmesinin uygulanması düşünülebilir. Bu yöntemler dolgu malzemelerinin sağlanması ve yeraltına taşınmasını gerekli kıldıklarından yeraltı madenciliğinde ek maliyet getiren pahalı yöntemlerdir. Ancak santralden çıkan kül, cüruf ve yapay jipslerin yanı sıra, Yatağan'a yakın konumda bulunan mermer işleme tesislerinden çıkan artıklar dolgu malzemesi olarak düşünülebilir. Bu durum yatağan civarında madencilikten kaynaklanan çevresel sorunların giderilmesinde önemli ölçüde rol oynayacaktır.

Dünyada, santral külü ve jips malzemeleri tam mekanize uzun ayak yönteminde taban yollarının duraylılığı için dolgu malzemesi olarak kullanılabildiği birçok örnek bulunmaktadır. Çoğu kömür damarları tam mekanize uzun ayak yöntemine genel anlamda elverişli olduğundan alternatif bir dolgulu yöntemin uygulanmasına gerek kalmamıştır. Ancak Yatağan'da olan santral atıkları ve bunun yanısıra yakın civardaki mermer işleme tesislerinin artıkları hazır dolgu malzemesi olarak düşünülebilir. Eğer burada bir dolgulu yöntemin kullanımı uygun olabilirse, tam mekanize uzun ayak yönteminde gerekli olan yüksek makine ve donanım yatırımına bir ölçüde gerek kalmayabilir ve böylece kömürün birim üretim maliyeti de düşebilecektir. Alternatif dolgulu yöntemin uygulanabilirliğinin belirlenmesi için aşağıdaki konuların ayrıntılı olarak araştırılması gerekir:

Kullanılacak dolgu malzemesinin mekanik ve fiziksel özellikleri: Kül, cüruf, jips ve mermer artıklarının değişik oranlardaki karışımlarının özellikleri belirlenerek en uygun karışım oranının saptanması gerekmektedir.

Gerekli dolgu malzemesi miktarı: Uygulanacak işletme yönteminde kullanılması gereken dolgu malzemesinin miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu miktar yeraltında oluşturulacak üretim panolarının yanı sıra açılacak baca ve galerilerin boyutları ile ilintilidir. Boyutların saptanması için ayrıntılı kaya mekaniği çalışmalarına gerek bulunmaktadır.

Dolgu malzemesinin ocağa taşınması ve bacaya doldurulması yönteminin belirlenmesi: Üretimin hızı ve sürekliliği açısından burada uygulanabilecek malzeme taşıma yöntemleri be bu iş için kullanılabilecek makine ve donanımın iyi saptanması gerekmektedir.

Maliyet analizi: Uygulanacak yöntemin etkinliği ve verimliliği saptandıktan sonra ayrıntılı bir maliyet hesabının yapılmasına gerek vardır.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Muğla ilinde yoğun olarak mermer ve kömür madenciliği yapılmaktadır. Mermer İşleme tesislerinden önemli oranda artıklar çıkmakta ve bunlar şu anda bir atık alanında toplanmaktadır. Yatağan'daki termik santralden de önemli miktarda kül, cüruf ve yapay jips atıkları elde edilmektedir. Santral külünün belli bir kısmı daha çok çimento fabrikalarına satılarak elden çıkarılmaktadır. Ancak tüm termik santral atıklarının yaklaşık %60'ı atık alanında kalmaktadır. Mermer ve santral atıkları şu andaki konumlarıyla gelecekte yöre için olası çevre sorunlarına neden olabilecektir. Bunların önlenmesi için aşağıdaki konuların göz önüne alınması çok yararlı olacaktır:

Yatağan Havzasında yeraltı üretim yöntemleriyle kazanılması gereken yaklaşık 240 milyon tonluk kömür kömür rezervi bulunmaktadır. Tam mekanize uzun ayak yönteminin burada uygulanabilmesi maliyet açısından şu andaki koşullara göre pek olası gözükmediğinden ötürü alternatif bir yöntemin düşünülmesi gerekmektedir. Termik santral ve mermer işleme tesislerinden çıkan artıkların dolgu malzemesi olarak kullanılabildiği bir 'dolgulu yeraltı üretim yöntemi' bu anlamda göz önüne alınabilir. Böyle bir yöntemin uygulanabilir olması durumunda Yatağan civarındaki santral ve mermer artıklarından kaynaklanan çevresel sorunlarda önemli ölçüde azalacaktır.

Yatağan civarında, ocaklardan uzak konumda bulunan mermer işleme tesislerinde ortaya çıkan mermer artıklarının ilerde oluşturabileceği çevre kirliliği için şimdiden önlem alınması gerekmektedir. Bu tesisler için uygun bir organize sanayi bölgesi kurularak oluşan artıkların sistematik olarak toplanabileceği bir alan oluşturulmalıdır. Eğer olanak varsa bu mermer artıkları civarda kurulacak bir çimento fabrikası için hammadde olarak değerlendirilebilir. Termik santralde baca gazının arıtlıması işlemindeki kullanımı daha da yaygınlaştırılmalıdır. Mermer artıklarının Yatağan Bölgesinde uygulanabilecek olası bir yeraltı işletme yöntemi için dolgu malzemesi olarak kullanılabililiği de önemle araştırılmalıdır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu bildirinin hazırlanmasında verdikleri değerli bilgiler için Bereket Enerji Gurubu Yatağan Kömür İşletmeleri Direktörü Sayın Yüksel AKIN ve Termik Santral Direktörü sayın Serdar TOPRAK, Ermaş Mermer Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Mustafa ERCAN, ENTAŞ Mermer Firmasından yetkili Maden Mühendisleri Sayın Muhsin TUĞRUL ve Barış YUCA'ya teşekkürlerini sunar. Bu bildiride verilen görüşler bütünüyle yazarlara aittir.

KAYNAKLAR

Akın, Y. Kişisel görüşmeler. Bereket Enerji Yatağan Kömür İşletmeleri, Yatağan, Muğla. 2017.

Ercan, M. Kişisel görüşmeler. Ermaş Mermer A.Ş., Muğla. 2017.

TKİ Kurumu Arşivi, Yatağan ile ilgili dökümanlar. 2017.

Toprak, S. Kişisel görüşmeler. Bereket Enerji Yatağan Termik santrali, Yatağan, Muğla. 2017.

Tuğrul, M. Kişisel görüşmeler. Entaş Mermer A.Ş., Muğla. 2017.

Yuca, B. Kişisel görüşmeler. Entaş Mermer A.Ş., Muğla. 2017.

ŞEHİR İÇİ PATLATMALI KAZI ÇALIŞMALARINDA ÇEVRESEL TİTREŞİM LİMİTLERİNE GÖRE PATLATMA TASARIMI

BLAST DESIGN BASED ON ENVIRONMENTAL VIBRATION LIMITS FOR THE ROCK BLASTING IN URBAN AREA

Doğan KARAKUŞ[1*], Tuğçe ÖNGEN[1], Mehmet Volkan ÖZDOĞAN[1], Hayati YENİCE[1], Ahmet Hamdi DELİORMANLI[1], Utku İKİZ[2]

1: Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

2: Pınartaş Madencilik San. ve Tic. Ltd. Şti., İzmir, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: doğan.karakus@deu.edu.tr

ÖZET: Günümüzde kaya kütlelerinin parçalanarak taşınabilir duruma getirilmesinde patlayıcı maddeler ve patlatma teknolojisi kaçınılmaz olarak uygulanmaktadır. Madencilik çalışmalarında büyük boyutlu kaya kütlelerinin kazılmasında yaygın olarak kullanılan patlatma teknolojisi aynı zamanda şehir içi ve şehir dışı bölgelerde alan düzeltme amacıyla uygulanmaktadır. Bu çalışmada İzmir Bayraklı bölgesinde yapılması planlanan Kent Hastanesi projesinde alan düzeltme amaçlı yaklaşık 3 milyon metreküp patlatmalı kayaç kazısı sırasında, patlatmaların neden olacağı çevresel titreşim seviyesinin proje alanı yakınındaki Bayraklı Tünelleri ve Laka Köyü yerleşim birimlerini etkilememesine yönelik patlatma tasarımı aşamaları tanıtılmıştır. Bayraklı tünelleri yapısı çevresel titreşim seviyesi limit değeri esas alınarak inşaat alanı bölgelere ayrılmış ve anlık patlayıcı miktarına bağlı delik boyları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şehir içi altyapı patlatmaları, Çevresel titreşim etkisi, Delik boyu, Anlık patlayıcı miktarı

ABSTRACT: *Nowadays explosives and blasting technology are commonly used in rock excavation in order to break or fragment rocks. Loading and hauling operations can be easily realized by this way. The blasting technology which is commonly used to excavate the rock masses in the mining operations is also used for construction site preparation in the various areas that are located in cities and outside of the city limits. Approximately 3 million cubic meters of rock excavation works will be carried out by using blasting for construction site preparation within the scope of Integrated Health*

Campus project which is planned to build in İzmir-Bayraklı. In this study, the blast design which was designed in order to prevent effects of the environmental blast induced vibration in the Bayraklı Tunnels and Laka Village settlements near the project site was introduced. The construction site was divided into different zones based on the environmental vibration level limit value and Bayraklı Tunnel structure. Also, blasthole lengths for each zones were determined by using charge per delay..

Keywords: *Construction blasting, Environmental vibration, Blast hole lengths, Charge per hole*

1. GİRİŞ

Artan nüfusa bağlı olarak şehirlerde konaklama ihtiyaçları da artmakta ve yaşam alanlarına yönelik projeler sürekli gündemde olmaktadır. Benzer şekilde konaklama amaçlı bu yaşam alanlarının bağlantı yolları, sağlık, eğitim ve diğer hizmetleri projelendirilerek hayata geçirilmektedir. Gerek yaşam alanları amaçlı konaklama projeleri gerekse bu alanların yol, köprü, tünel, sağlık ve eğitim yapıları gibi altyapı çalışmaları olsun hemen hemen şehir içi bütün projelerde alan düzeltmesine yönelik büyük ölçekli kazı ve/veya dolgu çalışmaları gerekmektedir. Diğer taraftan kayaç kazısı teknik ve ekonomik açıdan değerlendirildiğinde günümüzde temel iki teknoloji mevcuttur. Bunanlardan birincisi kazıcı makinalarla gerçekleştirilen mekanik kazı ikincisi ise patlayıcı madde enerjisinin kayaç kazısında kullanıldığı patlatmalı kazıdır. Teknik ve ekonomik açıdan değerlendirildiğinde belirli dayanıma sahip kaya kütleleri için patlatmalı kazı çalışmaları kaçınılmaz olarak uygulanmaktadır.

1870'lerde Alfred Nobel'in nitrogliserin esaslı patlayıcı maddeyi patentlendiğinden beri kayaç kazısında yeni bir dönem başlamış, gerek madencilikte gerekse baraj inşaatları, kanal projeli gibi büyük projelerde patlayıcı madde kullanılarak büyük miktarlardaki kayaç kazısı kısa sürede gerçekleştirilmiştir. O zamandan günümüze kadar patlayıcı madde teknolojisi ve patlatmalı kazı uygulamaları ihtiyaçların karşılanmasına yönelik olarak geliştirilmiştir. Günümüzde de maden mühendisliği disiplini denetimde temel prensipleri ve uygulamaları sürekli araştırılarak geliştirilmektedir.

Kayaç kazısı madencilik amaçlı, şehir dışı yol, baraj, köprü endüstriyel tesis gibi yapılar için alan düzeltme amaçlı ve şehir içi inşaat, altyapı, tesis yapılması için alan

düzeltme amaçlı olmak üzere sınıflandırılabilir. Genel patlayıcı madde teknolojisi ve patlatma uygulamaları madencilik amaçlı kayaç kazısı çalışmalarında geliştirilmiş, diğer alanlarda uygulanmıştır. Madencilik amaçlı patlatmalı kazı ise açık işletme ve yeraltı üretim yöntemlerine göre temel farklılıklar içermektedir. Temel prensip olarak patlayıcı maddelerin kaya kütlesi içerisinde açılan deliklere belirli sistematikle yerleştirilerek ateşlenmesi ve açığa çıkan enerjinin kaya kütlesini parçalaması/kırması esasına dayanan patlatmalı kazı uygulamalarında genelleştirişmiş patlatma tasarım büyüklükleri yukarıda verilen sınıflama esas alınarak Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Uygulama alanlarına göre genelleştirilmiş temel patlatma tasarımı büyüklükleri

Uygulama Alanı		Delik Çapı (mm)	Delik Boyu (m)*	Delik Başına Patlayıcı Miktarı (kg)**
Madencilik	Açık İşletme Dekapaj	150-300	10-15	99-593
	Açık İşletme Cevher	85-150	3-12	10-120
	Açık İşletme Kırmataş	70-120	5-12	11-76
	Yeraltı Madenciliği	75-165	5-30	12-360
Şehir Dışı Altyapı		70-120	10-12	22-76
Şehir İçi Altyapı		40-100	0.9-10	1-44

** Şarj kolunu boyu delik boyunun %70 olarak hesaplanmıştır.*
*** Deliklerde ana patlayıcı olarak Anfo kullanıldığı kabul edilmiş ve Anfonun yoğunluğu 800kg/m^3 olarak kullanılmıştır*

Genellikle madencilik çalışmaları sırasında uygulanan patlatmalı kazı çalışmalarında amaç patlayıcı miktarı ve kayaç parçalanması/kırılması optimizasyonudur. Diğer bir anlatımla çevresinde herhangi bir yerleşim birimi ve/veya yapı bulunmayan cevher üretimi veya dekapaj kazısına yönelik kazı çalışmalarında patlatmalı kazı çalışmalarının amacı devam eden yükleme, nakliye, kırma eleme prosesleri için uygun boyutlu kayaç elde edilmesidir. Patlayıcı miktarının artmasıyla patlatma sonucu oluşan yığının boyutu küçülürken, yoğun patlayıcı kullanımı operasyon maliyetlerini arttırmaktadır. Bu nedenle genelde deneme-yanılma metodu kullanılarak cevher üretimi veya dekapaj kazısına yönelik patlatma tasarımları amaca yönelik optimize edilmektedir.

Diğer taraftan kazı miktarlarının fazla olduğu şehir içi altyapı, inşaat, yaşam alanı projelerinde kaya kütlelerinin parçalanma derecesi kadar önemli bir diğer konu patlatma sonucu oluşan çevresel etkilerin minimize edilmesidir. Şehir içi büyük ölçekli inşaat ve diğer altyapı projelerinin hemen hemen tamamında kaya kütlelerinin taşınabilir boyuta indirilmesi patlayıcı madde kullanılarak ekonomik olmaktadır.

Patlayıcı madde kullanılarak kazı yapılacak şehir içi projesinde ise patlatma tasarımı proje çevresindeki yapıların patlatma sonucu oluşacak titreşimden olumsuz etkilenmemesi gözetilerek gerçekleştirilmektedir. Bu bildiride şehir içi patlatmalı kazı çalışmalarında çevresel titreşim seviyesi limit değerlerine göre uygulanabilir patlatma tasarımı aşamaları tanıtılmıştır. Örnek olarak İzmir ili Bayraklı ilçesinin kuzeyinde gerçekleştirielcek olan Kent Hastanesi Projesi kapsamında yaklaşık 3,2 milyon metreküp kayaç kazısının yapılmasına yönelik patlatma tasarımı aşamaları ve devam eden çevresel titreşim ölçüm çalışmaları değerlendirilmiştir.

2. PATLATMA KAYNAKLI ÇEVRESEL TİTREŞİM LİMİTLERİ

Patlatma işlemleri sonucu patlayıcı madde enerjisinin bir kısmı kayacı parçalamak için kullanılırken bir kısmı da kaya kütlesinin içerisinde kaya kütle özelliklerine bağlı olarak titreşimler oluşturmaktadır. Diğer taraftan patlatmalar sonucu gürültü oluşumu, taş savrulması ve toz emisyonu da meydana gelmektedir. Patlatma işlerinin kaçınılmaz olarak yapıldığı kazı çalışmalarında özellikle patlatma kaynaklı çevresel titreşim etkilerinin göz önüne alınarak gerekli teknik ve ekonomik şartların sağlanması gerekmektedir. Patlatma sonucu oluşan çevresel titreşim etkilerin ölçülmesi ve ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla literatürde çok sayıda farklı yaklaşımlar mevcuttur. Genel bir değerlendirmeyle 1940'lı yıllardan sonra konuyla ilgili çalışmalar yoğunlaşarak devam etmiştir. Yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde patlatma sonucu oluşan sismik dalgaların meydana getirdiği parçacık hızları ve frekans, çevreye olumsuz etki yaratmadaki en etkili parametrelerdir (Öngen vd., 2015-1) Bu çerçevede ülkeler yapıların zemininde oluşacak patlatma kaynaklı çevresel titreşim limit değerleriyle ilgili kendi yapı kalitelerini göz önünde bulundurularak Yönetmelikler oluşturmuştur. Oluşturulan yönetmeliklerde temel yaklaşım frekans değerine karşılık oluşan bileşke partikül hız değeri göz önünde bulundurularak çizilmiş eğri sınılarıdır. Bir bölgede gerçekleştirilecek patlatma sonucu oluşan titreşim seviyesinin incelenen yapı zemininde oluşturacağı bileşke partikül hız değerinin Yönetmelikte verilen limit eğri sınırının altında olması gerekliliği yasal olarak tanımlanmıştır. Ülkemizde benzer yaklaşımla ilgili yasal düzenleme Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 04.06.2010 tarihinde Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren 26809 sayılı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'dir. Yönetmeliğin 25. maddesi (a) bendi

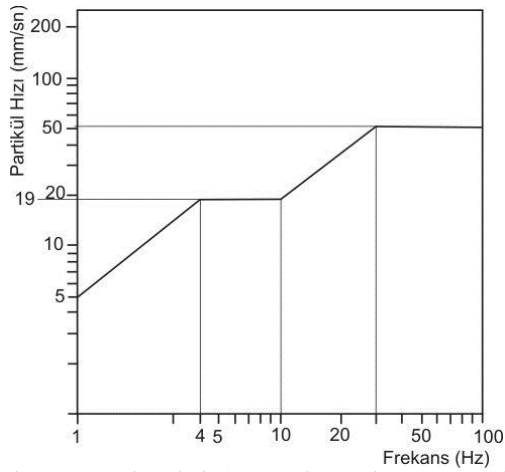
maden ve taşocaklarında yapılan patlatmalardan kaynaklanan titreşimler ile ilgilidir. Yönetmeliğin 25. Madde a bendi şöyledir. "*...MADDE 25 – (1) Çeşitli titreşim kaynaklarının neden olacağı çevresel titreşimin kontrol altına alınmasına ilişkin esaslar;*

a)Maden ve taş ocakları ile benzeri faaliyette bulunulan alanlardaki patlatmaların çevredeki çok hassas kullanımlarda oluşturduğu zemin titreşim seviyesi bu Yönetmeliğin ekindeki Ek-VIII'de yer alan Tablo-6'da verilen sınır değerleri aşamaz...." Yönetmelikte atıf yapılan Ek-VIII'de yer alan Tablo-6, Çizelge 2'de verilmiştir. Sınır değerleri baz alınarak tabloda tarif edilen yönteme göre çizilen partikül hızı-frekans eğrisi Şekil 1'de verilmiştir.

Çizelge 2. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği Ek-VIII'de verilen Tablo 6

Titreşim Frekansı (Hz)	İzin Verilen En Yüksek Titreşim Hızı (Tepe Değeri-mm/s)
1	5
4-10	19
30-100	50

(1 Hz- 4 Hz arasında 5 mm/s'den 19 mm/s'ye; 10 Hz- 30 Hz arasında 19 mm/s'den 50 mm/s'ye, logaritmik çizilen grafikte doğrusal olarak yükselmektedir)



Şekil 1. Partikül hızı-frekans sınır değerleri (Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği 25/a maddesinde tarif edilen esaslara göre)

Bu yönetmelikte verilen değerler Maden ve Taş Ocakları ile Benzeri Alanlarda yapılan patlatmalı kazı çalışmaları sonucu oluşan titreşim seviyelerinin sahaya yakın yerleşim birimleri/binalar gibi yerüstü yapıları için verilen yasal sınır değerlerdir. Diğer ülkelerdeki yönetmeliklerde yerüstü yapıları için düzenlenmiş kısıtlı sayıda olmakla

birlikte yeraltı yapıları için sadece limit bileşke partikül hızı değerleri verilmiştir. Oysa çoğu şehir içi patlatmalı kazı gerektiren projede, proje alanına yakın metro veya karayolu tüneli söz konusu olmaktadır. Metro tüneli, karayolu tüneli, su kuyusu gibi yeraltı yapılarının titreşim seviyelerinden etkilenme mekanizması yerüstü yapılarından farklıdır. Yerüstü yapılarının kendi rezonans değerleri vardır. Herhangi bir kaynaktan yayılan titreşimler, gövde ve yüzey dalgaları olarak farklı frekanslarda sismik dalgalar oluşturmaktadır. Çevresel titreşim etkisi açısından değerlendirildiğinde; genliği yüksek, frekansları düşük olan yüzey dalgaları en tehlikeli dalgalardır. Bu dalgalar yapıların genelde 10-20 Hz civarında olan düşük doğal frekansları ile rezonansa girebilir, kaynaktan yayılan çevresel titreşim incelenen yapının temelinden geçip gittiği halde kafes sistemleri şeklinde olan binada serbest salınım hareketleri meydana gelebilir. Bina rezonans halindeyken, partikül hızı sınır değerlerin altında ise binada hasar oluşmaz fakat binada bulunan insanlar rahatsız olabilir (Dowding, 1985). Ancak yeraltı yapılarının (Karayolu tünelleri, Metro tünelelri, su kuyuları, maden üretim kuyuları, baraj enjeksiyonları vb.) serbest yüzeyi kısıtlı olmasından dolayı rezonans değerleri yoktur. Diğer bir ifadeyle yeraltı yapısının, bulunduğu yeraltı ortamından bağımsız serbest salınım yapma şansı yoktur. Yeraltı mühendislik yapıları genel olarak açıklıkları ve destek sistemleri ile karakterize edilirler. Bir yeraltı yapısının yakınında yapılan patlatma sonucu oluşan titreşim seviyesinin, hangi destek sisteminde hangi açıklıkta ne kadar etkisinin oluşabileceğinin belirlenmesiyle ilgili özel şartlar altında yapılmış çalışmalar mevcut olup standat bir limit değer öngörülmesi oldukça zordur (Öngen vd., 2015-2)

2.1. Çevresel Titreşim Seviyesi Tahmini

Patlatma kaynaklı titreşim seviyesinin belirleyici olduğu projelerde, uygulayıcı bir bölgede yapılan patlatma sonucu oluşan titreşimin hangi mesafede hangi seviyede olacağını önceden tahmin etmek ister. Oluşacak titreşim seviyesinin yasal limitlerin altında olması zorunluluğu bu talebi gerektirmektedir. Ancak oluşan titreşimde patlayıcı miktarı, mesafe ana değişken olmak üzere patlatma tasarım parametreleri, gecikme aralığı ve en önemlisi patlatma yapılan bölge ile titreşim seviyesinin tahmini talep edilen bölge arasındaki jeolojik yapı değişkenleri titreşimin miktarının tahminini oldukça karmaşıklaştırmaktır. Konuyla ilgili değişkenlerin fazla oluşu ve patlatmalı kazı

projelerinde uygulamaya yönelik değerlerin sıklıkla talep edilmesi nedeniyle oldukça fazla akademik çalışma yapılmış ve yapılamaya devam edilmektedir.

Patlatma kaynaklı titreşimin bileşke parçacık hızının belirlenmesi için çeşitli araştırmacılar tarafından farklı tahmin modelleri oluşturulmuştur. Söz konusu tahmin modellerinin hepsinde amaç anlık patlayıcı miktarı ve mesafeye bağlı olarak titreşimin yayılma özelliklerinin karakterize edilmesidir. Günümüze kadar yapılmış olan çalışmalar ışığında, uygulanan patlatma paternleri ve patlatma yapılan sahaların jeolojisindeki farklılıklar, patlatma sonucu oluşan titreşimlerin elasto-dinamik eşitlikler ile çözülemeyeceği düşünülmüş, patlatma kaynaklı titreşimlerin kestiriminde yeterli sayıda gözlem atımları yapılarak, titreşimlerin karakterize edilmesi ve ampirik değerlendirme yapılması ile daha güvenilir sonuçlar elde edileceği sonucuna varılmıştır. Patlatma kaynaklı çevresel titreşim parçacık hızlarının ampirik olarak tahmini için literatüre geçmiş birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda yukarıda verilen yaklaşımlar ışığında anlık patlayıcı miktarı ve mesafe ile bileşke parçacık hızı değerleri tahmin modelleri oluşturulmuştur. Bileşke parçacık hızı tahminine yönelik ampirik formüllerden yaygın olarak kullanılanları Çizelge 3'de verilmektedir.

Çizelge 3. Bileşke parçacık hızı tahminine yönelik çeşitli ampirik yaklaşımlar (Karakuş vd. 2015)

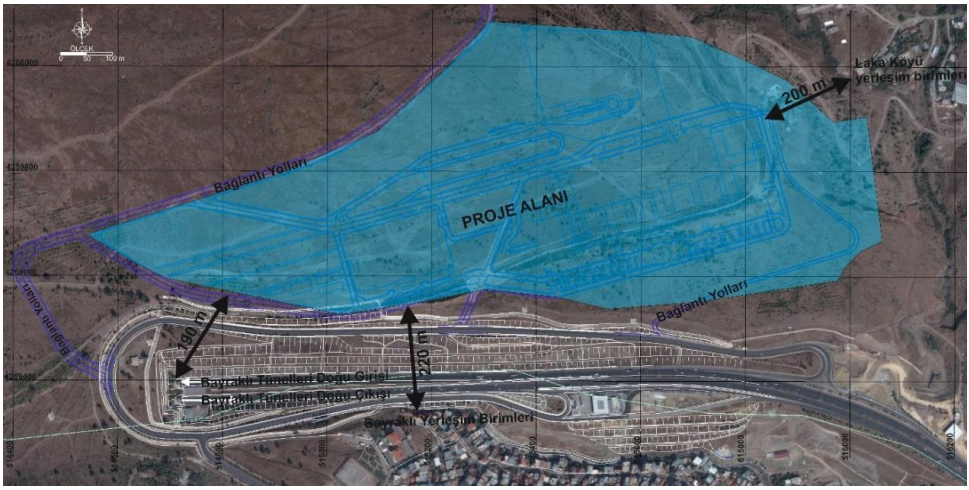
Önerilen Çalışma	**Eşitlik**
USBM (Duvall and Fogelson, 1962)	$ppv = K\left(\frac{R}{\sqrt{W}}\right)^{-\beta}$
Langefors and Kihlström (1978)	$ppv = K\left(\sqrt{\frac{W}{\sqrt{R^3}}}\right)^{\beta}$
Ghosh and Daemen (1983)	$ppv = K\left(\frac{R}{\sqrt[3]{W}}\right)^{\beta} e^{-\alpha R}$
Davies ve ark (1964) Birch ve Schaffer (1983)	$ppv = K * R^{\propto} * W^{\beta}$
Gupta ve ark (1987)	$ppv = K\left(\sqrt{\frac{W}{\sqrt{R^3}}}\right)^{\beta} e^{-\propto R}$
Bilgin ve ark (1998)	$ppv = K\left(\frac{R}{\sqrt{W}}\right)^{\alpha} B^{\beta}$
Pal Roy (1991)	$ppv = n+K\left(\frac{R}{\sqrt{W}}\right)^{-1}$
Ambraseys ve Hendron (1968)	$ppv = K\left(\frac{R}{\sqrt[3]{W}}\right)^{-\beta}$
Hindistan Standartları Enstitüsü (1973)	$ppv = K\left(\frac{W}{\sqrt[3]{R^2}}\right)^{\beta}$

PPV: Maksimum parçacık hızı (mm/s)
R: Mesafe (m)
W: Gecikme başına düşen (anlık) maksimum patlayıcı miktarı (Kg)
B: dilim kalınlığı(m)
K, n, β, α : saha sabitleri

Bu yaklaşımlar farklılıklar gösterse de birçoğu ölçekli mesafe-bileşke partikül hızı değişimini baz almaktadır. Kısaca bu değişimi baz alan yaklaşımlarda, ölçekli mesafe kavramı "patlatmada kullanılan anlık patlayıcı miktarı" ile "ölçüm noktasının patlatma alanına olan uzaklığı" nın birbirine oranı şeklinde ifade edilmektedir. Bu çalışmada tahmin modellerinden geçerliliği bir çok çalışmada ortaya konulmuş ve en yaygın kullanıma sahip olan USBM (Duvall and Fogelson, 1962) eşitliği baz alınmıştır.

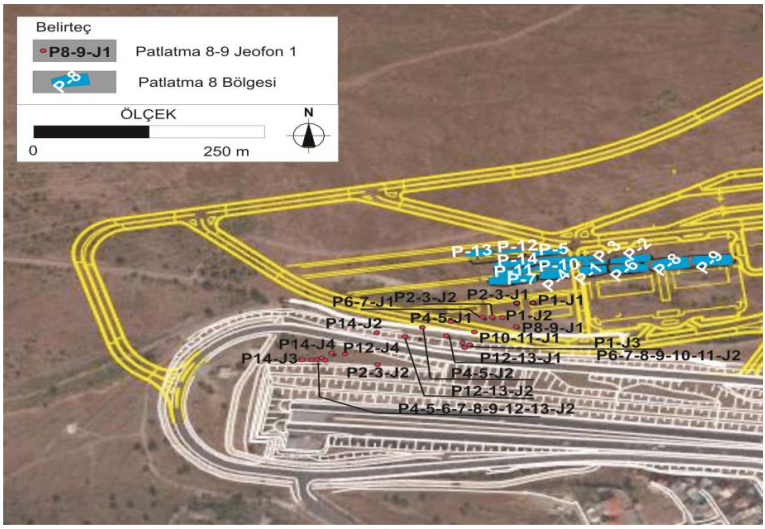
3. ÇEVRESEL TİTREŞİM SEVİYESİNE GÖRE PATLATMA TASARIMI UYGULAMA ÇALIŞMASI

Bu bildiride İzmir İli Bayraklı İlçesinde gerçekleştirilecek Kent Hastanesi projesi patlatmalı kazı çalışmalarının neden olacağı titreşim seviyelerinden, proje alanının yakınındaki Bayraklı Çevre Yolu Tünelleri yeraltı yapısının etkilenmesi için geliştirilen patlatma tasarımı değerlendirilmiştir. Proje alanı konumu ve Bayraklı çevre yolu tünellerinin konumu Şekil 2'de verilmiştir. Proje alanı içerisinde 260m ile 150m kotları arasında kademeli olarak alan düzeltmesi yapılması projelendirilmiş olup toplam kazı miktarı yaklaşık 3.2 milyon metreküp civarındadır. Proje alanın ve çevresinin genel jeolojisi değerlendirildiğinde, bölgede yer alan kaya birimleri Bornova Karmaşığı, Yamanlar Volkanitleri ve Gölsel Tortullar olmak üzere üç ana grupta toplanmaktadır (Innocenti ve Mazzuoli, 1972, Türk ve Koca, 1994).



Şekil 2. Proje alanının ve çevresinin uydu görüntüsü (Karakuş vd., 2016)

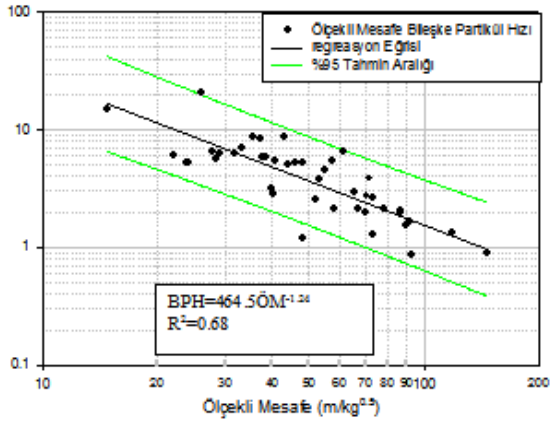
Bu ana gruplardan en fazla kazısı yapılacak jeolojik birim Andezit-Dasit karakterindeki volkanik ürün ve türevlerini içerirler ve dayanımları itibariyle patlatmalı kazı gerektirmektedirler. Diğer taraftan neredeyse tamamı patlatmalı kazı ile düzenlenebilecek proje alanının 190 m güneybatısında Bayraklı Çevre Yolu Tünelleri bulunmaktadır.Proje alanında gerçekleştirilecek patlatmaların neden olduğu titreşim seviyelerinin Bayraklı Çevre Yolu Tünellerine zarar vermiyecek seviyede olması mühendislik problemi olarak tanımlanmıştır. Bunun için öncelikle bölgede anlık patlayıcı miktarı ve mesafeye bağlı olarak çevresel titreşim yayılma karakteristiğinin ortaya konulmasına yönelik test atımları yapılmış ve bu atımlar sırasında titreşim ölçümleri alınarak sonuçlar modellenmiştir. 14 adet titreşim ölçümüne yönelik test patlatmasının üçünde iki jeofon, dokuzunda üç jeofon ve ikisinde de dört jeofon kullanılarak toplam 41 titreşim ölçümü alınmıştır. Titreşim ölçümlerinde yöntem olarak patlatma yapılan bölge ile proje alanına yakın kritik olarak değerlendirilen 190 m mesafede yer alan Bayraklı Çevre Yolu Tünelleri yönü esas alınmıştır. Patlatma noktaları ve titreşim ölçüm istasyonlarının konumu Şekil 3'de verilemektedir.



Şekil 3. Patlatma noktaları, jeofonların konumu (Karakuş vd., 2016).

Test atımlarında farklı mesafelerden farklı anlık patlayıcı miktarında 0.843 mm/sn ile 20.2 mm/sn arasında değişen bileşke partikül hız değerleri ölçülmüştür. Patlatmalı kazı çalışmalarının yapılacağı proje alanı içinde belirli patlayıcı miktarlarında uygulanan patlatmaların incelenen yönde ne kadar mesafeye yayıldığı ve hangi

mesafelerde sönümlendiğinin karakterize edilmesi amaçlanmıştır. Sönümlenme mesafesinin belirlenebilmesi patlatma yapılan bölge ile riskli yönde değişik patlayıcı miktarı ve mesafelerde titreşim ölçümleri alınarak arazi (K) ve sönümlenme (β) katsayılarının modellenmesi ile mümkündür. 41 titreşim ölçümü kullanılarak oluşturulan ölçekli mesafe-bileşke partikül hızı ilişkisi Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. İncelenen bölgede ölçekli mesafe-bileşke partikül hızı ilişkisi (Karakuş vd., 2016)

Ölçekli mesafe bileşke partikül hız eğrisi analiz sonucunda proje alanında araştırılan bölge için arazi ve sönümlenme katsayıları $K = 464.5$; $\beta = 1.24$ olarak R^2=0.673 regresyon katsayısı ile belirlenmiştir. Elde edilen katsayılar verilen USBM (Duvall and Fogelson, 1962) eşitliğinde kullanıldığında aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$BPH = 464.5\left(\frac{R}{\sqrt{Q}}\right)^{-1.24}$$

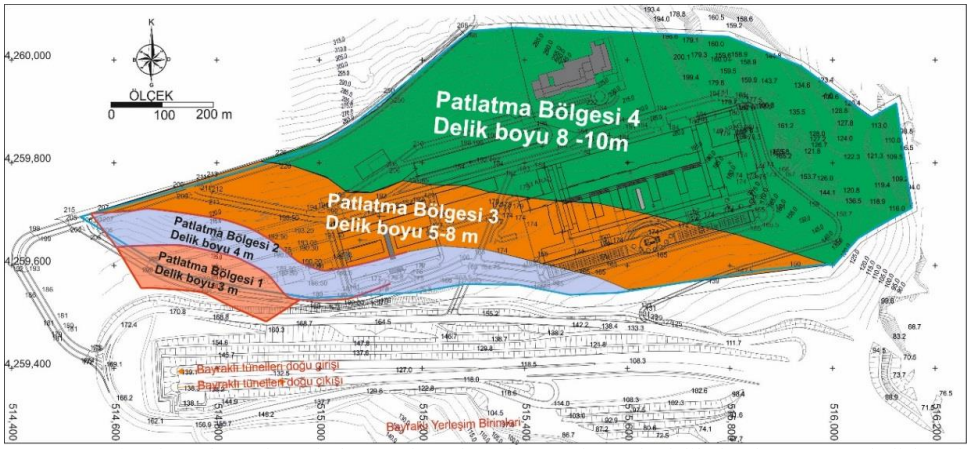
Genel olarak patlatma kaynaklı titreşimleri sahanın çevresindeki yerüstü yapılarına (Yerleşim Birimlerine) etkisi ve sınır partikül hızı değerleri Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nin 25. maddesi (a) bendinde verilmektedir. Anılan yönetmelikte maden, taşocakları ve benzeri alanlarda yapılan patlatmalardan kaynaklanan titreşimler için sınır değerler frekans değerlerine bağlı olarak ele alınmıştır ve farklı frekans değerlerine göre farklı sınır partikül hızları bulunmaktadır (Çizelge 1). Yapılan bu çalışmada ise Proje alanı sınırından yaklaşık 190 m mesafede bulunan Bayraklı Çevre Yolu Tünellerine etkisi de değerlendirilmiştir. Yapılan araştırma patlatmalarında elde edilen ölçekli mesafe-bileşke partikül hızı

ilişkisi kullanılarak patlatmalar sonucu oluşacak titreşim seviyesinin sönümlenme mesafesi matematiksel olarak hesaplanabilir. Yönetmelikte yeraltı yapıları için herhangi bir hasar limit değeri verilmediği için güvenli bölgede kalınması amacıyla geçmiş pratikler göz önünde bulundurularak frekanstan bağımsız olarak limit titreşim seviyesi 2 mm/sn değeri kullanılmıştır. Buna göre 2 mm/sn bileşke partikül hızının proje alanının en yakın noktasından itibaren 190 m mesafe bulunan Bayraklı Tünellerinde oluşmaması için mesafelere bağlı olarak anlık patlayıcı miktarları belirlenmiştir (Çizelge 4)

Çizelge 4. Farklı mesafelerde 2 mm/sn bileşke partikül hızını aşmayacak patlayıcı miktarları

Bileşke Partikül Hızı (mm/sn)	**Mesafe (m)**	**Patlayıcı Miktarı (Kg)**
2	100	2
2	150	3
2	200	6
2	250	10
2	300	14
2	350	19

Test patlatmalarında ölçülen titreşim seviyeleri temel alınarak Proje alanı patlatmalı kazı çalışmaları için tasarım parametreleri hesaplanmıştır. Çevresel titreşim seviyesinin oluşmasında ve denetiminde temel değişkenler gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarı ve patlatma yapılan nokta ile incelenen yapı arasındaki mesafedir. Patlatmalı kazı proje alanı ve çevresindeki yapıların konumları değiştirilemeyeceği için titreşim seviyesi risk sınırlarının belirlenmesi, ancak gecikme başına patlayıcı miktarının belirlenmesi ile mümkün olabilecektir. Buna göre Proje alanında delik boyuna göre patlayıcı denetiminin dolayısıyla çevresel titreşim seviyesi denetiminin yapıldığı bölgelere ayrılmıştır. Proje alanı sınırları içerisinde yapılacak patlatmalarda 2 mm/sn değeri baz alınarak titreşim ölçümleri sonucu elde edilen matematiksel model kullanılarak mesafelere göre anlık patlayıcı miktarları belirlenmiştir. **Patlatma Bölgesi1, Patlatma Bölgesi 2 ve Patlatma Bölgesi 3 ve Patlatma Bölgesi 4** olarak kodlanan bu bölgelerde patlatmanın neden olduğu çevresel titreşim seviyesinin denetlenebilmesi için farklı delik boylarında farklı patlayıcı miktarları belirlenmiştir. Şekil 5'de yukarıda tanımlanan bu alanların sınırları verilmektedir.



Şekil 5. Proje alanında patlatmalı kazı çalışmalarında uygulanacak delik boylarına göre belirlenmiş bölgelerin sınırları (Karakuş vd., 2016)

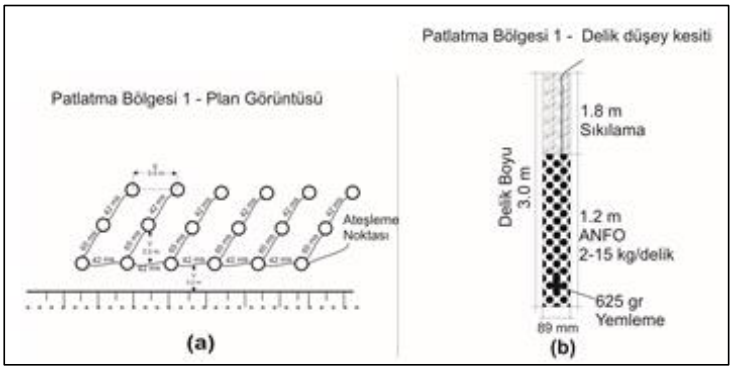
Şekil 5'de çevresel titreşim seviyesi limit değerlerine göre sınırları belirlenmiş bölgeler için uygulanabilir patlatma tasarımları yapılmıştır. Burada örnek olarak Patlatma Bölgesi 1 için oluşturulmuş patlatma tasarımı verilmiştir. Buna göre Patlatma Bölgesi 1 proje alanı içerisinde patlatma kaynaklı çevresel titreşim seviyesi açısından en riskli bölgedir. Güneybatısında Bayraklı Tünelleri Doğu Girişine, en yakın kısım Patlatma Bölgesi 1'dir. Bu bölgede basamak yükseklikleri anlık patlayıcı madde denetimi için test araştırma patlatmalarında uygulanan delik boyları gözetilerek 3 m olarak tasarlanmıştır. Bölgede titreşim seviyesi limit değer göz önünde bulundurularak anlık patlayıcı miktarı 6.5 kg'a kadar düşürülmüştür. Bölgede projelendirilen kot ile doğal arazi arasında en fazla 15 m kot farkı vardır. Bu nedenle her ne kadar patlatma tasarı açısından ekonomik görünmesede çevresel titreşim seviyesi kısıtı nedeniyle 5 ayrı kazı basamakları oluşturulmalıdır. Sıkılamanın 1.8 m seçilmiş olması Patlatma Bölgesi 1'de gerçekleştirilecek patlatmalarda kaya fırlaması riskini de minimize edilmiş olacaktır. Patlatma Bölgesi 1 patlatma tasarım parametreleri Çizelge 5'de , patlatma geometrisi plan görüntüsü Şekil 6'da verilmiştir.

Proje alanında çevresel titreşim limit değerine göre oluşturulan patlatma tasarımları göz önünde bulundurularak kazı çalışmaları başlamış ve mevcut durumda Projedeki kazı miktarının %82si tamamlamıştır. Patlatma tasarımlarında limit titreşim seviyesinin aşılmasığının takibi amacıyla proje süresince rastgele 64 patlatmadan 106 titreşim ölçümü gerçekleştirilmiştir. Takip patlatmaları 4 farklı bölgededе yapılmış olup

Bayraklı Çevre Yolu tünelleri yönünde çevresel titreşim seviyesi limit değerinin üstünde titreşim ölçümü alınmamıştır.

Çizelge 5. Patlatma Bölgesi 1 tasarım parametreleri

Basamak Yüksekliği	2.0 m
Delik Çapı	89 mm
Delik Boyu	3.0 m
Delikler Arası Mesafe	3.0 m
Dilim Kalınlığı	3.0 m
Sıkılama Boyu	1.8 m
Şarj Kolonu Yüksekliği	1.2 m
Gecikme Sistemi	NONEL (delik içi 500 ms yüzey 42 ms, 65 ms)
Yemleme	0.625 kg/delik
Patlayıcı Madde Miktarı (ANFO)	6.55 kg/delik



Şekil 6. Patlatma Bölgesi 1 patlatma paterni a) Plan görünüşü, b) Patlatma deliği düşey kesiti (Karakuş vd., 2016)

4. SONUÇLAR

Patlatmalı kazı çalışmaları sırasında çevresel titreşim seviyesi limit değerlerine göre patlatma tasarımı aşamaları bu çalışmada uygulayıcıya yön göstermesi amacıyla değerlendirilmiştir. Bilindiği gibi patlatma sonucu oluşan titreşim seviyesi kontrol edilebilir ve kontrol edilemeyen değişkenler tarafından denetlenmektedir. Titreşimin büyüklüğünü denetleyen en önemli kontrol edilemeyen parametrelerden biris jeolojik yapıdır. Jeolojik yapının sayısallaştırılması ve tahmin modellerinde yer alması değişkenlerin fazlalığı nedeniyle mümkün görülmemektedir. Bu nedenle ancak yerinde titreşim ölçümleri sayesinde bölgesel katsayılarla ifade edilebilmektedir.

Oluşan titreşim seviyesinin büyüklüğü, ortama yayılan enerji miktarı dolayısıyla patlayıcı madde ve sönümlenme mesafesi ile denetlenebilir Patlayıcı madde miktarı kontrol edilebilir parametredir. Ancak patlatma verimi açısından değerlendirildiğinde

patlayıcı madde miktarının azaltılmasıyla diğer tasarım parametrelerinin de düzenlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada çevresel titreşimin denetlenmesinin zorunlu olduğu bir şehir içi patlatmalı kazı çalışmasında patlayıcı madde miktarının azaltılmasına bağlı olarak patlatma tasarımı değişimi değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada öncelikle patlatmalı kazı gerçekleştirilecek Kent Hastanesi projesi ve patlatma sonucu oluşacak çevresel titreşimden etkilenebilecek riskli Bayraklı Çevre Yolu Tünelleri konumları tanımlanmıştır. Proje alanında titreşim yayılma karakteristiğin ortaya konulması amacıyla test patlatmaları gerçekleştirilmiş ve bu patlatmalar sırasında titreşim ölçümleri yapılarak sonuçları modellenmiştir. Elde edilen model katsayıları kullanılarak Proje alanı çevresel titreşim seviyesi limit değerlerine göre anlık patlayıcı miktarı denetimi esas alınarak 4 farklı patlatma bölgesine ayrılmıştır. Belirlenen anlık patlayıcı miktarlarına göre her bölge için patlatma tasarımı oluşturulmuş ve kazı çalışmaları başlamıştır. Kazı çalışmaları süresince sürekli titreşim ölçümleriyle modelin doğruluğu ortaya konulmuş veri seti arttırılarak model güncellenmiştir.

Günümüz patlayıcı madde teknolojisi ve uygulamalarındaki gelişmeler patlatmalar sonucu oluşan çevresel etkileri denetlenebilir mühendislik hizmetleri olmasına olanak sağlamaktadır. Bu yaklaşımla ele alındığında şehir içi belirli miktarın üzerinde ve belirli dayanıma sahip kaya kütleleri kazı çalışmaları patlayıcı madde kullanılarak gerçekleştirilebilir. Geçmişte patlatmanın neden olacağı çevresel titreşim, kaya savrulması gibi çevresel nedenlerle uygulamasından kaçınılan patlatmalı kazı çalışmaları özellikle gecikme elemanı teknolojisindeki gelişmeler sayesinde uygulanabilir olarak değerlendirilmektedir. Diğer taraftan şehir içi imar ve diğer altyapı tesislerinin derin kazı taleplerinin karşılanması içinde patlatmalı kazı hem teknik hem de ekonomik olarak uygun bir alternatiftir.

KAYNAKLAR

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2010. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, 04.06.2010 tarihli 26809 sayılı Resmi Gazete.

Dowding, C.H., 1985, Blast Vibration Monitoring and Control , 295 pages

Duvall W., I., Fogelson D.,E.,1962, .Review of Criteria for Estimating Damage to Residences from Blasting Vibrations., U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines.,19 pages

Indian Standard Institute. Criteria for safety and design of structures subjected to underground blast. ISI Bull 1973;IS-6922.

Innocenti, F. ve Mazzuoli, R., 1972. Petrology of the İzmir-Karaburun Volcanic Area: Bull. Volcanologique, 36(1): 83-103

Karakuş, D., Konak, G., Onur, A.H., Öngen, T., Turan, G.,2015. Patlatmalı Kazı Çalışmaları Sonucu Oluşan Çevresel Titreşimlerin Ölçümü ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi",VIII. Delme-Patlatma Sempozyumu,İstanbul, pp.152-161

Koca, M, Y. ve Türk,N., 1994, Ayrışmanın Andezitlerin Petrografik, Kimyasal ve Jeomekanik Özelliklerine Etkisi. 47. Türkiye Jeoloji Kurultayı, pp. 382-392.

Langefors, U., and Kihlstrom, B., 1978, The Modern Technique of Rock Blasting, 3rd ed. Halsted Press, a Division ot John Wiley & Sons,Inc.,New York, 438 pages

Öngen T., Karakuş D., Gönen A., Turan G.,2015-1. Hammadde Ocaklarında Patlatmalı Kazı Çalışmaları Sonucu Oluşan Çevresel Titreşimlerin İki Farklı Tahmin Modeli ile Değerlendirilmesi-Örnek Çalışma, 9. Uluslararası Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, pp. 623-636.

Öngen, T., Pamukçu, Ç., Özdoğan, M.V., Deliormanlı, A.H., Kaakuş, D., 2015-2. Patlatmalı Kazı Çalışmaları Sonucu Oluşan Çevresel Titreşimlerin Yeraltı Yapılarına Etkisinin Değerlendirilmesi-Örnek Çalışma, 24th International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Antalya, pp. 493-503

MADEN SU YÖNETİMİNİN ÇEVRESEL VE EKONOMİK FAYDALARI
ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC BENEFITS OF MINE WATER MANAGEMENT

Eren GENÇ

SRK Danışmanlık ve Mühendislik A.Ş, Çankaya-Ankara, TÜRKİYE

egenc@srkturkiye.com

ÖZET: Su yönetimi; arama, arazi hazırlık-inşaat, işletme ve kapanış olmak üzere tüm madencilik safhalarında çevre, ekonomik ve sosyal açıdan detaylı çalışılması gereken önemli bir konudur. Suyun az veya yetersiz miktarda bulunması sınırlı işletme kapasitesine neden olurken, aşırı miktarda bulunması da operasyonları ciddi şekilde engelleyebilir ve hatta durdurabilir. Ayrıca madencilik çalışmalarından kaynaklı potansiyel kirleticilerin, içme-kullanma suyu kaynakları ile sucul ekosistemlere ulaşma riski giderek artan bir endişe haline gelmektedir. Madencilikte proje sahiplerinin dikkatini ilk olarak cevherin tenör ve rezerv miktarı çekerken, tüm madencilik aşamalarında ciddi sorunlar ve maliyetler doğurabilecek su yönetimi konusu genellikle göz ardı edilerek ikincil plana atılmaktadır. Maden için su yönetiminin, sadece problemlerle karşılaşılınca halledilebilecek bir konu olarak algılanmaması gerekmektedir. Suyun temin edilmesi ve uzaklaştırılması gibi çeşitlilik gösteren maden proseslerinde su yönetimi detayları, maden arama aşamasında başlatılmalıdır. Böylelikle olası çevresel etkilere erken müdahale edilebilir ve maliyet tasarrufları elde edilebilir. Örneğin proje araştırma aşamasında arama sondajları kullanılarak çok önemli hidrojeolojik veriler düşük maliyetlerle toplanabilir. Bu verilerinin erken toplanması, etki değerlendirme senaryolarının erken aşamalardan başlayarak modellenmesine olanak sağlayarak, dinamik model çıktılarıyla riskleri ve maliyetleri en aza indirgeme fırsatı sunacaktır. Sonuç olarak maden ömrünün tüm aşamalarında suyun etkin ve sürdürülebilir yönetimi hem çevresel hem de ekonomik faydalar sağlayacaktır. Bu sunumda, madencilik faaliyetlerinin her aşamasında yapılması gereken hidrojeolojik ve hidrolojik çalışmalar ile bu çalışmaların çevresel ve ekonomik faydalarına yer verilecektir.

Anahtar Kelimeler: Su yönetimi, Hidrojeoloji, Hidroloji, Modelleme, Çevresel ve ekonomik faydalar

ABSTRACT: *Water management is an important issue that needs to be studied in detail in terms of environment, economy and social in all mining phases including exploration, site preparation, construction, operation and closing. Too little or insufficient amount of water can lead limited processing capacity, too much water can seriously impede or cease operations. In addition, potential mining-induced effects to water resources and aquatic ecosystems is becoming a growing concern. In the mining industry, the quantities of mineral reserve and the ore grade comes first for project owners while the issue of water management, which can cause serious problems and costs in all mining stages, is often ignored and taken into the secondary plan. Water management for the mine should not be perceived as a matter that can be solved only when problems are encountered. Because of the various challenges associated with water in mining such as water supply and dewatering, the water management details should be started at the exploration stage. Thus, possible enviromental impacts can be intervened early and cost savings can be achieved. For example, early in the project, valuable hydrogeological data can be gathered by using the exploration drillings at a very low cost. These data will allow the impact assessment scenarios to be modeled from the earliest stages and present the opportunity to reduce risks and costs with the dynamic model outputs. As a result, effective and sustainable management of water will provide both environmental and cost benefits at all stages of the mine life. This presentation will give information about hydrogeological and hydrological studies which should be done in mining stages and environmental, economical benefits of these studies.*

Keywords: *Water management, Hydrogeology, Hydrology, Modelling, Economical and enviromental benefits*

1. GİRİŞ

Planlanan veya işletmede olan madenlerde yüzey ve yeraltı suyu sistemlerinin belirlenerek yönetilmesi, ekonomik, çevresel ve kurumsal imaj açısından büyük avantajlar sağlamaktadır. Yüzey sularının dağılımı topoğrafya, iklimsel özellikler ve yüzey örtülerinin farklılığına bağlı olarak çeşitlilik göstermekte ve karmaşık bir yapı kazanmaktadır. Suyun yeryüzünde ki karmaşık dağılımına benzer şekilde yeraltında farklı

formasyonların bulunması ve bunların farklı su bulundurma, taşıma özelliklerine sahip olması yeraltı sularını da madenler açısından anlaşılması ve kontrolü güç bir duruma getirmektedir. Bu koşullar altında bir madenin başarısı entegre bir su yönetimi ile doğrudan ilişkilidir. Su yönetiminin sadece problemlerle karşılaşılınca çözülmesi gereken bir sorun olarak algılanmaması aksine temellerinin projenin erken aşamalarında atılması gerekmektedir. Ayrıca su yönetim planları oluşturulurken saha hidrolojisi ve hidrojeolojisi, jeoloji, jeokimya, jeoteknik, çevre mühendisliği ve sosyoloji gibi diğer disiplinler ile birlikte değerlendirilmelidir.

Türkiye İstatistik Kurumu 2014 yılı verilerine göre maden işletmeleri 220 milyon m3 su çekerken, 139 milyon m^3 atıksu deşarj etmiştir. Temin edilen suyun yaklaşık 191 milyon m^3'ü yerüstü madenciliği, 29 milyon m^3'ü yeraltı madenciliği için kullanılmıştır. Atıksu deşarjında ise yerüstü madenciliğinin payı 115 milyon m^3 yeraltı madenciliğinin 24 milyon m^3'dür (TÜİK, 2016). Marmara havzasının 2014 yılı yeraltı suyu beslenim miktarının 241,7 milyon m^3 (DSİ, 2016) olduğu bilgisi ışığında maden işletmelerinde 2014 yılında çekilen 220 milyon m^3 suyun büyüklüğü daha net anlaşılabilmektedir. Verilen istatistik bilgilerinden de görüldüğü üzere madencilik sektöründe suyun temini ve uzaklaştırılması özetle suyun yönetimi büyük önem taşımaktadır. Maden projelerinin planlamadan kapanış sürecine kadar tüm aşamalarında işletme ile entegre bir su yönetiminin yürütülmesi; çevre ile uyumlu, güvenli ve karlı bir madencilik projesi için gereklidir.

2. MADEN SU YÖNETİMİNDE ÇALIŞILMASI GEREKEN TEMEL KONULAR VE YÖNTEMLER

Madencilik faaliyetlerinde su yönetimine dair temel ve çalışılması gereken konular aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır. Verilen bu maddeler takip eden başlıklar altında sırasıyla detaylandırılmaktadır.

- Proje Konumunun Değerlendirilmesi
- Arama Sondajlarının Hidrojeolojik İşlevselliğinin Değerlendirilmesi
- Veri Toplanması
- Maden Su Temini ve Su Bütçesinin Hazırlanması
- Susuzlaştırma
- Basınçsızlaştırma

- Etki Değerlendirme Çalışması
- Yüzey ve Yağmur/Kar Sularının Yönetimi
- Deşarj Suyu Kalitesinin Belirlenmesi
- Maden Kapanış Hidrojeolojisi ve Açık Ocak Gölleri

2.1 Proje Konumunun Değerlendirilmesi

Genellikle proje başlangıç aşamasında, planlanan proje ünitelerinin su kaynaklarına göre konumu ve bu kaynaklar ile olan ilişkisi ortaya konmalıdır. Bu analiz dahilinde projenin içinde bulunduğu havza, topoğrafik, hidrolojik ve meteorolojik veriler birlikte incelenmelidir (Wilson ve Blyth, 2014). Ayrıca mevcut su kullanıcıları, su temin sistemleri ile kullanım miktarları da dikkate alınmalıdır. Bu analizlerde genellikle başvurulan yöntemlerden biri coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama yöntemleridir. Maden proje konumları değerlendirilirken dikkat edilmesi gereken en kritik konular proje alanı veya etki alanı içerisinde mevcut koruma alanlarının varlığı ile su kaynaklarına yönelik kurumların yaptığı planlardır. Örneğin proje sahasının jeotermal turizm sahası içerisinde yer alması veya Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından planlanan bir gölet ile ünitelerin kesişmesi maden izin süreçlerinde problemler çıkarmaktadır.

2.2 Arama Sondajlarının Hidrojeolojik İşlevselliğinin Değerlendirilmesi

Maden su yönetiminde başarı sahanın hidrojeolojisinin anlaşılması ile mümkündür. Saha hidrojeolojisinin anlaşılması için de yeterli hidrojeolojik verinin zamanında toplanması gereklidir. Hidrojeolojik verileri proje araştırma aşamasındayken her türlü sondaj yöntemi (RC sondaj, karotlu sondaj vb.) ve tüm sondaj çaplarında açılan maden arama sondajlarını kullanarak elde etmek mümkündür. Böylelikle çok önemli hidrojeolojik veriler düşük maliyetlerle ve zaman kaybına yol açmadan toplanabilir. Hidrojeolojik verilerin erken toplanması, etki değerlendirme senaryolarının erken aşamalardan başlayarak modellenmesine olanak sağlayarak, dinamik model çıktılarıyla riskleri ve maliyetleri en aza indirgeme fırsatı sunacaktır. Örneğin çok düşük maliyetlerle piyezometre kuyusuna çevrilen araştırma kuyuları vasıtasıyla su tablasının konumu ve yeraltı suyunun yönü belirlenebilir. Böylece açık ocağın veya yeraltı işletmesinin yeraltı suyuna girip girmeyeceği, girecekse hangi kazı derinliğinde gireceği hesaplanabilir. Susuzlaştırma gereksinimi erken safhalarda ortaya konabilir (Griffiths vd. 2008). Bunun

yanında akifere ait hidrolik iletkenlik ve depolama gibi özellikler, arama sondajlarında gerçekleştirilecek paker testleri, airlift testleri ile belirlenebilir (Mackie ve Mayer , 2015).

2.3 Veri Toplanması

Su yönetiminin temelini oluşturan proje sahasına özgü hidrolojik ve hidrojeolojik verilerin toplanması büyük önem taşımaktadır. Su yönetimine dair kurulan kavramsal modeller ve çıktıları toplanan verilerin doğruluğu ve temsil ediciliği kadar gerçekçi olacaktır. Dolayısıyla tüm çalışmanın temelinde toplanan veriler yatmaktadır.

Su bütçesi hesabında kabaca girdiler düşen yağmur ve kar erimesi, çıktılar ise terleme-buharlaşma, yüzey akışı ve yeraltı suyu beslenimidir. Bu nedenle bu parametreler meteoroloji istasyonları, akım gözlem istasyonları ve diğer su noktalarından (çeşme, kaynak vb.) debi ölçümleri ile hesaplanmalıdır. Hidrojeolojik veriler ise sahada gerçekleştirilecek akifer testleri ile toplanmaktadır. Açılan sondajlar, hidrolik testler ve mevsimsel izleme çalışmalar ile hidrojeolojik yapı anlaşılır. Toplanan veriler ışığında sahanın kavramsal hidrojeolojik modeli kurulur. Ayrıca proje sahasında su noktalarına ait fiziksel ve kimyasal özellikler toplanarak kayıt altına alınmalıdır. Toplanan bu verilerin kullanımına dair örnek vermek gerekirse, kuşaklama kanalı dizaynlarında akım gözlem istasyonları ve meteoroloji istasyonu verileri birlikte analiz edilerek hidrolik hesaplamalar yapılmalıdır. Yine maden susuzlaştırma ve basınçsızlaştırma hesaplamaları akifer testleri ile elde edilen hidrojeolojik verilere dayanmaktadır.

2.4 Maden Su Temini ve Su Bütçesinin Hazırlanması

Özellikle suyun az olduğu sahalarda madenlerin su ihtiyacının sağlanması oldukça zor ve maliyetlidir. Öncelikli olarak işletme su ihtiyacının belirlenmeli ve optimizasyonu yapılmalıdır. İşletme öncesinde toplanacak hidrolojik ve hidrojeolojik veriler saha ve çevresinde potansiyel su temin noktaları hakkında bilgiler verecektir. Kurulacak su bütçesi ile gerekli su miktarının ne kadarının yeraltından ya da yüzey sularından temin edileceği belirlenebilecektir (El Idrysy vd., 2011). Tüm işletme için yapılacak maden genel su bütçesi, su kaynakları yönetiminin optimizasyonuna imkân verirken, su temininin doğal kaynaklara olan etkisini azaltacak hem de maliyet tasarrufu sağlayacaktır. Özellikle temin edilen suyun deşarjının minimize edilmesi ve atıksuyun

olabildiğince döngüye tekrar dahil edilmesi çevre ve maliyet açısından avantajlıdır (Hoekstra vd., 2016)

2.5 Susuzlaştırma

Maden su yönetiminde maden işleyişine yön verebilecek önemli bir konu susuzlaştırma planıdır. Açık ocağa veya yeraltı işletmesine gelecek suların nasıl uzaklaştırılacağı ya da sisteme girmeden önce nerede ve nasıl durdurulacağı dizayn açısından önemlidir. Suyun sisteme girmeden durdurulması ocak ile temasa geçerek kirlenme riskini engelleyecektir. Susuzlaştırma planı düzgün yapılmayan madenlerde, ıslak zemine bağlı maliyetli patlatmalar, cevher veya pasanın ıslak şekilde çok daha ağır taşınması, özellikle yeraltında ekipmanların ömrünün çabuk azalması, kolay yıpranması, suya bağlı olarak girilemeyen yerlerde üretim kaybı ve ocak içine ani su boşalımları ile ortaya çıkan ekstra arıtma işlem maliyetleri gibi problemlerle karşılaşılmaktadır (Hamilton, 2016).

2.6 Basınçsızlaştırma

Maden işletmelerini etkileyecek en önemli konulardan biri de ocak duvarlarındaki suyun basınçsızlaştırılmasıdır. Açık ocak şev duraylılığının optimizasyonunda gözeneklerdeki suyun miktarı müdahale edilerek değiştirilebilecek tek denklem parametresidir. Diğer bir ifadeyle güvenlik katsayısı sabit kaldığı müddetçe, ocak şev açısının dikleştirilmesinin tek yolu ocak duvarlarındaki su basıncının değiştirilmesi ile mümkün olabilir.

Açık ocak şevlerinin dikleşmesi ile kazanılabilecek üretim karlılığı hidrojeologlar, maden planlama ve jeoteknik grubuyla ortaklaşa çalışılarak değerlendirilmelidir. Unutulmamalıdır ki ocak işletmesi başında kabaca seçilen açılar yüksek kazı maliyetlerine ve pasa miktarlarına neden olmaktadır. Basınçsızlaştırma çalışmaları ile şev duraylılığı optimizasyonu yapılan madenlerde çok daha karlı üretimler elde edilmektedir.

2.7 Etki Değerlendirme Çalışması

Tüm madencilik faaliyetlerinden kaynaklı yüzey ve yeraltı sularına olabilecek etki akıllara gelen ilk konulardandır. Bu toplum hassasiyeti göz önüne alındığında proje sahası ve çevresinde bulunan içme-kullanma suyu kaynakları, sucul ekosistemler ve su noktalarına madencilik faaliyetleri kaynaklı olası etkilerin belirlenmesi çok önemlidir. Bu amaçla toplanan veriler ile kurulan kavramsal hidrojeolojik model, maden dizaynı ile

birlikte analitik ya da nümerik modellere aktarılarak maden kaynaklı etkiler simüle edilerek öngörülebilmektedir. Günümüzde numerik model kodları, yer altı suyu akımı ve yüzeysel akışa ilişkin hidrolojik sistemi temsil edebilmesi açısından oldukça yeterli ve güvenilir çözümler sunmaktadır. Fakat unutulmamalıdır ki, her numerik modelin temelinde kavramsal bir model olması ve sahanın hidrojeolojisinin doğru anlaşılarak kavramsallaştırılması, model kod seçiminden çok daha önemlidir. Başka bir deyişle, yetersiz veri ile sahanın yeterince anlaşılamadığı koşullarda kurulan numerik modellerin çıktıları da gerçekçi olmaktan çok uzaktır.

İşletme öncesinde maden etki sahası içerisinde bulunan tüm su noktaları ve su kullanıcıları belirlenmelidir. Belirlenen bu noktalar içerisinden örnekleme-izleme noktaları belirlenerek kapanış dahil olmak üzere tüm işletme boyunca noktalara ait kimyasal ve fiziksel parametreler ölçülerek analiz edilmelidir. Böylelikle su noktalarına olabilecek fiziksel ve kimyasal etkiler ortaya konarak raporlanabilir.

2.8 Yüzey ve Yağmur/Kar Sularının Yönetimi

Maden sahası içerisinden geçen yüzey suları ve proje sahasına düşen yağmur/kar sularının, maden üniteleri ile olabildiğince az etkileşimde bulunarak saha dışına yönlendirilmesi, su kaynakları kalitesi ve maden çalışma güvenliğinin sağlanabilmesi açısından önem taşımaktadır. Sahada maden ünitelerine değen (kontak) ve kontak olmayan sular birbirinden ayrı yönetilmeli, böylelikle maden su bütçesi ve çevresel özellikler dikkate alınarak, doğal drenaja ya da maden su döngüsüne katılması yönünde karar verilmelidir (Dey ve Williams, 2015). Bunun için gerekli görülen durumlarda, çevirme kanalları, çökertme havuzları, pompa sistemleri ve benzer yapılar planlamada dikkate alınmalı ve maden dizaynına dahil edilmelidir. Doğal drenaja verileceği durumlarda suyun kalitesi ve miktarı akış aşağısı kullanıcıları ve sucul ekosistemler göz önünde bulundurularak iyi analiz edilmelidir.

2.9 Deşarj Suyu Kalitesinin Belirlenmesi

İşletmelerde susuzlaştırma ile çıkacak suyun kalitesinin ve miktarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. İşletme sırasında karşılaşılan yeraltı suyunun kalitesi büyük oranda bozulmakta ve deşarj öncesinde arıtma gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Maden planlama aşamasında iken maden ömrü boyunca işletmeye gelecek yeraltı suyu hidrojeolojik modellerle belirlenmeli ve böylece gerekli arıtmanın tipi ve boyutlandırması önceden

yapılmalıdır. Böylece arıtma için gerekecek giderler için maliyet projeksiyonu da yapılabilir.

2.10 Maden Kapanış Hidrojeolojisi ve Açık Ocak Gölleri

Asit Kaya Drenajı (AKD) ve Metal Liçi (ML) işletmelerde çevresel etkiler ve kapanış maliyetlerinin belirlenmesi açısından önemli olan diğer bir konudur. Yeraltı su seviyesi altında çalışılan ve kapanışta göl oluşumu beklenen madenlerde AKD potansiyeli çok iyi çalışılarak etki ve önlemler işletme öncesinde belirlenmelidir. Aksi taktirde çevresel açıdan geri dönüşü çok zor olan düşük kaliteli göller ortaya çıkabilir. Açık ocak göl modelleri, kazı planına göre ocağın dolum süresi, ocağı oluşturacak suyun bileşenleri (yer altı suyundan, yüzeysel akıştan, ocak duvarlarına düşen yağıştan ve yağış suyundan gelen beslenim miktarları) ayrı ayrı çalışılmalı ve bu bileşenler AKD su kalite modelleri ile birlikte değerlendirilmelidir (Balasubramaniam and Panda, 2014). Özellikle ocak planlamada, su tablasının kotu ve ocağın nasıl kapatılacağı, pasa ile geri dolgunun iyi bir sonuç olup olmayacağı, suyla normalden hızlı bir dolum gerekip gerekmeyeceği, herhangi bir dengeleyici (kireç vb.) eklenmesine ihtiyaç olup olmadığını belirlemek önemli rol oynayacaktır. Aynı şekilde pasa sahalarının hidrojeolojisin ve depolanacak malzeme ile etkileşecek su miktarının belirlenmesi, pasa sızıntı suyunun kalitesinin belirlenmesine ve uygun işletme ve kapanış planlamasının yapılabilmesine olanak sağlamaktadır.

3. SONUÇLAR

Maden su yönetimini çevresel ve ekonomik faydaları incelenirken öncelikle proje aşamasındaki bir madenin koruma alanına girip girmediği coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla kontrol edilmeli, projenin içinde bulunduğu havza, morfolojik, hidrometeorolojik verilerle birlikte incelenmeli, havza içindeki mevcut su kullanıcıları, su temin sistemleri ile kullanım miktarları tespit edilmelidir. Arama aşamasında açılan sondajlar kullanılarak çok önemli hidrojeolojik veriler düşük maliyetlerle ve zaman kaybına yol açmadan toplanarak, işletmenin yeraltı suyu tablasına girip girmeyeceği ve susuzlaştırma gereksinimi erken aşamalarda ortaya konulabilir. Ayrıca maden sahasını temsil eden hidrojeolojik ve hidrolojik verilerin elde edilmesi kurulacak modellerin temelini oluşturduğu için büyük bir titizlikle çalışılmalıdır. Bununla birlikte maden su

ihtiyacı detaylandırılarak optimize edilmelidir. Böylece su temininin doğal kaynaklara olan baskısı indirgenecek ve maliyet tasarrufları sağlanacaktır. Diğer taraftan işletme sırasında karşılaşılacak suyun uzaklaştırılması ve susuzlaştırma ile deşarj edilecek suyun kalitesinin ve miktarının belirlenmesi çevresel ve ekonomik açısından büyük önem taşımaktadır. Açık ocak şevlerinin dikleşmesi ile kazanılabilecek üretim karlılığı için ocak duvarlarındaki su basıncının değiştirilmesi gerekmektedir. Basınçsızlaştırma çalışması ile kabaca seçilen şev açılarının neden olduğu yüksek kazı maliyetleri önlenmektedir. Proje sahası ve çevresinde bulunan içme-kullanma suyu kaynakları, sucul ekosistemler ve su noktalarına madencilik faaliyetleri kaynaklı olası etkilerin belirlenerek önlemlerin ortaya konması toplumsal hassasiyet de düşünüldüğünde çok önemlidir.

KAYNAKLAR

Türkiye İstatistik Kurumu, 2016. Maden İşletmeleri Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri, Sayı 14 /2015

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2015. Havzalara Göre Yıllık Yeraltı Suyu Potansiyeli, 2013-2015

Wilson, E., Blyth, J., 2014. Go with the flow, Mining Magazine, pp. 72-73.

Griffiths, J., Connelly, R., Harding, W., 2008. The importance of a good Mine Water Balance and the benefit of early data collection, Mining Journal Article.

Mackie, D., Mayer, J., 2015. How good are results from small scale injection tests?, Mine Water Solutions in Extreme Environments 2015 by InfoMine

El Idrysy, H., Bowell, R., Rex, T., Dey, M., Harding, W., 2011. Making the most of mine water, Water Management, pp. 46-48.

Hoekstra, D., Northey, S., Upton, M., Williamson, P., 2016. Mine water footprint as a primary tool for water stewardship, Industrial Water Use and Reuse Workshop.

Hamilton, T., 2016. The true cost of groundwater.

Dey, M., Williams, C., 2015. Stormwater management, Quarry Management, pp. 25-26.

Balasubramaniam, Y., Panda, A., 2014. Tackling water management in mining, AWA Water Journal Water in Mining, February edition.

MADENCİLİK FAALİYETLERİNDE SOSYAL ETKİ DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARININ ÖNEMİ

THE IMPORTANCE OF THE SOCIAL IMPACT ASSESSMENT STUDIES FOR THE MINING ACTIVITIES

Okşan GÜRTUNA HALİLOĞLU

SRK Danışmanlık Mühendislik A.Ş., Ankara, TÜRKİYE

ogurtuna@srkturkiye.com

ÖZET: Türkiye'de yürütülmekte olan Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) çalışmalarında, esas olarak projelerin potansiyel çevresel etkilerinin tespitine ve değerlendirilmesine odaklanılırken; sosyal çevre üzerindeki etkiler genellikle göz ardı edilmektedir. Faaliyetlerin sosyal boyutlarının tespiti literatür çalışmaları ile elde edilen verilerin toplanıp derlenmesi ve Halkın Katılımı Toplantısı sırasında paydaşların proje konusunda bilgilendirilmesi ile sınırlı kalmaktadır. Sosyal Etki Değerlendirme (SED) çalışmaları Türkiye'de maalesef ekstra/gereksiz masraf olarak değerlendirilmekte ve sadece projenin durdurulması ya da iptali gibi projenin sürdürülebilirliğini tehdit eden durumlar söz konusu olduğunda gündeme gelmektedir. Ancak zamanında gerçekleştirilmemiş ve zorlu/bozulmuş ilişkilerin ve süreçlerin üzerine planlaması yapılan SED çalışmalarının olumlu sonuç vermeleri oldukça zor ve bazı durumlarda ise neredeyse imkansızdır. Dünya genelindeki ÇED uygulamalarına bakıldığında ise faaliyetlerin sosyal etkilerinin de en az çevresel etkiler kadar dikkate alındığını söylemek mümkündür. Ülkemizde ise SED çalışmalarına sadece Ekvator Prensipleri'ni benimsemiş Uluslararası Finans Kurumu (IFC) ve Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası (EBRD) gibi Ekvator Prensipleri Finansman Kurumları'ndan finansal destek alarak yürütülecek projelerde titizlik gösterildiği görülmektedir. SED çalışmalarının temelindeki iki bileşen Mevcut Sosyal Durum Tespiti ve paydaş katılım faaliyetleridir. Ek olarak, vurgulamak gerekir ki, SED çalışmaları kapsamında gerçekleştirilecek olan çalışmalar projenin arama, inşaat, işletme ve kapama aşamalarına göre planlanmalı ve uygulanmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Sosyal etki değerlendirme, Paydaş katılım, Madencilik, Ekvator prensipleri, Uluslararası finans kurumları

ABSTRACT: *In Turkey, the Environmental Impact Assessment (EIA) studies pay limited attention to the impacts of the project on the social environment while it focuses on determining and assessing the potential environmental impacts. The social assessment studies are limited to collection and compilation of data received through literature review while the stakeholder engagement is limited with information disclosure via official Public Participation Meeting which is a part of the EIA process. Unfortunately, the Social Impact Assessment (SIA) studies are considered as extra/unnecessary expenses and are considered to be studies which are critically important only if the Project's sustainability is under danger. However, it is hard and sometimes almost impossible to receive positive impacts via the SIA studies which are conducted after already problematic and disrupted relations and processes. On the other hand, the Environmental and Social Impact Assessment (ESIA) studies conducted across the globe consider social impacts to the same degree with the environmental impacts while in Turkey social impacts are considered only by the companies applying to financial intermediaries (i.e. IFC, EBRD, etc.) which are practitioner of the Equator Principles. The major two components of the SIA studies which are Social Baseline and Stakeholder Engagement activities should be conducted since the exploration phase of the Project and should be developed appropriately to different phases (construction, operation and closure) of the Project.*

Keywords: *Social ımpact assessment, Stakeholder engagement, Mining, Equator principles, International finance intermediaries*

1. GİRİŞ

Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) süreci bir faaliyetin çevre ve sosyal çevre üzerindeki potansiyel etkilerinin belirlenmesini ve bu etkilerin olası sonuçlarının ortaya konmasını amaçlar. Çalışma dahilinde olumlu etkilerin güçlendirilmesi, olumsuz etkilerin ise kabul edilebilir en aza indirgenmesi veya mümkünse bertaraf edilmesi için yöntemler belirlenir.

Türkiye'de yürütülmekte olan ÇED çalışmalarında, esas olarak projelerin potansiyel **çevresel etki**lerinin tespitine ve değerlendirilmesine odaklanılırken; sosyal

çevre üzerindeki etkiler çoğunlukla göz ardı edilmektedir. Faaliyetlerin sosyal boyutlarının tespiti, literatür çalışmaları ve Halkın Katılımı Toplantısı (HKT) sırasında paydaşların proje konusunda bilgilendirilmesi ile sınırlı kalmaktadır. Diğer bir deyişle, ÇED raporu için gerekli olan sosyal çalışmalar sadece literatür çalışmaları ile elde edilen veriler ile sınırlı kalmakta ve faaliyetin etkili olacağı bölge, paydaşlar ve yerel halk özelinde bilgiler olmadan tamamlanmaya çalışılmaktadır.

Sosyal Etki Değerlendirme (SED) çalışmaları ise Türkiye'de maalesef **ekstra/gereksiz masraf** olarak değerlendirilmekte ve sadece projenin durdurulması ya da iptali gibi projenin sürdürülebilirliğini tehdit eden durumlar söz konusu olduğunda gündeme gelmektedir. Ancak zamanında gerçekleştirilmemiş ve zorlu/bozulmuş ilişkilerin ve süreçlerin üzerine planlaması yapılan SED çalışmalarının olumlu sonuç vermeleri oldukça zor ve bazı durumlarda ise neredeyse imkansızdır.

Son dönemlerde SED çalışmalarına gerekli özen gösterilmemiş çalışmalarda yaşanan sorunların başlıcaları şu şekilde sıralanabilir;

- Paydaşların özellikle de yerel halkın ciddi anlamda **maddi ve manevi mağduriyet** yaşaması,
- Mağduriyetler nedeniyle firma ve projeye **karşı olumsuz tepkilerde artış**,
- Bozulan ilişkiler ve eksik çalışmaların sonradan yapılmaya çalışılması nedeniyle **proje takviminin aksaması**,
- Proje sahibinin **olumlu imajını ve saygınlığını kaybetmesi**,
- Proje sahibine karşı **önyargıların** proje sahibinin ülkedeki **diğer projelerine de engel** oluşturması, ve
- Projenin arama ve fizibilite aşamalarında gereksiz masraf olarak görülen SED çalışmalarının ileride yaşanan aksamalar nedeniyle proje sahibine ciddi anlamda **zaman ve maliyet kaybı** yaşatması.

Faaliyetin ilk aşamalarında masraf olarak görülen SED çalışmaları, olumsuz süreçler sonunda gerçekleştirilmeye çalışıldığında hem paydaşlara hem de faaliyet sahibine çok daha ağır faturalar çıkarabilmektedir.

ÇED çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen sosyal çalışmalar ile ilgili olarak ortaya çıkan yetersizliğin ana nedenlerinden birisi de ülkemizde sosyal konularda görüş veren ve denetim yapan birimlerin mevcut olmamasıdır. Diğer bir deyişle, sosyal çalışmalar uluslararası standartlara uygun olarak gerçekleştirilse dahi bu çalışmaları

inceleyecek, değerlendirecek, görüş bildirecek ve izlemesini yapacak bir resmi kurumun eksikliği de SED sürecine engel teşkil etmektedir.

1.1. Sosyal Çevre ve Sosyal Etki Nedir?

Sosyal çevre, bireylerin mevcut durumda içinde yaşamakta oldukları fiziksel ve sosyal ortam olarak tanımlanabilir. Sosyal etki ise, gerçekleştirilmesi planlanan bir projenin sosyal çevre üzerindeki etkisidir. Sosyal etki bir projenin, bir topluluğun veya bireyin mevcut sosyal yapısı, gündelik yaşam faaliyetleri ve refahı üzerindeki etkisi olarak da tanımlanabilir.

ÇED çalışmalarının dünya üzerindeki örneklerine bakıldığında, faaliyetlerin sosyal etkilerinin de çevresel etkiler ile aynı hatta daha fazla dikkate alındığını söylemek mümkündür. Ülkemizde SED çalışmalarına sadece Ekvator Prensipleri'ni (EP) benimsemiş Ekvator Prensipleri Finansman Kurumları'ndan (EPFK) (özel finans kurumları veya uluslararası kuruluşlar) finansal destek alarak yürütülecek projelerde titizlik gösterildiği görülmektedir.

Ekvator Prensipleri; finansal kurumların projelerde çevresel ve sosyal riskin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve yönetilmesi amacıyla benimsemiş oldukları bir risk yönetim çerçevesidir. Prensipler, Citigroup, ABN AMBRO,Barclays ve WestLB gibi özel sektör bankalarının önderliğinde, 2003 yılının Haziran ayında Dünya Bankası ve IFC'nin çevresel ve sosyal performans standartları model alınarak geliştirilmiştir. EP 2006 yılının Haziran ayında içerik ve süreçlerin güçlendirilmesi adına bir kere daha güncellenerek 10 milyon dolar ve üzerinde bütçeye sahip tüm projeler için uygulanabilir hale getirilmiştir. Bahsi geçen prensiplerin sadece kuzey yarım küreye yönelik olmadığı aksine bunun 'küresel', 'eşitleyici', 'uyumlaştırıcı' ve 'kuzey ve güney yarım küreyi dengeleyici' olduğu vurgusunun yapılabilmesi için 'ekvator' kavramı kullanılmıştır.

Ekvator Prensipleri, projelere sağlanacak finansman, sosyal ve çevresel etkiler ile risklerin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve bu etki ve risklerin yönetilmesi gibi kriterlere bağlıdır. Bu prensipler ışığında, IFC ve EBRD gibi EPFK'lar projelere yatırım sağlama kararlarını verebilmek için kendi performans standartlarını/koşullarını oluşturmuşlardır. Günümüzde, 37 farklı ülkedeki 91 adet EPFK, Ekvator Prensipleri'ni resmen kabul etmiştir. Bu prensiplere bakıldığında, sosyal etki kavramının oldukça geniş bir yelpazede ele alındığı görülmektedir: projenin yerel halk ve tüm paydaşların

sosyo-ekonomik statüleri, yaşam standartları, kültürel kimlikleri, insan hakları, sağlık koşulları, gıda güvenceleri, çalışma koşulları ve bilgi edinme hakları vb.

1. SED ÇALIŞMASI NEDİR, KAPSAM VE METODOLOJİSİ NASIL BELİRLENİR?

SED çalışmalarının temelinde iki çalışma vardır; **"Mevcut Sosyal Durum Tespiti (MSDT) ve Etki Değerlendirmesi"** ve **"Paydaş Katılım Planı (PKP)"**. Bahsi geçen bu iki çalışmanın kapsamları ise şu şekilde özetlenebilir;

- **MSDT ve Etki Değerlendirme çalışmaları** ilk aşamada projenin potansiyel etkilerini hem teknik hem de sosyal (sosyo-ekonomik, demografik, kültürel vs.) verilerden faydalanarak tespit eder. Örneğin, söz konusu madenin açık ocak olup olmaması, kullanacağı arazinin niteliği gibi teknik bilgiler, açık ocağın yaratacağı çevresel etkiler, maden dolayısıyla yaşanacak arazi kayıplarının yerel halka etkileri gibi sosyal boyuttaki verilerle ortak olarak değerlendirilip, bu raporlara yansıtılır. İkinci aşamada ise tespit edilen etkilerin yönetimi için eylem önerileri ortaya konur. Değerlendirmeye tüm paydaşların projeye yaklaşımı, görüşleri, önerileri ve tepkileri de dahil edilmektedir.
- **Paydaş Katılım Planı** ise proje süresince tüm paydaşların zamanında ve yeteri ölçüde bilgilendirilebilmesi için uygulanması gereken stratejiyi ortaya koymaktadır. Aynı zamanda projenin iletişim stratejisini ve proje özelinde geliştirilmiş şikâyet mekanizmasının detaylarını içermektedir.

Bu iki çalışma her zaman paralel olarak yürütülür ve birisinin diğerine göre üstünlüğü bulunmamaktadır. Bu iki çalışmayı takiben hazırlanacak raporlarla SED çalışması tamamlanmış olur. Bahsi geçen çalışmaların içeriği projenin kapsamı, amacı, büyüklüğü ve niteliğine bağlı olarak değişmekte, hatta bazı durumlarda bazı ek çalışmaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

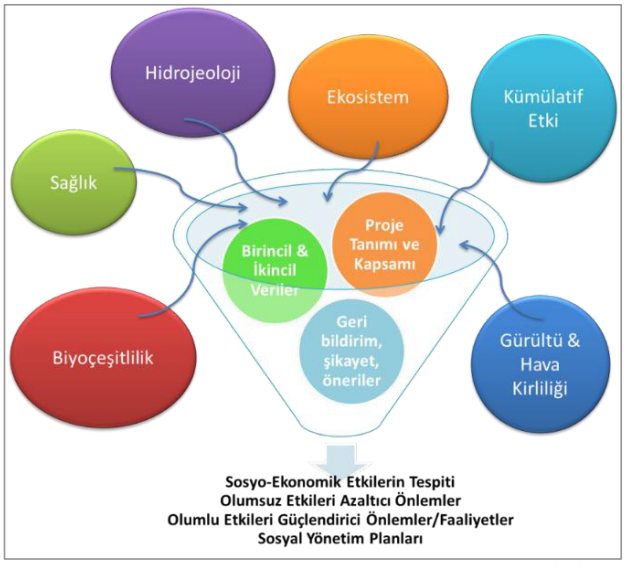
Örneğin; büyük miktarlarda tarımsal arazi kaybına neden olacak ve sosyal huzursuzluk potansiyelinin yüksek olduğu bir maden projesini ele alalım. Böyle bir projede, SED raporu ve PKP'na ek olarak, maden için firma tarafından satın alınacak ya da kiralanacak arazilerin sahiplerinin maddi kayıplarının ve karşılıklı mağduriyetlerin önlenebilmesi için Arazi Edinim Planı hazırlanması uygun olacaktır. Arazi kayıplarına istinaden yaşanacak geçim kaynağı kayıplarını azaltmak ve sürdürülebilir ekonomik

geçim kaynakları yaratmak ve uygulamak için Geçim Kaynaklarını Geri Kazandırma Planı da bu çerçevede hazırlanabilecektir. Tüm bu çalışmaların uygulanması, projenin uygulandığı sosyal çevreyle ilişkilerini düzenleyecek, projeden kaynaklanabilecek mağduriyetleri önleyecek, projenin bulunduğu çevrede kabulünü hızlandıracak ve proje sahiplerinin itibar ve işlerini kolaylaştıracaktır.

Yukarıdaki maden örneğinden yola çıkarak, SED çalışmalarının kapsamının faaliyetin niteliği, büyüklüğü, coğrafi koşulları ve takvimi gibi kriterlere bağlı olduğunu söylemek mümkündür. Belirlenen SED kapsamına göre çalışmalar sırasında kullanılacak veri toplama tekniklerinin ve paydaş bilgilendirme araçlarının niteliklerine karar verilecektir.

SED çalışmalarının en önemli amaçlarından bir tanesi de tüm paydaşların farkındalığını arttırmak, sürecin bir parçası olduklarına ve süreçte söz sahibi olduklarına dair bilinci yükseltmektir. Bugüne kadar ülkemizde ve dünyadaki deneyimler katılımcı anlayışın çok daha olumlu bir sonuç verdiğini göstermiştir.

Diğer yandan SED çalışmalarının disiplinlerarası bir yaklaşımı benimsemiş olduğunu belirtmek gerekir. Çalışmalar sırasında yerel halk ve ilgili paydaşlardan elde edilen verilere ve projenin teknik detaylarına ek olarak farklı disiplinlerden, konularında uzman kişilerin de görüş ve çalışmalarına ihtiyaç duyulabilmektedir (örneğin; halk sağlığı, hidrojeoloji, ekosistem, gürültü ve hava kirliliği, biyoçeşitlilik, vs.).



Şekil 1: SED Çalışmalarına Destek Sağlayan Diğer Disiplinler

Bu tür çalışmalarda, kapsamın, veri toplama araçlarının ve takviminin belirlenmesi büyük önem arz etmekte olup, en az bunlar kadar kritik başka bir konu da iş bölümünün yapılmasıdır. SED sürecinin konusunda uzman danışmanların liderliğinde yürütülmesi ve bu çalışmaların proje sahibinin de desteğiyle bir takım halinde sürdürülmesi oldukça önemlidir. SED sürecinin ÇED ve fizibilite süreçleri ile paralel yürütülmesi gereklidir. Sürekli bir iletişimin sağlanması ve bilgi alışverişinin sıkıntısız bir şekilde ilerlemesi gerekli dokümanların zamanında ve istenen kalitede hazırlanmasını kolaylaştıracağı gibi projenin de sağlıklı adımlarla ilerlemesine katkıda bulunacaktır.

2.1. SED Çalışmalarının Kazandırdıkları

Projeye uygun bir şekilde planlanmış SED çalışması, sürecin uluslararası standartlara uygun olarak ilerlemesini sağlar. Uluslararası standartlarda bir SED süreci ise faaliyet sahibinin kredibilitesini arttırmanın yanı sıra son dönemlerde Türkiye'deki faaliyetler açısından oldukça önemli olan **sosyal ruhsat**ın elde edilmesini kolaylaştıracaktır. Sosyal ruhsat, projenin ve proje sahibinin tüm paydaşlar (özellikle de faaliyet bölgesinde yaşayan yerel paydaşlar) tarafından kabulü, faaliyetin gerçekleştirilmesine razı olmaları ve projenin ilerleyen aşamalarında faaliyet sahibi ile işbirliğine açık olmaları olarak düşünülebilir.

SED çalışmaları kapsamında gerçekleştirilecek olan **Mevcut Sosyal Durum Tespit** (MSDT) çalışması ile beraber proje sahibi etki alanındaki yerleşim birimleri ve buradaki yerel halka dair değerli ve düzenli zaman aralıkları ile güncellenebilir bir arşiv elde edecektir (bkz. Şekil 2)

Şekil 2. Mevcut Sosyal Durum Tespit Çalışması ile Elde Edilecek Veriler

Zamanında ve düzenli olarak gerçekleştirilecek paydaş katılım faaliyetleri sayesinde;

- Paydaşlar ile sağlıklı, güvenilir ve şeffaf bir iletişim ağı,
- Başarılı beklenti ve tepki yönetimi,
- Olası etkilerin erken tespiti ve takibi, sorun ve fırsatların tespit edilmesi ve sorunların bertaraf edilmesi,
- Sosyal, çevresel ve ekonomik değişimler arasındaki bağın güçlendirilmesi ve olası dengesizliklerin kontrolü,
- Uygun sosyal yatırımların tespiti ve uygulanması,
- Proje süresince gerçekleştirilecek paydaş görüşmelerinin önceden planlanması ve görev dağılımının oluşturulması, ve
- Uzlaşma yoluyla projenin hazırlanma sürecinin hızlandırılması ve duraksama/iptal durumlarının ortadan kaldırılması,

sağlanmış olacaktır.

2. SONUÇ

SED çalışmalarının sadece ÇED Yönetmeliği'nin içeriğine bağlı kalınarak gerçekleştirilmesi projenin uygulanması ve sürdürülebilirliği için yeterli gelmemektedir. **Bu dar kapsamda hazırlanan çalışmalar da kimi zaman proje hazırlıklarının ve faaliyetlerinin aksamasına ve hatta kimi zaman durdurulmasına neden olabilmektedir. SED çalışmalarının zamanlaması ve kapsamı en az çevresel etkiler ve projenin teknik detayları kadar önemlidir ve azımsanmamalıdır**. Faaliyet sahiplerinin ve faaliyetlerin resmi izin ve onaylara ek olarak gayri-resmi bir onay dahi olsa "**sosyal ruhsat**"larını kazanmaları artık ekstra bir durum olarak görülmemelidir. Zira tekrar vurgulamak gerekir ki, **paydaşlarının rızası**nı/onayını alamamış bir proje sahibi hiç **beklenmedik bir anda** ciddi maddi ve manevi kayıplar yaşama riskini de göze almış demektir.

SED çalışmalarının zamanlaması kadar **sürekliliği** de önem arz etmektedir. Bu çalışmalar, proje başlarken hazırlanıp, proje ömrü boyunca da belirli aralıklarla güncellenmelidir.

Bir SED çalışması sonucunda faaliyet sahibi,

- faaliyet alanındaki yerleşim birimlerinin mevcut sosyo-ekonomik durumu,

- paydaşlarının projeye bakış açıları, önerileri ve şikayetleri,
- projenin sosyal çevre üzerine etkileri ve bu etkilerin dereceleri,
- olumsuz etkiler için alınması gereken önlemler, ve
- olumlu etkilerin güçlendirilmesi için gerçekleştirilmesi gereken eylemler

hakkında detaylı bilgiler içeren zengin bir dokümana, hatta bundan da öte bir **kılavuza** sahip olacaktır. Ayrıca proje sahibi madeni için finans kaynakları ararken, dünya proje finansmanının %70'ini sağlayan EPFK'ların karşısına da hazırlıklı olarak çıkıp, proje finansman şansını arttırabilecektir.

Zamanında gerçekleştirilmiş kapsamlı bir SED çalışması, maden projesi sahibi için her zaman bir artı değer yaratır ve olumsuzluklar karşısında bir yol gösterici olarak kullanılabilir. Bu tür bir çalışma, projeye özgü yönetim planları, izleme çalışmaları, gerçekleştirilmesi planlanan yatırımlar ya da diğer faaliyetler için de birer kaynak olacaktır. Bu tür projelerin içinde bulundukları sosyal çevreden ayrı düşünülemeyeceği hesaba katıldığında, anılan çalışmaların projelerin sürdürülebilirliği ve başarısı için ne kadar önem arz ettikleri takdir edilecektir.

En başta belirtildiği üzere, Türkiye'de SED çalışmalarını değerlendirecek ve izleyecek bir resmi birimin kurulması, ÇED yönetmeliğinin Ekvator Prensipleri'ne uygun olarak Çevresel ve **Sosyal** Etki Değerlendirme (**ÇSED**) Yönetmeliği olarak geliştirilmesi ve güncellenmesi ilerleyen zamanlarda gerçekleştirilecek yeni faaliyetler için de daha avantajlı olacaktır. Böyle bir resmi birim hem Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın hem de diğer devlet kurumlarının artık sık sık karşımıza çıkan maden projelerinin kamuoyu ile olan sıkıntılarını da bir ölçüde azaltacaktır.

KAYNAKLAR

Ekvator Prensipleri Resmi İnternet Sayfası. Erişim adresi: http://www.equator-principles.com/

CGS Center, Kurumsal Yönetim ve Sürdürülebilirlik Merkezi Resmi İnternet Sitesi. Erişim adresi: http://www.cgscenter.org/newsletter/ekvatorprensipleriocak2010.pdf. Erişim tarihi: 15 Ağustos, 2017.

Glenister, David A., *Equator Principles – A bright beacon for responsible banking*. Erişim adresi: https://www.slideshare.net/tbliconference/equator-principlesa-bright-beacon-for-responsible-banking?next_slideshow=1 , Erişim tarihi: 15 Ağustos, 2017.

MADENCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ
MINING AND CLIMATE CHANGE

A. Çağatay DİKMEN

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara, TÜRKİYE

acdikmen@hotmail.com

ÖZET: Sanayi devriminden bu yana atmosferdeki miktarı aşırı miktarda artan sera gazı emisyonlarının neden olduğu küresel iklim değişikliğinin etkileri şimdiden izlenmekte olup, bu etkilerin gelecekte daha da belirgin hale geleceği tahmin edilmektedir. Madencilik ile iklim değişikliği ilişkisi çoğunlukla, fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan gazların yarattığı olumsuzluklar üzerine yoğunlaşsa da, madencilik faaliyetleri sonucu oluşan seragazları bulunmakta, bu gazlarında iklim değişikliğine olumsuz katkısı bulunmaktadır. Ayrıca iklim değişikliğinin olumsuz sonuçlarından madencilik sektörü de etkilenmektedir. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden en çok etkilenecek bölgeler arasında bulunan Akdeniz Havzası'nda yer alan Türkiye'de de madencilik sektörü küresel iklim değişikliğini gündemine almalı, hem uyum sağlamalı hem de sera gazı azaltım politikaları oluşturmalıdır.

Anahtar Kelimeler: İklim değişikliği, Seragazı, Madencilik, Uyum

ABSTRACT: *Since the industrial revolution, the effects of global climate change, which is caused by excessively high amounts of greenhouse gas emissions in the atmosphere, are already being monitored and it is estimated that these effects will become even more cleared in the future. The relationship between mining and climate change is mainly focused on the negativity of the gases that are finally released by the combustion of fossil fuels, mining activities there are greenhouse gases that occur as a result, there are adverse effects of climate change on these gases. The mining sector is also affected by the negative consequences of climate change. In Turkey, located in the Mediterranean Basin, which is among the most affected areas by the adverse effects of climate change, the mining sector should also take global climate change into consideration and create harmonization and greenhouse gas reduction policies.*

Keywords: *Climate change, Greenhouse, Mining, Adaptation*

1. GİRİŞ

Ülkelerin ekonomik büyüme çabaları ve nüfus artışları, çevre üzerinde aşırı baskı yaratmaktadır. Çevre değerlerini dikkate almayan serbest ekonomik büyüme süreci, yenilenemeyen doğal kaynakların tükenmesine, alıcı ortamların geri dönülmez şekilde kirlenmesine ve canlı yaşamının devamına ciddi zararlar vermektedir. Çevre sorunları, önceleri yerel veya bölgesel sorunlar iken, günümüzde küresel boyutlara ulaşmış; başta iklim değişikliği olmak üzere, hava ve su kirliliği, biyolojik çeşitlilik kaybı, ormansızlaşma, tarım alanlarının kaybı vd. sorunlar tüm insanlığın sorunları haline gelmiştir.

Çevrenin kirlenmesi ya da bozulması, çevreyi oluşturan öğelerin çeşitli dış etmenler nedeni ile giderek niteliğinin değişmesi, değerini yitirmesi olayıdır. Çevre sorunları birden bire ortaya çıkmamış, zaman içinde birikerek varlığını hissettirmiştir. Özellikle, sanayi devrimi sonrasında hızla artan endüstrileşme faaliyetlerinin, dünyanın doğal dengesi üzerindeki bozucu etkisi, doğanın taşıma kapasitesini aşmaya başlamış, yerel ve küresel düzeyde olumsuz sonuçlara sebep olmuştur. Bu sonuçlardan en önemlisi küresel ısıma veya daha doğru bir ifadeyle iklim değişikliğidir.

İklim değişikliği, doğal çevre, kent yaşamı, kalkınma ve ekonomi, teknoloji, insan hakları, tarım ve gıda, temiz su ve sağlık gibi yaşamın bütün alanlarını olumsuz etkileyen günümüzün en önemli sorunlarından biridir. Fosil yakıtların kullanımındaki artış, ormanların tahrip edilmesi, arazi kullanımındaki değişiklikler, sanayi süreçleri, hızlı nüfus artışı ve insan faaliyetleri atmosferde sera gazlarının birikmesine sebep olarak küresel ısınmayı hızlandırmış ve iklim değişikliğini, insanoğlunun hayatını tehdit eden en önemli sorunlardan biri haline getirmiştir. Küresel ölçekte bir çevre sorununun ötesinde bir mesele olan iklim değişikliğinin, uzun dönemde dünyayı etkilemeye devam edeceği, gelecek birkaç on yıl içinde gezegenin, sıcaklıkta artış ve yağış biçimlerinde değişikliklerle karşı karşıya kalacağı bugün bilimsel çalışmalarla kanıtlanmıştır (IPCC,2014).

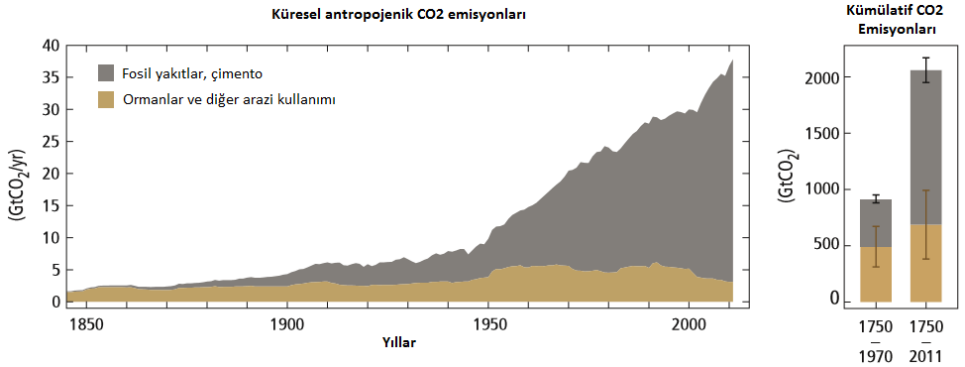
Küresel ısınmaya yol açan sera gazları; temel olarak fosil yakıtlardan, çeşitli sanayi kollarından özellikle, çimento, enerji, ulaşım, madencilik ve endüstriyel tarımdan kaynaklanan ve havaya salınan gazlardır. Madencilik ile iklim değişikliği ilişkisi çoğunlukla, fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan gazların yarattığı olumsuzluklar

üzerine yoğunlaşsa da, madencilik faaliyetleri sonucu oluşan sera gazları bulunmakta ve iklim değişikliğinin olumsuz sonuçlarından madencilik sektörü de etkilenmektedir.

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

İklim değişikliği dünyanın küresel anlamda en önemli çevre sorunudur. Sanayi devrimi ile birlikte katlanarak artmakta ve dünya için gittikçe daha büyük bir sorun olmaya devam etmektedir. İklim değişikliği kavramı, yerkürenin uzun jeoloji tarihi boyunca yaşanan iklimin doğal değişkenliğine ek olarak insan etkinliklerinin neden olduğu değişikliktir. Fosil yakıtların yakılması, arazi kullanımı değişiklikleri, ormansızlaştırma ve sanayi süreçleri gibi insan etkinlikleriyle atmosfere salınan sera gazı birikimlerindeki hızlı artışın sonucunda Yerkürenin ortalama yüzey sıcaklıklarındaki artışı ve iklimde oluşan değişiklikleri ifade etmektedir. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde ise iklim değişikliği, "karşılaştırılabilir bir zaman döneminde gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan ya da dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan etkinlikleri sonucunda iklimde oluşan bir değişiklik" biçiminde tanımlanmaktadır. Sera gazı emisyonlarındaki artış, özellikle 1850'li yıllardan itibaren, yani sanayi devriminden bu yana net olarak gözlemlenmektedir (UNFCCC).

Hükümetler arası İklim Değişikliği Panelinin (IPCC) 2014 yılında yayımlanan İklim Değişikliği raporunda 1750-2011 yılları arasında insan kaynaklı karbondioksit emisyonlarının küresel kümülatif değeri 2040 ± 310 $GtCO_2$ olarak belirlenmiştir. Bu miktarın yaklaşık %40'ı yani 880 ± 35 $GtCO_2$ atmosferde kalmış, geri kalan kısmı okyanuslarda, bitkilerde ve topraklarda depolanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. İnsan kaynaklı karbondioksit emisyonları (IPCC,2014)

Fosil ve biyokütle yakıtların yakılması, insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının en büyük kaynağıdır. Ulaşım, elektrik üretimi, endüstriyel tüketim ve evsel kullanıma yönelik fosil yakıtların yakılması; arazi kullanımında meydana gelen değişiklikler; atık bertarafı ve endüstriyel flüorlu gaz kullanımı sera gazlarının başlıca kaynakları olarak sayılabilir. Atmosferdeki toz miktarı artışına bağlı olarak küresel loşlaşma, şehirleşmedeki hatalara bağlı büyükşehirlerde şehir ısı adalarının oluşumu gibi etkenlerde iklim değişikliğine katkı yapmaktadır (Duygu, 2010).

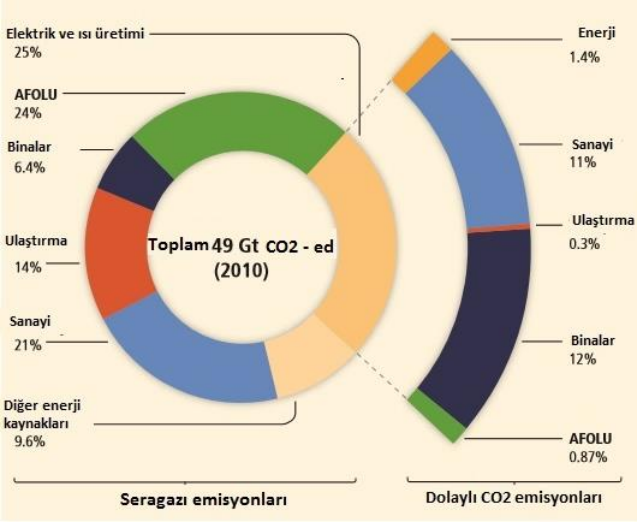
İklim değişikliğinin en belirgin sonuçları buzulların erimesi, deniz seviyelerine yükselmesi, ekstrem hava olaylarının şiddetinde ve sıklığında önemli değişimler göstermesi ve ekolojik yapının tamamen değişmesidir. En büyük etkinin, aşırı hava ve iklim olayları, deniz seviyelerinde yükselme, Kuzey Kutbu, Grönland ve Antartika'daki buzullarda kayda değer oranda küçülme, okyanus ve deniz suyu sıcaklıklarında artış ve asitleşme olduğu düşünülmektedir. Küresel sıcaklıklardaki artışlara bağlı olarak; hidrolojik çevrimin değişmesi, kuraklık- çölleşme, kara ve deniz buzullarının erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi, iklim kuşaklarının yer değiştirmesi ve yüksek sıcaklıklara bağlı salgın hastalıkların ve zararlıların artması gibi, dünya ölçeğinde sosyo-ekonomik sektörleri, ekolojik sistemleri ve insan hayatını doğrudan etkileyecek önemli değişikliklerin oluşabileceği beklenmektedir.

IPCC'ye göre iklim sistemindeki ısınma açıktır ve 1950'den bu yana gözlenen değişiklikler önceki on yıllar ve bin yılda görülmemiştir. 1880'den bu tarafa atmosfer ve okyanuslar birlikte 0.85°C ısınmış, kar ve buz miktarları azalmış, deniz seviyesi yükselmiş sera gazlarının konsantrasyonu artmıştır. Ardışık son 3 on yıl, 1850'den beri yaşanan en sıcak on yıllar olmuştur. Kuzey Yarıkürede 1983- 2012 arası son 1400 yılın en sıcak 30 yılı olmuştur. Okyanusların ısınması iklim sisteminde saklanan enerjiyi artırmaktadır, hesaplanan enerjinin %90'ı 1971-2010 arası birikmiştir (IPCC,2014).

Sanayi devriminden bu yana atmosfere salınan toplam insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının % 40'ı, son 40 yıl içerisinde gerçekleşmiştir. 1970-2000 arasında yılda ortalama % 1,3 oranında artış gösteren küresel emisyonlar, 2000-2010 arasında % 2,2 oranında artmıştır. Bu artışın ana nedeni fosil yakıt kullanımı ve endüstriyel süreçlerdir.

2010 yılında yerkürenin toplam emisyon miktarı 49 Gt CO2 (Şekil 2) olup, bunun % 65'i fosil yakıt kullanımı ve endüstriyel süreçlerden kaynaklanırken, 1970-2010

arasındaki emisyon artışının % 78'inden bu iki etkenin sorumlu olduğu IPCC'nin raporunda ortaya konulmuştur.



Şekil 2. Sektörel sera gazı emisyonları (IPCC,2014)

İklim değişikliği nedeniyle karalarda, tatlısularda ve denizlerde yaşayan pek çok canlı türünün yaşam alanları kalıcı olarak etkilenmiştir. Dünyanın pek çok bölgesinde yağış rejiminde değişiklikler ve kar-buz örtülerinin erimesi nedeniyle hidrolojik sistemlerde değişiklikler olmuş, su kaynakları nicelik ve nitelik açısından bozulmuştur. Son 20 yılda Grönland ve Arktik buz kütleleri hacim kaybetmeye devam etmiş, Kuzey Yarıkürede ilkbahar kar örtüsü azalmıştır. 19. Yüzyıldan bu yana gerçekleşen deniz seviyesi yükselme oranı son 2000 yıldan fazladır. 1901- 2010 arası küresel deniz seviyesi 19 cm artmıştır (IPCC,2014).

İklim değişikliğinin tarımsal ürünler üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri olmakta; olumsuz etkisi, olumlu etkisinden çok daha fazla ve yaygındır. İklim değişikliği gıda güvenliğini ve şehirleşmeyi etkilemektedir ve insanları yaşadıkları yerlerden edecektir. Dünya çapında meteorolojik, hidrolojik ve iklimsel felaketlerin (ani yağışlar, seller, şiddetli kasırgalar, kuraklık dönemleri, sıcak dalgaları vb.) sayısı 1980'den 2014'e kadar yaklaşık üç kat artmıştır (Dikmen,2016).

Kasırga, sel ve deniz seviyesindeki yükselme nedeniyle, küçük ada devletleri, diğer küçük adalar ve kıyı bölgelerinde ölüm ve yaralanmalar; yerleşim alanlarının zarar görmesi, ani seller nedeniyle yerleşim alanlarının zarar görmesi, şehirlerde yaşayan

nüfusun ciddi hastalık tehditleriyle karşı karşıya kalması, aşırı hava olayları nedeniyle altyapı sistemlerinin büyük ölçüde zarar görmesi ve/veya ortadan kalkmasıyla elektrik ve su temini ile sağlık ve acil yardım hizmetlerinin düzenli sürdürülememesinden kaynaklanacak sistemik riskler beklenmektedir.

Sıcak hava dalgalarının yaşanacağı dönemlerde kentsel ve kırsal alanlarda, dışarıda çalışanlar ile kentli nüfusun kırılgan kesimlerinde (yaşlılar, solunum zorluğu çekenler vb.) ölüm ve hastalık oranlarının artması, sıcaklık artışı, kuraklık, seller ve yağış rejimindeki değişiklik ve aşırılıklar nedeniyle, özellikle yoksul kesimler için gıda temin sisteminin işlevini yitirmesi ve gıda güvenliğinin tehlikeye girmesi, içme ve sulama suyuna yetersiz erişim ve tarımsal üretimde düşüş nedeniyle, özellikle yarı kurak bölgelerde yaşayan geçimlik çiftçi ve köylülerin geçim kaynaklarının azalması, karasal ve tatlı su ekosistemleri ile bu alanlarda yaşayan insanların yararlandıkları biyolojik çeşitlilik ve ekosistem hizmetlerinin yok olması dünyanın önünde duran ciddi sorunlardır.

İklim değişikliğinin etkileri şimdiden gözlenmekte olup, gelecekte daha da belirgin hale gelecekleri tahmin edilmektedir. Sıcak hava dalgaları, sel ve kuraklıklar, ekstrem deniz seviyeleri, tropikal ve ekstra tropikal siklonlar gibi ekstrem olaylarının şiddet ve frekansları 20. Yüzyılın ikinci yarısından beri artmıştır ve gelecekte de artmaya devam edecektir. Avrupa Çevre Ajansının raporuna göre ; iklim değişikliğine uyum sağlamaya yönelik faaliyetlerin gerçekleştirilmemesi durumunda, Avrupa'da 2100 yılı itibariyle sıcaklığa bağlı ölümlerin yılda 200.000'e ulaşabileceği tahmin edilmektedir. Akarsu taşkınlarının hasar maliyeti yılda 10 milyar Euro'dan fazla olabilir (EEA,2017)

3. MADENCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

Madenlerin toplum hayatındaki yeri ve ekonomiye yaptığı katkılar yadsınamaz. Bununla birlikte çevreye duyarlı, mühendislik bilim ve tekniğinin uygulandığı yöntemlerle madenlerin üretimi zorunludur. Enerji tüketimi, havaya olan etkiler, su kaynaklarına etkiler, arazi kullanımı, sağlık ve güvenlik başlıkları madencilik faaliyetlerinin oluşturduğu çevre sorunları olarak sayılmaktadır. Madencilik faaliyetleri yakın bir geçmişe kadar yalnızca yerel çevre sorunlarına neden olan faaliyetler olarak kabul edilse de, günümüzde küresel çevre sorunlarından olan iklim değişikliğine neden olan faaliyetler arasında da sayılmaya başlanmıştır (UNFCCC). Madencilik faaliyetlerinin iklim değişikliği ile ilişkisi iki başlıkta incelenebilir.

- Madencilik faaliyetlerinden kaynaklan emisyonlar,
- İklim değişikliğinin madencilik sektörüne etkileri.

3.1. Madencilik Faaliyetlerinden Kaynaklan Emisyonlar

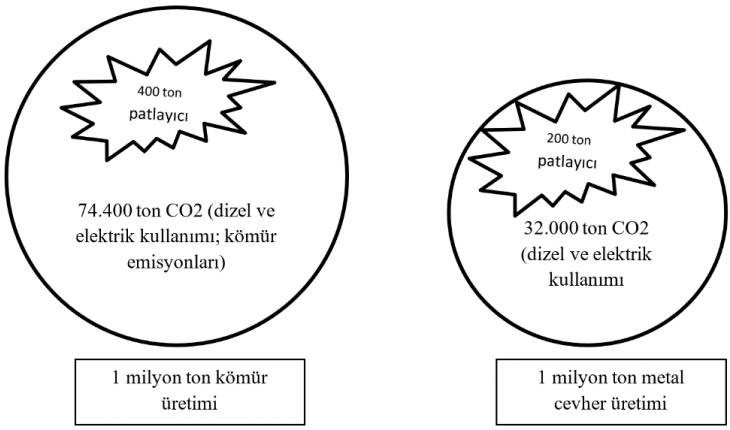
Madencilik sektörü, iklim değişikliğini en başta politik veya düzenleyici bir risk olarak algılamakla birlikte, madenciliğin iklim değişikliğine neden olan unsurları bulunmaktadır. İklim değişikliği envanter çalışmalarında madencilik bir başlık olarak yer almaktadır(UNFCCC). Madencilik sektörü enerji yoğun bir sektördür ve oluşan sera gazı emisyonların büyük çoğunluğu sektörde kullanılan enerji kaynaklarının neden olduğu emisyonlardır. Madencilik faaliyetlerinin iklim değişikliğine etkileri; üretime yönelik kullanılan enerjiden kaynaklanan emisyonlar (araçlarda kullanılan yakıtlardan kaynaklanan emisyonlar dahil), sektörün kullandığı malzemelerin üretimi sırasında oluşan emisyonlar, patlatma yapılması durumunda çıkan gazlar ve yer altında bulunan sera gazı olarak sayılan metan (CH_4), karbondioksit (CO_2) gibi gazların üretim veya sonrasında açığa çıkması olarak sayılabilir.

CO_2 emisyonları büyük ölçüde yeraltından çıkarılan madenin özelliklerine bağlı olarak değişmekle birlikte 2009 yılında yapılan bir çalışmaya göre 1 milyon ton kömür üretimi için 400 ton patlayıcı kullanıldığı kabulüne göre 74400 ton CO_2, 1 milyon ton metal cevheri üretiminde 200 ton patlayıcı kullanıldığı kabulüne göre 32000 ton CO_2 'in atmosfere verileceği bildirilmiştir (Orica, 2009).

IPCC'nin teknik dokümanlarında ise madenin üretim teknolojisine göre (yeraltı madenciliği, açık ocak işletmeciliği) ve terk edilmiş maden alanları için metan ve karbondioksit deşarjı için ortalama standart değerler verilmiştir. Emisyon envanteri hesaplamaları bu değerler üzerinden hesap yapılarak belirlenmektedir (UNFCCC).

3.2. İklim Değişikliğinin Madencilik Sektörüne Etkileri

Madencilik, madenin bulunduğu yerde yapılması zorunlu faaliyetlerdir. Maden alanları ise genellikle son derece zorlu coğrafyalar ve hassas çevre koşullarına sahiptir. Madencilikte işletme şartlarını belirleyen temel koşullar madenin bulunduğu yerin jeolojik yapısı ve yataklanma yapısı olmakla birlikte, işletmenin yapılacağı yerin hava koşulları, işletmenin su ihtiyacı ve işletmede istenmeyen su varlığıda işletme parametrelerinin belirleyen etkenlerdir.



Şekil 3. Maden türlerine göre ortalama sera gazı emisyonları (Orica,2009)

Madencilik faaliyetlerinin geniş coğrafi dağılımına bağlı olarak, iklim değişikliği kaynaklı sıcaklık ve yağış değişimleri, daha sık ve şiddetli aşırı hava olayları, sektör üzerinde karmaşık etkilere sahip olacaktır. İklimsel koşullar, madencilik işletmelerinde altyapının duraylılığını, kullanılan makina ve ekipmanın verimliliğini doğrudan etkileyecektir(Pearce vd.,2009). İklim değişikliği, su ve enerji kaynaklarının maliyetini de etkileyecektir.

Yüksek sıcaklıklar, yağış biçimlerindeki değişiklikler, daha yüksek deniz seviyeleri ya da tam tersi durum, göller ya da nehir seviyelerindeki değişikler madencilik sektörünü çeşitli şekillerde etkileyecektir (ICMM,2013). Madenlere ulaşımda veya maden sahası içerisindeki yollarda veya cevher nakliyesinin yapıldığı ulaşım ağlarının taşkın veya fırtınalardan etkilenmesi de iklim değişikliği kaynaklı madenciliğin etkileneceği alanlardır.

İklim değişikliğinin madencilik sektörüne olası etkileri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1.Maden işletmelerinin altyapısına zarar verebilir: Doğal felaketler, yağış şekillerinde değişiklikler ve yükselen deniz seviyeleri; ulaşım, enerji altyapısı ve madenlerde kullanılan ekipmanların çalışma verimliliğini etkileyebilir, ekipmanlar kullanılmaz hale gelebilirler (Nelson ve Schuchard). Aşırı sıcaklar, bölgenin özelliğine göre yangın riskini arttıracaktır.

2. Tedarik ve ulaşımda sorunlar meydana gelebilir: Artan sıcaklık, daha fazla yağış, değişen yağış miktarı ve yükselen deniz seviyesi, maden işletmesinin ihtiyaç duyduğu mal ve hizmetlere erişimi aksatacaktır. İşletmeye personelin ulaşımı, üretilen madenin cevher işleme tesislerine veya limanlara ulaşımını zorlaştırabilir. Maden işletmesinin

kullandığı motorin, yağ, kereste, patlayıcı madde gibi sarf malzemelerinin maden sahasına ulaşımında aksaklıklar meydana gelebilir.

3. İşçi sağlığı ve iş güvenliği şartlarında zorluklar meydana gelebilir: Doğal felaketler acil sağlık ve güvenlik riskleri getirirken, daha sıcak hava şartları maden işletmelerinde çalışanların sağlığını tehdit edebilir, kazaları arttırabilir. Çalışanlarda oluşabilecek hastalıklar artabilir ve iş gücü kaybı oluşabilir.

4. Artan sıcaklıklar kullanılan kaynakların fiyatlarını arttırabilir: Madencilik faaliyetleri enerji yoğun işlemlerdir. Sıcaklık değişimleri ile artan enerji fiyatları ve su fiyatları işletmenin ekonomikliğini doğrudan etkileyecektir.

5. Artan sıcaklıklar ve yağışlar işletme koşullarını doğrudan etkiyebilir: Maden alanında meydana gelebilecek sel, heyelan gibi doğal afetler, maden işletmesi planlanırken gerekli tedbirleri almayı zorunlu hale getirecektir. Yağmur suyu kuşaklamalarında artış, atık barajlarında ve liç alanlarında alınması gereken tedbirler, basamak eğimlerinde güvenlik katsayılarının arttırılması bu tedbirlere örnek olarak verilebilir.

6. Madenlerin bulunduğu yöre halkındaki kaygıları daha fazla arttırabilir: Madencilik faaliyetler toplumda kaygı ile karşılanan, çevresel hassasiyetlerin çok fazla olduğu faaliyetlerdir. İklim değişikliği ile birlikte artacak kuraklık, sel, yükselen sıcaklıklar ve doğal felaketler sonucunda ortaya çıkacak olan ekonomik sıkıntılar, kıtlık ve hastalıkların artması, sosyal koşulların kötüleşmesi gibi sorunlarındaki artış, maden alanlarındaki çevresel hassasiyetleri de arttıracaktır. İşletmelerin çevreye uyum konusunda daha dikkatli ve daha güvenli çalışması gerekecektir.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Dünya doğal deviniminden kaynaklan doğal iklim değişikliğine ilaveten, çeşitli insan faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan sera gazları nedeniyle giderek ısınmaktadır. Önlem alınmadığı takdirde, küresel ısınma doğal dengeyi kalıcı şekilde bozacaktır. Bu nedenle, tüm karar vericiler iklimle ilgili riskleri önlemek ve oluşan zararları karşılanmak amacıyla ortak bir politika oluşturmak ve bu politikayı uygulamak zorundadırlar.

Herhangi bir önlem alınmadan emisyonların bugünkü artış eğiliminin devam etmesi halinde sıcaklık artışı önümüzdeki yıllarda tehlikeli sınır olan 2°C'yi geçecektir. Bilim insanları, insan kaynaklı sera gazı emisyonları hemen bugün sıfırlansa bile, iklim

sistemindeki değişikliklerin ve olası etkilerin devam edeceğini öngörmektedir. Ancak küresel emisyonların hemen ve hızlı bir şekilde düşürülmesi, sıcaklık artışını 2°C'nin altında tutabilir. Emisyonların ve sıcaklıklardaki artışın devamının ise, ani ve geri dönüşü olmayacak iklim olaylarının gerçekleşme riskini artıracağı beklenmektedir

Madencilik faaliyetleri ile iklim değişikliği ilişkisi çoğunlukla, fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan gazların yarattığı olumsuzluklar üzerine yoğunlaşmaktadır. Bununla birlikte, kömür üretimine bağlı oluşan, terk edilmiş maden ocaklarından kaynaklanan ve yeraltı-açık ocaklardaki üretimden kaynaklanan metan ve karbondioksit seragazları çıkmakta, bu gazlarında iklim değişikliğine olumsuz katkısı bulunmaktadır.

Madencilik sektörü, iklim değişikliğini sadece politik veya düzenleyici bir risk olarak algılamakla birlikte, iklim değişikliğinin olumsuz sonuçlarından madencilik sektörü de etkilenmektedir ve giderek daha fazla etkilenecektir. Madencilik sektörü, iklim değişikliğine uyum için proaktif bir yaklaşım benimsemelidir.

- Madencilik proseslerine kritik girdilerin temininde uzun vadeli planlama yapılmalıdır. Örneğin su ve enerji temininde büyük darboğazlarla karşı karşıya kalınabilir.
- Çalışanların sağlığı ve güvenliği, bulaşıcı hastalıklar, aşırı sıcaklıklara bağlı hastalıklara yakalanma ve yükselen sıcaklıkla ilgili kaza olasılığı riskleri için gerekli tedbirleri alınmalıdır.
- Fiziksel risklerin artması proje finansmanını daha fazla riskli hale getirecektir, ekonomik araçların seçiminde dikkatli olunmalıdır.

Avustralya, Şili gibi dünyanın önde gelen maden bölgelerinde yaşanan sel ve siklon, bu ülkelerin madencilik sektörünü ciddi miktarlarda etkilemiştir. Türk madencilik sektörünün bu durumlardan çıkarım yapması kendi güvenlik açılarını kapatması ve uyum için gerekli tedbirleri alması gerekmektedir.

Küresel ısınma ve buna bağlı iklim değişikliğinden en çok zarar görecek ülkelerden biri olan Türkiye, küresel ısınmanın çözümüne yönelik hem uluslararası alanda yapılan işbirliğinin parçası olmalı hem de alınan bu kararlar doğrultusunda ulusal düzeyde politika ve stratejiler geliştirmelidir.

5. KAYNAKLAR

Dikmen, A.Ç., 2016, "Türkiye'nin Enerji Görünümü 2016- İklim Değişikliği", Makine Mühendisleri Odası, ISBN:978-605-01-0842-2.

Duygu, E., 2010, "İklim Değişikliği ve Etkileri", http://www.bugday.org/article.php?ID =817, (Erişim tarihi: 05.03.2017)

EEA, 2017, Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016, An indicator-based report, ISSN 1977-8449

ICMM, 2013, Adapting to a changing climate:implications for the mining and metals industry, https://www.icmm.com/en-gb/publications/climate-change/adapting-to-a-changing-climate-implications-for-the-mining-and-metals-industry (Erişim tarihi: 05.03.2017)

IPCC, 2014, Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full.pdf, (Erişim tarihi:30.12.2016) Issue published: September 1, 2004, DOI: https://doi.org/10.1260/0958305042886688

Nelson, J. ve Schuchard,R., Adapting to Climate Change: A Guide for the Mining Industry, BSR, https://www.bsr.org/our-insights/report-view/adapting-to-climate-change-a-guide-for-the-mining-industry (Erişim tarihi: 05.03.2017)

Orica,2009, Unearthing the Carbon Footprint, http://www.oricaminingservices.com/au/en/section/media/enewsletter_1st_edition_2009/unearthing_the_carbon_footprint?AspxAutoDetectCookieSupport=1 (Erişim tarihi: 07.04.2017)

Pearce, T.,vd., 2009, Climate Change And Canadian Mining: Opportunities For Adaptation, The David Suzuki Foundation, http://www.davidsuzuki.org/publications/ reports/2009/climate-change-and-canadian-mining-opportunities-for-adaptation/ (Erişim tarihi: 05.03.2017)

UNFCCC, http://unfccc.int/ghg_data/items/4133.php (Erişim tarihi: 05.03.2017)

http://www.abc.net.au/news/2016-04-18/chile-floods-four-million-people-without-water/7333756

http://www.abc.net.au/news/2016-04-18/chile-floods-four-million-people-without-water/7333756

II

Ecofriendly Mining Methods and Applications

Çevre Dostu Madencilik Yöntem ve Uygulamaları

MERMER FABRİKALARINDA GÜRÜLTÜ DAĞILIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF NOISE PROPAGATION IN MARBLE FACTORIES

İbrahim ÇINAR[1], Cem ŞENSÖĞÜT[2*]

1: Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya, TÜRKİYE

2: Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: sensogut@dpu.edu.tr

ÖZET: Bu çalışmada, gürültü ile ilgili temel bilgiler verilerek mermer fabrikalarında uygun fiziksel koşulların oluşturulmasının iş güvenliği açısından önemi vurgulanmıştır. Mermer hazırlama tesislerinde meydana gelen gürültü seviyeleri belirlenerek, çalışan işçilerin ne derece etkilendikleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla AZ DSM 8922 gürültü seviyesi ölçüm cihazı ve Extech 407355 kişisel gürültü dozimetre cihazı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, gürültü seviyesi ölçümleri kaynağa farklı mesafelerden alınarak etrafında çalışanların hangi mesafelerde ne derece etkilendikleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmalar Konya İli, Selçuklu İlçesinde hizmet veren özel bir şirkete ait mermer hazırlama tesisinde yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gürültü, İş sağlığı ve güvenliği, Mermer hazırlama tesisi

ABSTRACT: *In this study, the importance of work safety in establishing suitable physical conditions in marble factories was emphasized by giving basic information about noise. Noise levels have been determined in the marble preparation facilities and efforts have been made to determine the extent to which the occupants are affected. AZ DSM 8922 noise level meter and Extech 407355 personal noise dosimeter were utilized for this purpose. Within the scope of the present study, noise level measurements were taken from different distances to the sources and tried to determine the distance and distance at which the employees were affected. The work was carried out in a marble preparation plant belonging to a private company serving in Selçuklu, Konya.*

Keywords: *Noise, Occupational health and safety, Marble preparation plant*

1. GİRİŞ

Tarihsel olarak insanlığın gürültüyle ilgilenmesi M.Ö. 6. yüzyıla dayanmaktadır. O tarihlerde Sybaris (İtalya) kentinde gürültüye karşı önlemler alınmaya çalışılmış ve kent içinde mevcut olan atlı araba yapımcıları ile küçük el sanatlarının gürültülü olanlarının şehir dışına çıkartılmasını öngören yasalar çıkarılmıştır. 1713 yılında iş sağlığı ve güvenliği konularını ilk kez bilimsel olarak ele alıp önemli çalışmalara imza atan İtalyan tıp doktoru Ramazzini'nin, 'De Morbis Artificum Diatriba' adlı kitabında bakır işleme işinde çalışanlarda da gürültünün işitme kaybına neden olduğundan ve ayrıca 1765 yılında Rimzztdage'nin de benzer şekilde bakır ve demircilerde oluşan işitme kayıplarından söz ettiği görülmektedir. Rönesans'tan sonra ise 1851 yılında Albertini bu konu üzerinde araştırmalar yapmış, yüksek gürültü çıkaran makinelerin kulak üzerindeki zararlı etkilerinden, top ateşi ve yıldırım sağırlığından söz etmiştir. 100 yıl önce Fosbroke demircilerde, 1918 yılında Guild kama ve bıçak yapımı ile uğraşanlar üzerine yaptığı incelemelerde gürültünün sağırlığa neden olduğunu belirtmiştir. 1926 yılında Politzer, yayınladığı eserinde demirciler, çilingirler ve buhar kazanı işinde olan çalışanlarda da sağırlıklara rastlandığını belirtmiştir (Kalıpcı, 2007).

Gürültü, insanların işitme sağlık ve duyusunu olumsuz yönde etkileyen, fizyolojik ve psikolojik dengesini bozan iş performansını, verimini azaltan, çevrenin hoşluğunu ve sakinliğini azaltarak veya yok ederek niteliğini değiştiren, gelişigüzel bir spektruma sahip istenmeyen seslerden oluşan önemli bir çevre kirleticisidir (Sensogut, 2007; Çınar & Şensöğüt, 2009; Mutlu, 2010).

Yirmi birinci yüzyılda gelişmekte olan teknoloji ve sanayileşme, bir taraftan insanların hayatını kolaylaştırırken diğer taraftan da çevre sorunları, iş sağlığı ve güvenliği sorunlarını da gündeme getirmektedir. Günümüz kentsel yaşamın önemli problemlerinden biri olan gürültünün insan sağlığı üzerinde objektif ve sübjektif bir takım olumsuz etkileri bulunmaktadır. Gürültü şiddeti ve süresine bağlı olarak; yorgunluk, zihinsel bozukluklar, kan basıncında artma insanlarda stres, psikomotor aktivitenin bozulması, hipertansiyon, gastrointestinal sistem rahatsızlıkları gibi nonodituvar etkilerin yanı sıra işitme kaybı, vertigo, tinnitus, bulantı- kusma gibi odituvar etkilere de neden olabilmektedir (Boşat, 2013).

2. GÜRÜLTÜ

Endüstriyel faaliyetler nedeniyle ortaya çıkan gürültü de önemli bir gürültü kaynağıdır. Sanayi bölgelerindeki her türlü makine, teçhizat, soğutma, ısıtma, arıtma, enerji odaları, üretim bandı, hava yastığı, kompresör vs. den kaynaklanan ve sınır değerleri aşan gürültüler endüstri gürültüsünü oluşturmaktadır.

Endüstride gürültü hiçbir zaman saf değildir ve çeşitli seslerin bileşeni olarak ortaya çıkmaktadır. Oluşturdukları ses basınç seviyeleri bilinen iki ses kaynağının birlikte çalıştırılmasıyla oluşturacakları yeni ses basınç seviyesinin yaklaşık olarak belirlenmesinde, Çizelge 1'de verilen değerler kullanılır (Sharland, 1972; Tör, 1989).

Çizelge 1. Ses basınç seviyelerinin birlikte etkisi

İki kaynak arasındaki seviye farkı (dBA)	Yüksek olan seviyeye eklenecek miktar (dBA)
0	3.0
1	2.5
2-3	2.0
4	1.5
5-7	1.0
8-9	0.5
10 ve fazlası	0

Farklı gürültü seviyelerindeki ortamlarda bulunulması durumunda, bunların ortak etkisi aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır (Pathak, 1996).

$$\frac{t_{1\lim}}{T_1} + \frac{t_{2\lim}}{T_2} + \frac{t_{3\lim}}{T_3} + ... + \frac{t_{n\lim}}{T_n} < 1 \qquad [1]$$

Burada; t_{lim}: limit değerde izin verilen süre (dk.)

T : gürültüde bulunma süresi (dk.)

Ülkemizde yürürlükte olan gürültü yönetmeliğine göre; sekiz saatlik iş günü için, anlık gürültünün de dâhil olduğu bütün gürültü maruziyet sınır değeri 87 dBA, en yüksek maruziyet etkin değeri 85 dBA olarak belirlenmiştir. İşçiyi etkileyen maruziyetin belirlenmesinde, işçinin kullandığı kişisel kulak koruyucuların koruyucu etkisi de dikkate alınarak maruziyet sınır değer uygulanır. Maruziyet etkin değerinde kulak koruyucuların etkisi dikkate alınmamaktadır (Anonim, 2013).

Açık alanlarda kullanılan ekipmanlar için müsaade edilen ses gücü seviyeleri, teçhizatın tipi, paletli ya da lastik tekerlekli olması ve motor gücü gibi özelliklerine göre 93 dBA'dan başlayıp 110 dBA'ya kadar çıkabilmektedir (Anonim, 2006).

Çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetimi yönetmeliğine göre; endüstri tesisleri için çevresel gürültü sınır değerleri ve şantiye alanı için çevresel gürültü sınır değeri 75 dBA olarak belirlenmiştir. Yine aynı yönetmelikte açık alanda kullanılan ekipmanların gürültü seviyesi, açık alanlarda kullanılan teçhizat tarafından oluşturulan çevredeki gürültü emisyonu ile ilgili yönetmelik (2000/14/AT) hükümlerine tabii olduğu belirtilmiştir (Anonim, 2010).

3. MERMER FABRİKASINDA YAPILAN ÖLÇÜMLER

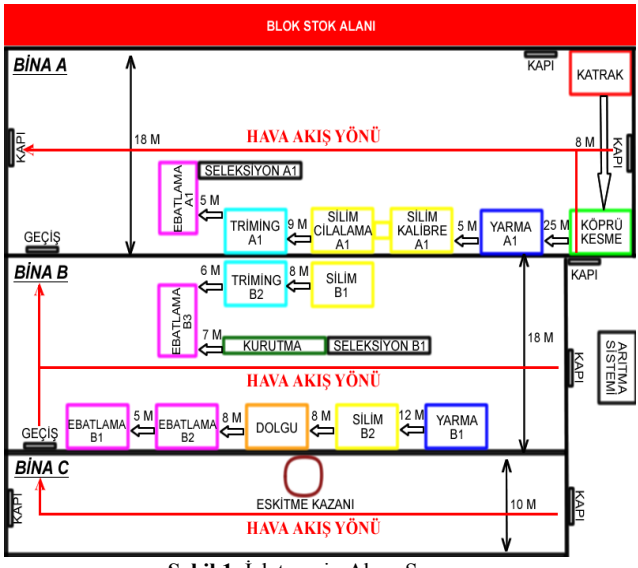
3.1 İşletmenin Tanıtımı

İşletme, 20.000 m² açık, 5.000 m² kapalı olmak üzere toplam 25.000 m² alanda Ankara yolu üzeri Konya ili Organize Sanayi Bölgesinde faaliyetlerini sürdürmektedir.

Tesiste kendi ocaklarından üretilen Light traverten işlenmektedir. İşletmenin yıllık üretimi 350.000 m² olup bu üretiminin tamamını ihracat etmektedir (Polmerstone, 2017).

3.2. Ölçüm Cihazlarının Tanıtımı

Değişik ortamlarda sağlık ve kalite kontrol tespitleri için geliştirilmiş Şekil 1a'da gösterilen AZ DSM 8922 gürültü seviyesi ölçüm cihazı, mermer fabrikalarında gürültü seviyesi tespiti için farklı noktalarda kullanılmıştır (Şekil 2a).



Şekil 1. İşletmenin Akım Şeması

Şekil 2b'de gösterilen Extech 407355 kişisel gürültü dozimetre ise, kişisel gürültüye maruz kalma dozunu ölçmek için tasarlanmıştır. Sekiz saatlik bir süre içinde verileri alır ve toplam sese maruz kalma miktarının hesaplanmasında kullanılır.

Lazer Metre Stabila LD 400, 60 m. uzunluğa kadar, ± 1,5 mm.hassasiyetinde ölçüm yapabilen bir alettir (Şekil 2c).

3.3. İşletme İçerisinde Yapılan Ölçümler

AZ DSM 8922 dijital ses ölçüm cihazı ile alınan veriler neticesinde eşdeğer gürültü seviyesi aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır (Pathak, 1996). İşletmede yapılan ölçümler Çizelge 2,3 ve 4'de verilmiştir.

$$L_{eq} = 10\log\left((1/n)\left(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \cdots + 10^{L_n/10}\right)\right) \quad [2]$$

Burada; n: Ölçüm sayısı (bir dakika için 60 alınmıştır)

L_1-L_n: Ölçüm değerleri, dBA

L_{eq}: Eşdeğer gürültü seviyesi, dBA

Şekil 2a. AZ DSM 8922 dijital gürültü seviyesi ölçüm cihazı

Şekil 2b. Extech 407355 Kişisel gürültü dosimetresi

Şekil 2c. Lazer Metre Stabila LD 400

Çizelge 2. BİNA-A gürültü seviyesi ölçüm sonuçları

ÖLÇÜM YERİ	Mesafe (m)	Gürültü Seviyesi dBA	Etki Alanındaki Üniteler	ÖLÇÜM YERİ	Mesafe (m)	Gürültü Seviyesi dBA	Etki Alanındaki Üniteler
Ebatlama A1	0,5	87,70	TrimingA1 (11 m)	Triming A1	0,5	90,82	Ebatlama A1 (6m) Silim C A1 (10m)
	2,5	87,99	TrimingA1 (10 m)		2,5	89,51	Ebatlama A1 (5m) Silim C A1 (11m)
	5,0	85,66	TrimingA1 (12 m)		5,0	83,90	Ebatlama A1 (9m) Silim C A1 (13m)
Silim Cilalama A1	0,5	86,00	Silim K A1 (10m) Triming A1 (10m)	Silim Kalibre A1	0,5	87,65	Silim C A1 (8m) Yarma A1 (7m)
	2,5	88,90	Silim K A1 (8 m) Triming A1 (11m)		2,5	86,94	Silim C A1 (9m) Yarma A1 (8m)
	5,0	85,99	Silim K A1 (12m) Triming A1 (12m)		5,0	85,64	Silim C A1 (10m) Yarma A1 (7m)
Yarma A1	0,5	92,27	Silim K A1 (10m)	Köprü Kesme	2,5	89,92	Katrak (8m)
	2,5	90,90	Silim K A1 (9m)		5,0	88,84	Katrak (5m)
	5,0	90,00	Silim K A1 (11m)	Katrak	5,0	86,31	Köprü kesme (18m)

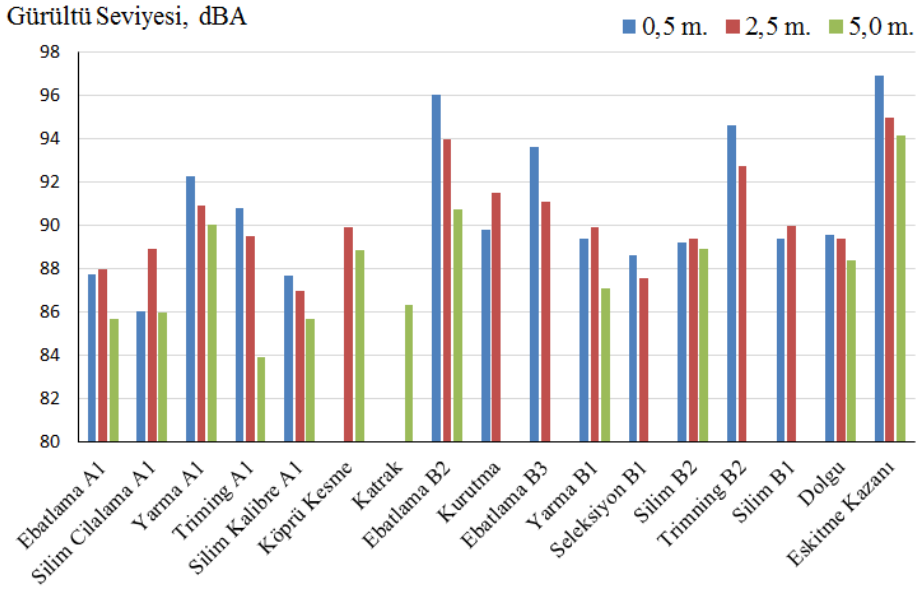
Çizelge 3. BİNA-B gürültü seviyesi ölçüm sonuçları

ÖLÇÜM YERİ	Mesafe (m)	Gürültü Seviyesi, dBA	Etki Alanındaki Üniteler	ÖLÇÜM YERİ	Mesafe (m)	Gürültü Seviyesi dBA	Etki Alanındaki Üniteler
Ebatlama B2	0,5	96,03	Ebatlam B3 (10m) Dolgu (8m)	Silim B2	0,5	89,19	Yarma A1 (11m) Seleksiyo B1 (8m)
	2,5	93,99	Ebatlam B3 (8m) Dolgu (11m)		2,5	89,37	Yarma A1 (12m) Seleksiyo B1 (6m)
	5,0	90,73	Ebatlam B3 (5m) Dolgu (12m)		5,0	88,89	Seleksiyo B1 (4m)
Kurutma	0,5	89,81	Silim B1 (5m) Triming B2 (4m)	Triming B2	0,5	94,61	Silim B1 (3m) Kurutma (2m)
	2,5	91,50	Silim B1 (7m) Triming B2 (3m)		2,5	92,73	Silim B1 (5m) Kurutma (4m)
Ebatlama B3	0,5	93,65	Ebatlam B2 (8m)	Silim B1	0,5	89,40	SeleksiyonB1(6m) Kurutma (5m)
	2,5	91,08	Ebatla B2 (7,5m)		2,5	89,97	SeleksiyonB1(3m) Kurutma (7m)
Yarma B1	0,5	89,37	-	Dolgu	0,5	89,57	Kurutma (8m)
	2,5	89,92	-		2,5	89,37	Kurutma (6m)
	5,0	87,08	-		5,0	88,39	Kurutma (3m)
Seleksiyon B1	0,5	88,60	-				
	2,5	87,56	-				

Çizelge 4. BİNA-C gürültü seviyesi ölçüm sonuçları

ÖLÇÜM YERİ	Mesafe (m)	Gürültü Seviyesi, dBA	Etki Alanındaki Üniteler
Eskitme Kazanı	0,5	96,92	-
	2,5	95,00	-
	5,0	94,14	-

İşletmede yapılan tüm gürültü ölçüm sonuçları Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Gürültü Ölçüm Sonuçları

3.4. Kişisel Gürültü Dosimetresi ile Yapılan Ölçüm Sonuçları

Gürültü seviyesi ölçüm cihazları; herhangi bir andaki ses yüksekliğini ölçmek için kullanılmaktadır. Ölçümler gürültü kaynağında yapılarak iş makinesinin veya çalışan ekipmanın ortama yaydığı gürültü miktarı tespit edilmektedir. Çalışanların bir vardiya boyunca maruz kaldığı gürültü ise fonksiyonel maruziyet miktarı hesaplanarak bulunmaktadır. Fonksiyonel maruziyet miktarı ise aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmaktadır (Anon., 2005).

Fonksiyonel maruziyet miktarı (f) ve eşdeğer gürültü seviyesi (Leq);

$$f = (t/8)10^{1/10(L-90)} \qquad L_{eq} = 10logf + 90 \qquad [3]$$

Burada; t: Gürültüye maruz kaldığı süre, saat

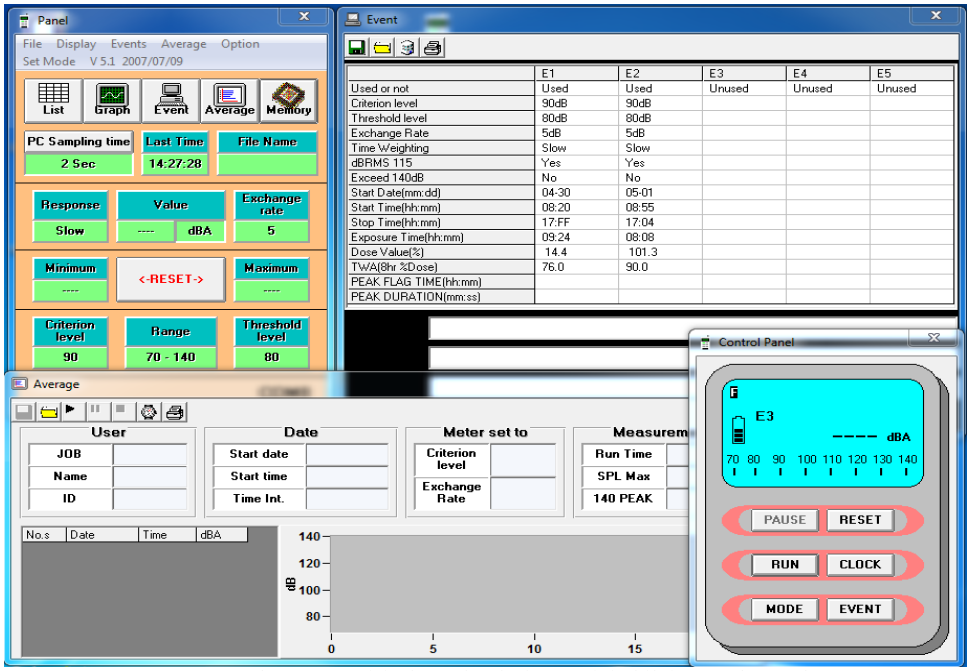
L: Maruz kaldığı gürültü miktarı, dBA.

Ses dozimetresi ise, normal bir vardiya boyunca toplam sese maruz kalma miktarını ölçmektedir. Şekil 2b'de gösterilen Extech 407355 Kişisel gürültü dosimetresinin bilgisayar ekran çıktısı Şekil 4'de verilmiştir.

İşletmede yüksek gürültüde çalışanlar üzerinde 2 saat boyunca alınan ölçüm sonuçları Çizelge 5'de verilmiştir. 8 saatlik zaman ağırlıklı ortalama değerleri ise aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır (OSHA 1910, 2004).

$$TWA = 16{,}61.\log(D/100) + 90 \qquad [4]$$

Burada; TWA: Zaman ağırlıklı ortalama, dBA; D: Gürültü doz değeri, %



Şekil 4. Extech 407355 Kişisel gürültü dosimetresinin bilgisayar ekran çıktısı

Çizelge 5. Kişisel Ölçüm Dosimetresi ile Elde Edilen Sonuçlar

Çalıştığı Birim	Ölçüm süresi (saat, dakika)	Doz Değeri (%)	8 saatlik ortalama ses (dBA)
Köprü Kesme İşçisi	02:50	20,13	78,4
Yarma A1 İşçisi	02:00	17,53	77,4
Eskitme Kazanı İşçisi	02:00	24,47	79,8
Ölçüt değer: 90 dBA *Değişim oranı: 5 dBA* *115 dBA aşımı: Hayır* *Eşik değer: 80 dBA* *Zaman ağırlığı:Yavaş* *140 dBA aşımı: Hayır*			

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İşçilerin sağlıklı ve uygun fiziksel şartlarda çalışması, iş kazalarının minimuma inmesinin yanı sıra işletmenin itibarının ve üretim kalitesinin artması gibi sonuçları da beraberinde getirecektir.

Açık havada, noktasal bir kaynaktan küresel dalgalar biçiminde yayılan ses enerjisinde uzaklık her iki katına çıkışta ses düzeyi 6 dBA düştüğü bilinmektedir. Ancak işletmede kapalı alanda ve birden fazla gürültü kaynağının olduğu birimlerde yapılan ölçümlerde mesafenin iki katına çıkması durumunda ses düzeyindeki düşüş miktarının 0,48-5,61 dBA arasında değiştiği görülmüştür. Bunun nedeni ölçüm yapılan birimden uzaklaşırken diğer gürültü kaynağına yaklaşılması olarak açıklanabilir. Ayrıca kapalı alandaki gürültünün, açık alandaki gibi yayılmadığını göstermektedir.

İşletmede yapılan ölçümlerde en yüksek gürültü seviyesi Eskitme Kazanı (BİNA-C) 0,5 m. mesafede 96,92 dBA olarak, en düşük gürültü seviyesi ise Ebatlama A1 (BİNA-A) 5,0 m. mesafede 85,66 dBA olarak belirlenmiştir. 5,0 m.'den daha uzak mesafelerde ise ölçüm yapılmamıştır. Genel olarak tüm birimlerde mesafe artışına bağlı olarak gürültü seviyelerinde düşüş gözlenmiştir.

Gürültü seviyesinin en yüksek görüldüğü Eskitme Kazanı alanında çalışan bir işçi olmak üzere 3 farklı çalışan üzerinde doz ölçümleri yapılmıştır. Bunlarda ise beklenildiği gibi 2 saatlik en yüksek doz değeri Eskitme Kazanı işçisinde % 24,47 olarak belirlenmiştir.

Günümüz şartlarında gürültü etkisi ile oluşan işitme kayıpları tedavisi olanaksızdır. Bu sebeple işverenler, işçilere sağlıklı ve uygun çalışma koşulları sağlamalı, işçiler ise gürültünün zararlarını önemseyip, kişisel koruyucularını kullanmalıdırlar. İşçilere kişisel koruyucu donanım kullanmanın önemi ve faydaları seminer verilerek anlatılmalı, kişisel koruyucu donanım kullanımını özendirici ve gürültünün zararlarına ilişkin afiş ve panolar işçilerin görebileceği yerlere asılmalıdır.

Ayrıca, gürültülü ortamlarda çalışan işçiler düzenli olarak odyometrik testlerden geçirilmelidir. Duyma kaybı başlamış işçiler varsa tespit edilerek, yüksek gürültü seviyesinde geçirilen günlük çalışma saatleri düzenlenmeli ve gürültüyü kaynağında önlemek için gerekli önlemler alınmalıdır.

Kişisel koruyucu donanım olarak 8-30 dBA gürültü yalıtımı sağlayan kulak tıkaçları veya 25-40 dBA azaltan kulak manşonları kullanılabilir. Kulak tıkacı ve manşonu aynı anda kullanıldığında ise 50 dBA'e kadar ses izolasyonu sağlanabilir.

5. KAYNAKLAR

Anonim, 2005. Guidance Notes on Factories and Industrial Undertakings (Noise at Work) Regulation, Occupational Safety and Health Branch of the Labour Department, October, Hong Kong.

Anonim, 2006. Açık Alanda Kullanılan Teçhizat Tarafından Oluşturulan Çevredeki Gürültü Emisyonu ile ilgili Yönetmelik, 4.Mükerrer Resmi Gazete, 30 Aralık, Sayı 26392, Ankara.

Anonim, 2010. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, Resmi Gazete, 4 Haziran, Sayı 27601, Ankara.

Anonim, 2013. Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik, Resmi Gazete, 28 Temmuz, Sayı 28721, Ankara.

AZ DSM 8922 Digital Sound Level Meter, User's Guide, http://www.az-instrument.com.tw

Boşat, M. 2013. İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Hastanesi Polikliniklerinde Gürültü Düzeylerinin Belirlenmesi, İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s60.

Çınar, İ. & Şensöğüt, C., 2009. Maden İşletmelerinde Meydana Gelen Gürültünün İşçi Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi, Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu, 19-20 Kasım, Adana, s93-99.

Extech 407355 Noise Dosimeter with PC Interface, User's Guide, http://www.extech.com

Kalıpcı, E. 2007. Giresun İl Merkezinde Gürültü Kirliliği Ölçümü ve Haritasının Hazırlanması, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s130.

Mutlu, A. 2010. Madencilikte Gürültüye Bağlı İşitme Kayıplarının Tespiti: Taş Kırma Eleme Tesisi Örneği, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s68.

OSHA 1910, 2004. Occupational Safety and Health Standards, Occupational Safety and Health Administration, United States Department of Labor, 17 February 2004.

Pathak, K., 1996. Modelling and Prediction of Environmental Noise Levels Near Mechanised Surface Mines and Quarries, PhD Thesis, Imperial College, London, October, p302.

Polmerstone, 2017. www.polmerstone.com, Erişim Tarihi: Mart 2017.

Sensogut, C., 2007. Occupational Noise in Mines and Its Control – A Case Study, Polish J. Of Env. Studies, Vol. 16, No. 6, pp933-936

Sharland, I. 1972. Woods Practical Guide to Noise Control, Woods of Colchester Ltd., May, pp22-24.

Stabila LD 400 Laser Distance Measurer, User's Guide, http://www.stabila.com/products/

Tör, F. 1989. Endüstride Gürültünün Geleceği, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İSGÜM Bülteni, Sayı.12, s39-42.

TÜRKİYE'DE İKİ FARKLI BÖLGEDE ENDÜSTRİYEL HAMMADDE AÇIK OCAK SAHALARININ DOĞAYA YENİDEN KAZANDIRILMASI UYGULAMALARI

REHABILITATION OF INDUSTRIAL RAW MATERIAL MINING SITES IN TWO DIFFERENT REGIONS IN TURKEY

Seyfi KULAKSIZ[1], Yüksel AKIN[2]

1: Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara, TÜRKİYE

2: Yatağan Termik Enerji Üretim A.Ş., Muğla, TÜRKİYE

ÖZET: Ülkemizde doğaya yeniden kazandırma çalışmalarının ilk uygulamaları T.K.İ (Türkiye Kömür İşletmeleri) bünyesinde Tunçbilek bölgesinde bireysel gayretlerle yapılmıştır. Bu uygulamalar daha sonra TKİ Soma, Tunçbilek, Yatağan bölgeleri, ETİBANK-Emet, Özel sektörden Aydın linyit işletmeleri, Ağaçlı linyitleri, Koza Altın-Bergama, Mat-el, Çimsa, Manisa Nikel açık ocak sahaları güzel örnekler olarak devam etmiştir. Bu çalışmada iki farklı bölgede bulunan Yatağan Linyit İşletmeleri (Ege Bölgesi) ve Bala Alçıtaşı İşletmesinde (İç Anadolu Bölgesi) yapılmış olan uygulamalar sunulacaktır. Her iki ocakta da yasal olarak mülkiyet, arazi kullanımı, yerel insandan kaynaklanan sorunlar, teknik problemler gündeme getirilerek çözümler önerilecektir.

Anahtar Kelimeler: Reklamasyon, Endüstriyel hammadde

ABSTRACT: *The first reclamation applications were made under T.K.İ (Turkish Coal Enterprises) control in the Tunçbilek region with individual efforts in our country. These are then continued with the following applications: T.K.İ. Soma, Tunçbilek, Yatağan regions, ETİBANK-Emet and some private mining companies are Aydın Lignite Enterprises, Ağaçlı Lignite-İstanbul, Koza Gold-Bergama, Mat-El and Manisa Nickel. In this study, two different quarries in two different regions were selected and presented, Yatağan Lignite Enterprises (Aegean Region) and Bala Gypsum Enterprises (Central Anatolia Region). Legal ownership, land use, problems arising from local people, technical problems will be introduced and solutions will be proposed in both mining sites.*

Keywords: *Rehabilitation, Industrial raw material*

1. GİRİŞ

Ülkemizde madencilik faaliyetleri sonucu bozulan topografik yapı ile birlikte arazinin doğaya yeniden kazandırılması konusunda çalışmalar sınırlı kalmıştır. İnsan yaşamı için gerekli beslenme, barınma, yaşam kalitesi gibi yaşamsal faaliyetlerinin sürdürülebilmesi için ÇEVRE ile barışık yaşaması şarttır (Dikmen, A. Ç., Gül, A 2015). İnsanın barınma, ulaşım, ısınma gibi yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmesi ve medeniyetin gelişmesi için MADENCİLİK gereklidir (Şekil 1).

Şekil 1. Toplum bireylerinin temel ihtiyaçları

İnsanın beslenme yaşamsal faaliyeti de ÇEVRE'ye bağlıdır. Madencilik faaliyetlerinin herhangi bir nedenle durması insan yaşamının gelişim ve ilerlemesinin sonu olabilir. Bu nedenle MADENCİLİK VE ÇEVRE birbirlerine tercih edilmemesi gereken iki ana unsurdur. Bu iki temel öğe EŞİT DEĞERDE ve uyum içinde çalışmak zorundadır. Birinin diğerine tercih edilmesi insan yaşam sisteminin çöküşü olur.

Ülkemizde madencilik faaliyetleri sonucu, bozulan topografik yapı ile birlikte arazinin yeniden kullanımı konusunda yeterli çalışmalar çok sınırlı kalmıştır. Bunları ise bu gün üç grupta toplayabiliriz.

1. Sürdürülebilir tarım-hayvancılık-meyve alanları,
2. Rastgele ağaçlandırma sahaları,
3. Madencilik sonrası ocak boşluklarının değişik amaçlar için kullanılması.

Yukarıda belirtilen hususta kamuda ilgili bakanlık ve bölgesel kullanım ile ilgili alt yapı yeterli değildir.

1.1 Madenciliğin Çevre Bilinciyle Yapılması

İnsan olmadığı takdirde çevre vahşi bir tabiattır. Bu tabiatta, koşullara göre bazı bitki türlerinin belli alanlarda yaşama hakkı yoktur. Örneğin çam ormanlarının altında otsu bitkilerin yetişmesi mümkün değildir. Madencilik mi! Çevre mi! tercihi hiçbir zaman birbirine tercih edilme durumuna getirilmesi söz konusu yapılmamalıdır. Burada önemli olan doğaya yeniden kazandırmada çevre bilincinin akıllı olarak kullanılmasıdır. Özel konumları nedeniyle bazı sahalarda madencilik kısmen sınırlandırılabilir. Bu ise bilimsel olarak ilgili tarafların görüşlerinin ortak paydada birleşmesi ile gerçekleştirilmelidir. Madencilik yapan/yapacak olan kişi-kuruluşların maden işletme yapmak için maden yeri seçme şansı yoktur. Çünkü maden ve endüstriyel hammadde oluşumunda insanoğlunun bir etki ve katkısı olmadığı gibi, bulunduğu ortam, dağ silsileleri, orman ve tarım alanları, ovalar, yerleşim alanları yakını veya içi, turistik alanlar, tabii veya yapay kültür varlıklarının altında olabilir. Örneğin Fransa Paris Banliyösü yerleşim alanları altında yeraltı alçı ocakları ve Paris merkeze 15 km. uzaklıkta açık ocak alçı işletmeleri bulunmaktadır. Ancak ve ancak bulunduğu yerden çıkarmak için madencilik burada icra edilmek zorundadır. Katı kuralcı yönetmelikler madencilik sektörüne zarar verir. Burada önemli olan husus dışa döküm ile içe döküm harmanlarının planlamasının iyi organize edilmesi gerekir.

Maden artık/atıklarının güvenli bir şekilde bertaraf edilerek, bozulan topografik yapıların düzenlenmesi, çevrede görünüm kirliliğinin önlenmesi, bozulan sahaların yeniden düzenlenerek üretken bir ortam yaratılması ve ülke ekonomisi açısından önemlidir (Kulaksız, 2012a; Kulaksız vd., 2010a).

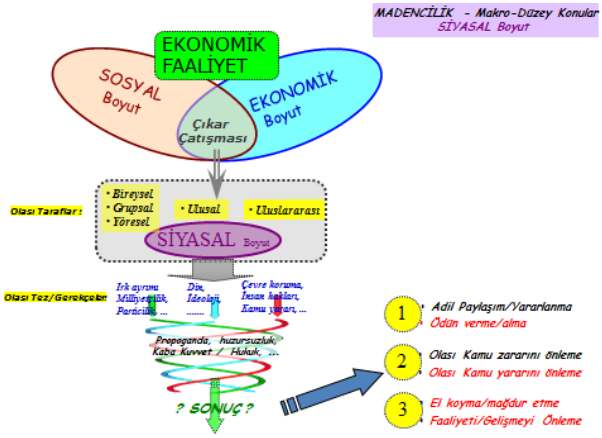
1. Bu gün yer üstünde yer alan, flora ve fauna, madencilik faaliyetleri sonucunda zamana bağlı olarak yeniden yapılandırılması mümkündür.
2. Arazinin madencilik amacıyla sadece geçici olarak kullanılması söz konusu olup, aynı arazinin gelecekte başka kullanımları için tekrar uygun hale getirilmesi mümkündür ve böyle anlaşılmalıdır.
3. Madencilik faaliyeti ancak bulunduğu alanda yapılması şarttır. Başka bir alanda yapılmamalıdır.

4. Tabii ki arazinin madencilik öncesi orijinal verimliliğine yakın ve eşdeğer hale getirileceğinin iyi anlatılması ve anlaşılmasıdır. Bu bağlamda, bir maden ocağının işletilmesinde düzensiz ve belli bir planlaması olmayan geleneksel alışkanlıklardan vazgeçilerek, farklı bilim dalları arasındaki işbirliği ile disiplinler arası tetkik, inceleme ve planlaması/uygulaması yapılan saha olmalıdır. Bu disiplinler arası çalışma da, bir maden yatağının üretim planlaması da temel olarak maden mühendisliğinin görevi ise de, buna ekonomist, istatistikçi, pazarlamacı da hedef seçimi, pazar araştırması, satış, maden stratejisi açısından katkı koymalıdır.

1.2 Medenileşme Ve Sanayileşmede Madencilik Ve Çevre

Tüm dünyada sanayinin en temel ve köklü kaynağı tümüyle madenciliğe bağlıdır. Sanayinin olmaz ise olmazı olup, ülkelerinde temel kalkınmasında ana girdi hammaddesidir ve gelecekte de önemini büyüyerek sürdürecektir. Tüm sanayi sektörlerinin en önemlisi kimya olup, bunun temel kaynakları madencilik, petrol, doğalgaz, tarım, orman ve hayvancılıktır.

Madenlerin üretimi, paylaştırılması ve tüketimi dün olduğu gibi bugün de devletlerin hayatında karşılıklı çıkarların, çatışmaların ve savaşların nedeni olmayı sürdürmektedir. Madencilik sanayiye gerekli doğal hammaddeyi sağlamanın bir ekonomik değer yaratmanın güç koşullarda gerçekleştirilmesidir. Aşağıda özetlenen ilişki ve yapı içinde (Zanbak, 2012) çıkar çatışması bireysel-uluslararası durumu en iyi şekilde göstermektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Ekonomik boyut.

Bu gün üzerinde yaşadığımız doğal çevrenin, ağacın, ormanın hiç değilse ayakta kalmış varlığını madenlere borçlu olduğunu unutmadan ve çevreye duyarlı bir üretimden yana bir ilişkiyi sürdürmek durumundayız. Madenciliğin ülke kalkınmasındaki önemi yadsınamaz. Dünyanın gelişmiş sanayi toplumlarının deneyimleri ve sonuçları bunun en güzel kanıtıdır. Geçmişte ABD, Avrupa ve Japonya'nın gerçekleştirdiğini bu gün Çin gerçekleştirmektedir. Gelişmek ve kalkınmak için biz de madencilik yapmak ve doğal hammadde kaynaklarımızı en iyi şekilde değerlendirmek zorundayız. Maden potansiyelimizin farkında mıyız? Üzerinde yaşadığımız zeminin altında ne kadar demir, altın, kömür, petrol olduğunu bulabilmemiz için öncelikle maden arama çalışmalarının desteklenmesi kaçınılmazdır. Dünyada maden araması için milyarlarca dolar sermaye harcanırken bizde tüm harcamalar 40-50 milyon doları geçmemektedir.

Enerji başta olmak üzere, sanayimizin hammaddeye olan ihtiyacı her yıl artarak devam etmektedir. Sanayinin dışa bağımlılığının azaltılması için maden aramalarının teşvik edilmesi, yatırımların cazip hale getirilmesi, kişi başına düşen maden tüketiminin 3-4 kat arttırılması gerekir. ABD'de yıllık 21 ton, Türkiye'de ise 5 tonluk bir tüketim görülmektedir. Öte yandan petrol ve ürünleri ile doğal gaza yılda 30 milyar dolar, işlenmemiş altına 5, kömüre 1,5 milyar ve demire 250 milyon dolar ödeyen ülkemizin kendi kaynaklarına yönelmesi kaçınılmazdır. Sanayinin gittikçe artan hammadde ve ara mal ithalatı dikkate alındığında, maden arama ve üretim alanına sermaye çekecek çözüm yollarının bulunmasının ne kadar önemli olduğunu ortaya koyuyor.

Özetle bu günkü sanayi sektörleri insan yaşam kalitesinin temelleri olup, bunlar ile ilgili bazı sektörler aşağıdaki şekilde verilebilir.

*Demir-Çelik Endüstrisi, buna bağlı Otomotiv Endüstrisi,

*Çimento-Seramik, Tuğla Endüstrisi,

*Kâğıt Sanayi,

*Cam Sanayi,

*Agrega (Kırmataş)-Beton,

*Kimya Endüstrisi (Gübre, Boya, İlaç Sanayi),

*Metalurji Endüstrisi,

*Plastik Sanayi,

*Enerji Sektörü ve bunların ürettiği tüm eşya ve malzemelerin hammaddesi, madenlerdir.

Bunların üretilmemesi durumunda, ülke ilave ithalat ile karşı karşıya kalınacağını ve bu sektörde çalışan yüzbinlerce kişinin istihdamını engelleyeceğini ülke ekonomisi iki yönlü kayba uğrayacaktır.

2. İNCELEME VE PLANLAMA

Burada kazı yapılan sahanın topografik yapısı ile en son açık ocağın geometrisi, toprak harmanı ve/veya atık havuzlarının yapısı ön plana çıkmaktadır. Yeniden doğaya kazandırmada, sahanın hangi amaçla kullanılacağı iyi seçilmelidir. Amaç sadece maden sahasının doğaya kazandırmada orman ağaçlandırması hedefi alınması yanlıştır. Yörenin sosyo-ekonomik yapısına katkı koyacak üretken bir yeniden yapılandırma seçerek köyden kente göçün önlenmesi hedeflenmelidir. MADENCİLİK öncesi arazinin kullanım durumu nedir? Tarım, orman, mera yüzdeleri nedir ve madencilik sonrası ne olacaktır? ÜLKEMİZ'de yetkili kuruşların durumu nedir?

Madencilik faaliyetlerine başlanabilmesi bazı temel araştırmaların yapılmasını gerektirir. Bunları da beş safhada toplayabiliriz.

Üretim planlamasında

*Ekonomik faktörler,

*Teknolojik faktörler,

*Sosyal Faktörler,

*Yasa ve yönetmelikler,

*Doğaya yeniden kazandırma olanakları ve planlaması, şeklinde ana başlıklar altında irdelenmesi gerekir.

Öncelikle teknolojik faktörler ve yöntemlerden bazı çevresel etkiyi inceleyelim. Taş ocak işletmesinin temel ürünü kırma taş en çok insanoğlunun gereksinim duyduğu bina inşaatlarında, kentleşmede ulaşım yollarında temel dolgu ve yol kaplamasında kullanılmaktadır (Kulaksız, 2012b). Yerleşim bölgelerinin üçüncül ihtiyaç maddesi olarak taşıma mesafesi minimum ve ana güzergâhlara yakınlığı, ocak işletmecilerinin tercihi olmaktadır. Burada ilk ocak yeri seçimi, şehir ve ana yoldan öngörünüm çevre sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır.

3. ÜLKEMİZDEKİ DOĞAYA YENİDEN KAZANDIRMA YASA VE YÖNETMELİKLERİ

Bir maden ruhsat sahibi madencilik sonrası üç farklı sorunla uğraşmak durumundadır.

1. İlgili bakanlıklar, yasa ve yönetmelikleri,
2. Arazi mülkiyetleri,
3. Teknik uygulama sorunları.

İlgili Bakanlıklar:

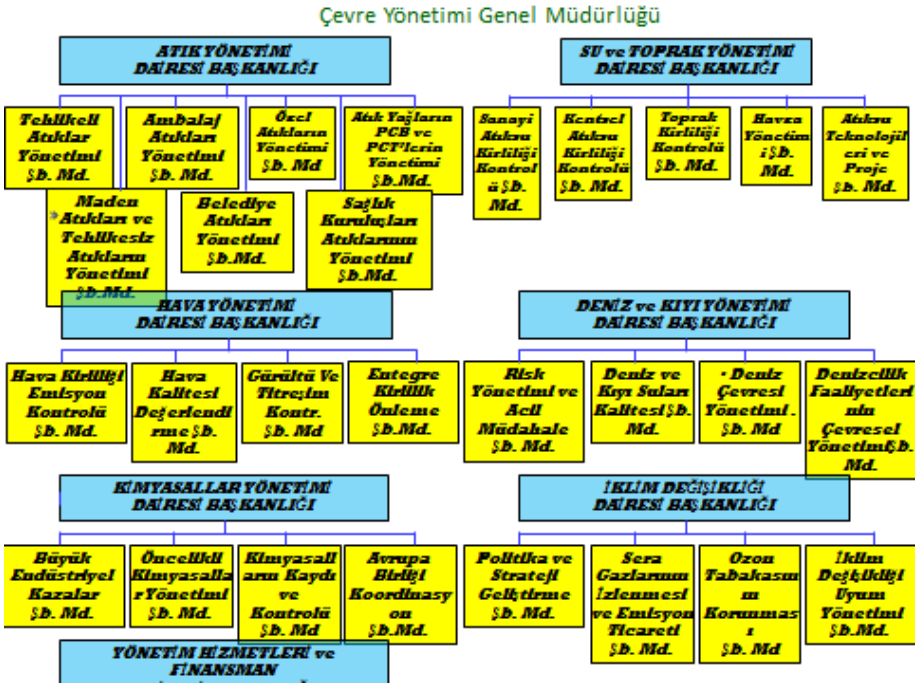
- Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı,
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı,
- Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı,
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı,
- İç İşleri Bakanlığı,
- Kültür Bakanlığı.

Genel Müdürlükler:

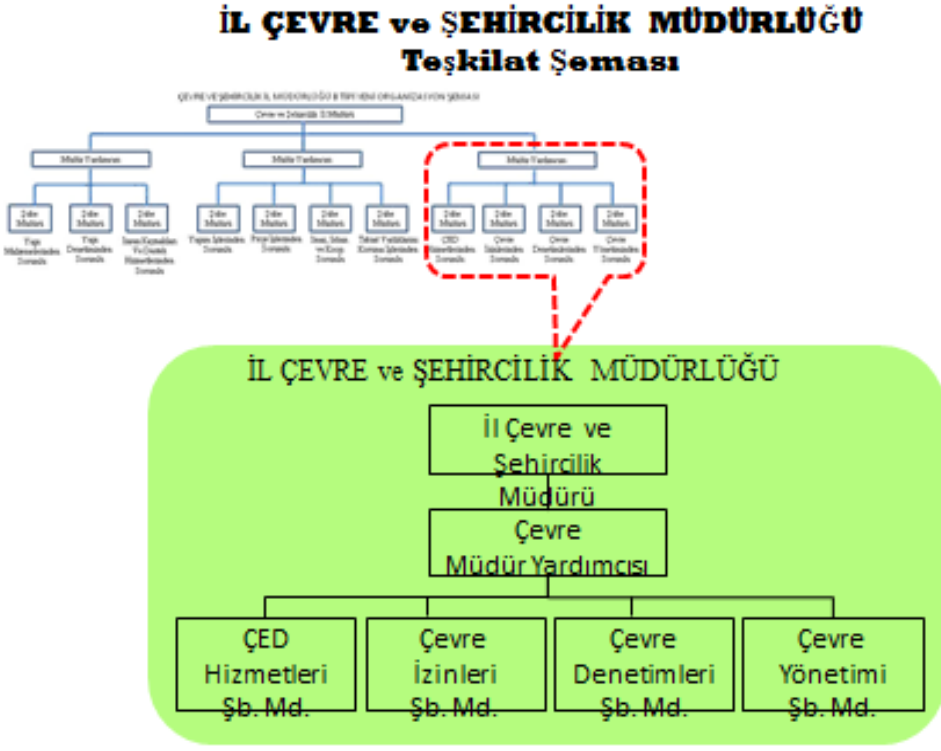
- Maden İşleri Genel Müdürlüğü,
- Çevresel Etki Değerlendirmesi İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü,
- Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü,
- Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü,
- Orman Genel Müdürlüğü,
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.

İlgili Valilikler ve Belediyeler.

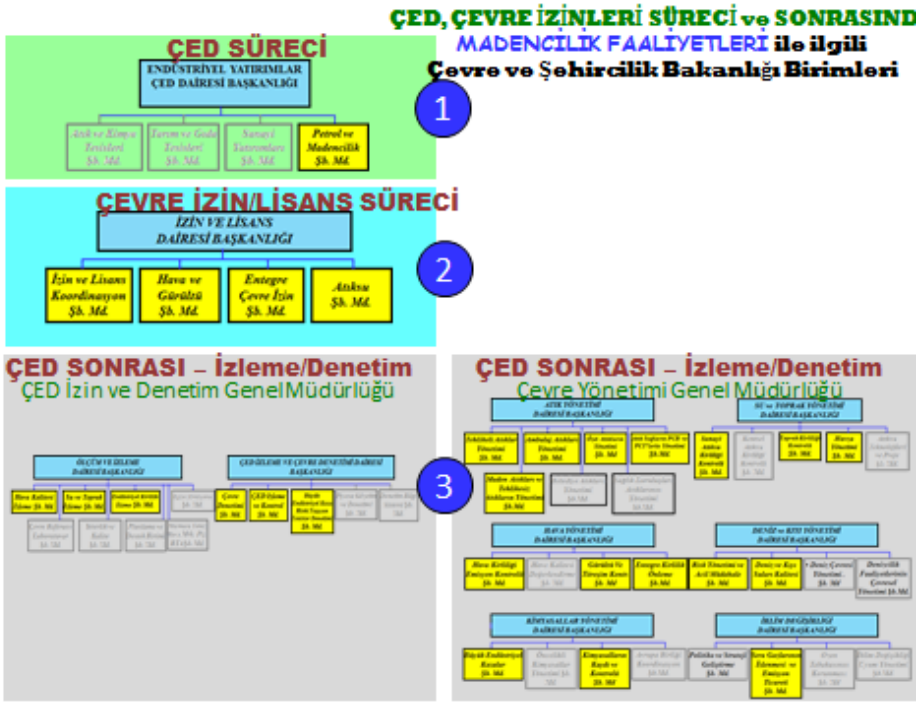
Doğaya yeniden kazandırma proje çalışmaları uygulamanın temeli olup, ilke olarak tek bir yetkili kurum olmalı görüşündeyim. İDARİ YAPILARA bakar isek (Şekil 3-7).



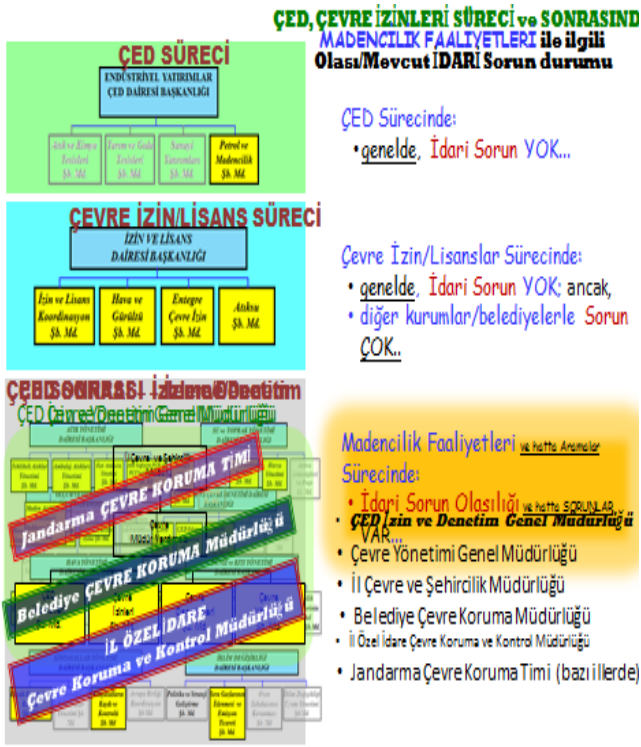
Şekil 3. Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü idari yapıları.



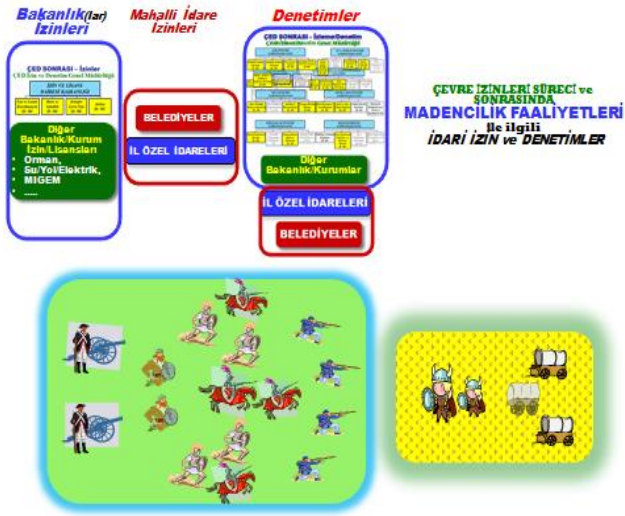
Şekil 4. İl Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü Teşkilat Şeması.



Şekil 5. ÇED süresi.



Şekil 6. ÇED süresi.



Şekil 7. Denetimler.

Ülke madenlerinin büyük bölümü halen orman sayılan alanlarda bulunmaktadır. Bu sebeple ormanlık alanlardaki madenlerin gerek aranıp, ruhsatlandırılabilmesi ve gerekse işletilebilmesi için 6831 sayılı Orman Kanunu kapsamında düzenlenen 16. Madde uygulama yönetmeliği çerçevesinde gereken izin işlemleri ile madeni alınan sahaların rehabilitasyonu, takibi ve denetimi Orman ve Su İşleri Bakanlığımızın sorumluluğunda yürütülmektedir. Madencilik faaliyetleri, ilgili kanun ve yönetmelikler çerçevesinde yürütülmektedir.

3213 sayılı Maden Kanunu başta olmak üzere,

- Çevre Kanunu,
- Milli Parklar Kanunu,
- Kara Avcılığı Kanunu,
- Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği,
- Milli Parklar Yönetmeliği,
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği,
- Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik
- Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği
- Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği

•Madencilik Faaliyetleri Sonucu Bozulan Arazilerin Doğaya Geri Kazanım Yönetmeliği,

• Kum Çakıl ve Benzeri Maddelerin Alınması, İşletilmesi ve Kontrolü Yönetmeliği,

• Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği,

• Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği,

• Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği,

• Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği,

• Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği,

• Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği,

• Yaban Hayatı Korunması Ve Yaban Hayatı Geliştirme Sahaları İle İlgili Yönetmelik bu kapsamda sayılabilir.

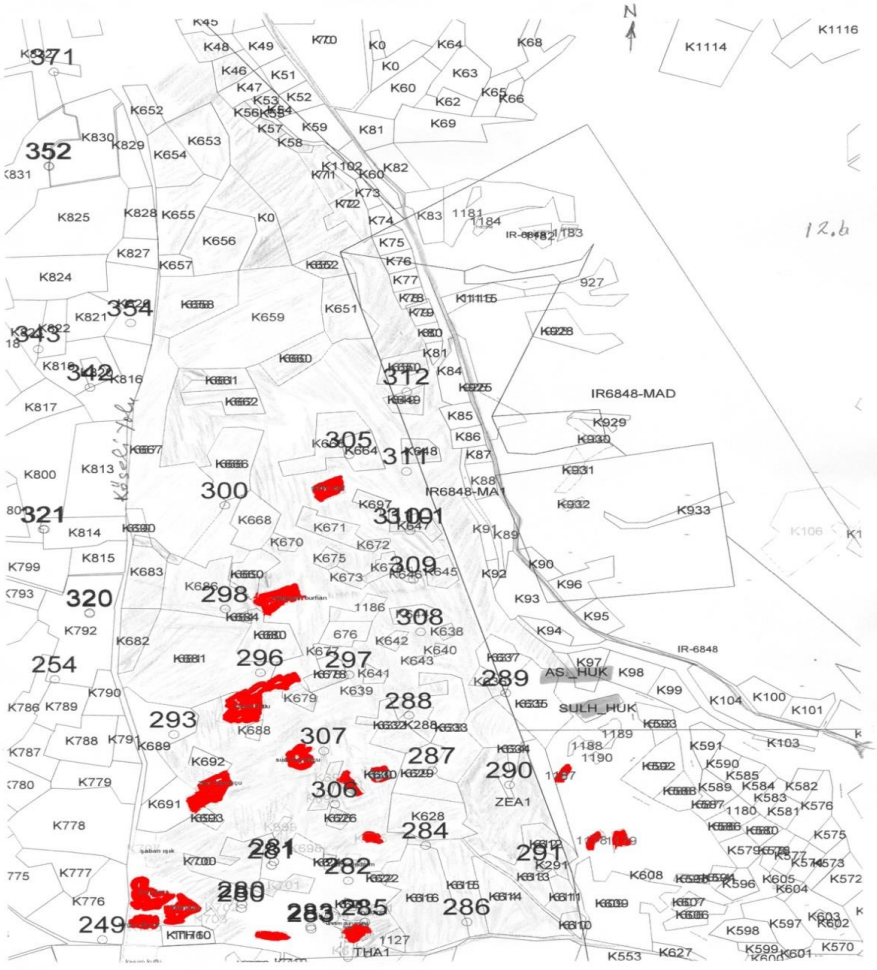
Bütün bu mevzuatın gayesi madenlerin ekonomiye kazandırılması sürecinde işletmesi biten veya yeni işletmeye açılacak olan sahaların doğaya yeniden kazandırılmasını ve iyileştirilmesini sağlamak, madencilik öncesi ekolojik koşullara ve fonksiyona olabildiğince yakın bir çevre oluşturmaktır. İlgili Bakanlığın bürokratik işlemlerinden yakınması enteresan değil mi?

4. BALA-AŞIKOĞLU ALÇITAŞI SAHALARI DOĞAYA YENİDEN KAZANDIRMA UYGULAMALARI

Öncelikle madencilik öncesi arazi kullanımı durumu ne idi? Arazi kullanım yüzdesi oranları madencilik öncesi ve sonrası nasıldı nasıl olacak sorusunun cevabı bilinmelidir. Burada arazi mülkiyetleri sorunu yaşanmaktadır. Her madencilik bölgesinin kendine has özelliklerine göre planlama aşamasında sürdürebilir madencilik ve çevre için ortak paydaşlar ile karar verilmesinde mülkiyet sorunları da çözülmelidir. Bu sahada öncelikle mevcut bitki türleri envanteri ve arazi mülkiyeti, kullanımı tespiti yapılmıştır (Şekil 8). Bitki toprağı olmayan alçıtaşı yatağında (Şekil 9-10) doğal olarak yetişmiş ağaç türü ve çalılık dahi bulunmamaktadır. Sadece altere yüzeylerde yer yer kekik ve calba bitkisi gözlenmiştir.

Dolinli sahalarda geven kekik, deve dikeni, ada çayı ve ayrık otu bulunmaktadır. Madencilik öncesi arazi mülkiyet durumu %35 şahıs, %50 mera,%2 sulak alan, %13 tescil harici ziraata elverişsiz alan olarak saptanmıştır. Şirket tarafından hazırlık olarak üst örtü toprağı olmadığından killi altere alçıtaşı malzemesi alanlarında deneme amaçlı

susuzluğa dayanıklı akasya, iğde, badem, çam ve yer yer kayısı ile vişne, kestane tohum ve fideleri dikilmiştir (Şekil 11-12).



Şekil 8. Bitki türleri envanteri ve arazi mülkiyeti, kullanımı tespiti

Şekil 9. Bala-Aşıkoğlu alçıtaşı yatağı bitki örtüsü.

Şekil 10. Eski Ocak yerinin rehabilitesi için fiziksel yapılanma.

Şekil 11. Badem ağacı dikim çalışmaları.

Şekil 12. Deneme ağaç dikim alanı.

En iyi sonuçlar badem, iğde, akasya, söğüt ağaçlandırmasında alınmıştır. Proje uygulamasında eski ocak yerinin tarıma uygun olmaması nedeniyle şev diplerine doğru hafif eğim verilerek yağışlardan maksimum yararlanma amaçlanmıştır. Doğaya yeniden kazandırma çalışmalarında ağaçlandırmalar mülkiyeti şirkete ait sahalarda yapılmaktadır. Diğer sahalarda sadece arazi düzenlenmesi yapılmaktadır. Bu güne kadar 5000 adet badem, 200 akasya, 100 adet iğde, 100 çam, 30 adet kayısı, 20 adet vişne deneme amaçlı dikilmiştir. Ocaklarda oluşan su gölcükleri ise karstik yapılı alçıtaşı ve yağışlardan oluşmakta olup, gölet kenarlarında sazlıklar yetişmektedir (Şekil 13).

Şekil 13. Ocak içi sülfatlı su göletinde yetişen bitkiler.

Bölgenin yeniden yapılandırmada sorunu, örtü toprağının olmaması ve mülkiyetlerden kaynaklanmaktadır.

5. MUĞLA-YATAĞAN ESKİHİSAR BÖLGESİ UYGULAMALARI

Güney Ege linyit işletmeleri altı açık ocakda (Eskihisar, Tınaz, Bağyaka, Sekköy, İkizköy, Hüsamlar) faaliyette bulunmakta idi (Kulaksız vd., 2010b). Burada sadece Eskihisar ocak işletmesi doğaya yeniden kazandırma uygulaması verilecektir. Poje kapsamında sorular, madencilik öncesi yöre insanı yaşamsal alanı, arazi kullanımı, doğanın kendini yenileme gücü, kalıcı nasıl sosyo-ekonomik yapı oluşturmalı? Bu sorular doğanın yeniden yapılandırmasına ışık tutmaktadır.

Rehabilite edilecek sahanın 840 dekarı orman irtifakı, 9300 dekarı istimlak edilmiş kamu arazisidir. Kamulaştırılan bu alanda bağ-bahçe tarımı, meyve bahçeleri (zeytinlik) ve tahıl ekim alanları bulunmakta idi. Orman arazisi genelde bozuk çam ve makilik şeklinde idi. Bölgede yeniden doğaya kazandırma çalışmalarında ağaçlandırma 1991 yılında akasya dikimi ile başlamış olup hayvancılık ve arıcılık öncelikle hedeflenmiştir. Sürdürebilir çevre ve sosyo-ekonomik yapının devamı için zeytin, fıstık çamı dikimi öne alınarak 20.000 adet zeytin ağacı, 19.000 adet fıstık çamı, deneme amaçlı 800 incir, 200 ceviz fidesi dikilmiştir. Yıllık yaklaşık 6 ton zeytinyağı üretimi yapılmaktadır. Sökülen zeytin ağaçları da iç döküm bu gün yeniden dikilmektedir. Zeytin ağacı dikimi hedefi 200.000 adet olarak hedeflenmiş idi. Özelleştirme sonucu dikimler durmuş, dikim alanlarının bakım-korunması yapılamamaktadır. Bu bölge ilgili doğaya yeniden kazandırma çalışmaları ve sonuçları ile ilgili görüntüler Şekil 14-22'de verilmektedir (Akın, 2009). Yeni bir su kaynağı oluşturulması, yeraltı suları ve arazi

yağış suları depolanması konusu da arazi kullanımına bağlı olduğundan mülkiyetler nedeniyle çözümsüzdür.

Şekil 14. Yatağan linyit işletmesi eski açık ocak sahası içe döküm alanının dikime hazırlanması

Şekil 15. Bölgenin bitki örtüsü ve tarım toprağı

Şekil 16. Döküm alanlarının ağaçlandırılması, şev yamaçları akasya, düzlükler ise zeytin ağaçları

Şekil 17. Şev kademesi hatası

Şekil 18. Sökülen zeytin ağaçlarının dikimi

Şekil 19. Yeniden dikilen eski zeytin ağaçları

Şekil 20. Özelleştirme ile korumasız alan olan yerlerde vahşi hayvan (Domuz) ürünleri

Şekil 21. Sürdürülebilir çevrenin ürünleri

Şekil 22. Madenciliğe yüklenen kabahatin sivil toplumda yaşama açılan tarım alanları ve zeytinlikler

6. SONUÇLAR

- Doğaya yeniden kazandırma çalışmaları dış dökümün bitmesi ile başlamalı, üretimin bitmesi beklenmemelidir. Maden yatağının özel konumu ve küçük ölçekliler hariç.
- Orman ve Su işleri Bakanlığının tanımı ile bu çalışmalar çok başlıklı bürokrasiden arındırılmalı.
- Arazi kullanımında sürdürebilir çevre, sosyal yapılanma köyden kente göç önlenmesi için ekolojik tarım alanları yöre insanına çok az bedel ile verilmesi
- Özeleştirmelerde mülkiyet ve arazi kullanımı da dikkate alınması önermekteyiz.

7. KAYNAKLAR

Akın, Y., 2009. G. Ege Linyit İşletme Doğaya Yeniden Kazandırma Uygulamaları Teknik Not.

Dikmen, A. Ç., Gül, A 2015. Türkiye'de Arazi Kullanımı Dinamikleri ve Madencilik Sektöründe Yaşanan Mekansal Değişimler, 5. Madencilik ve Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s.196-209.

Kulaksız, S., 2012a. İyi Madencilik Uygulamaları, Bursa'da Madencilik Faaliyetleri ve Çevre Sorunları Kitabı, Bursa İl Özel İdaresi Sağlık ve Çevre Dairesi Başkanlığı , s.61-64.

Kulaksız, S., 2012b. Taş Ocağı Maden İşletmeciliği ve Çevreye Etkisi, Madencilikte Çevre Yönetimi Seminer Kitabı, TMMOB MMO, Afyonkarahisar, s.281-302.

Kulaksız S., Tombul M., Akın Y., Duran H., Atay N., 2010a. Türkiye'de Bazı Eski Maden Sahalarının Doğaya Yeniden Kazandırma Çalışmaları, 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, M.M.O. Bildiriler Kitabı, s.429-440.

Kulaksız. S., Tombul M., Güngör N., 2010b. Batı Anadolu Linyit Sahalarında Doğaya Yeniden Kazandırma Uygulamarı ve Farklı Yaklaşımlar, 4.Madencilik ve Çevre Sempozyumu-İzmir M.M.O. Bildiriler Kitabı.

Zanbak, C., 2012. Madencilikte Çevresel Risk Yönetimi ve İyi Madencilik Uygulamaları, Bursa'da Madencilik Faaliyetleri ve Çevre Sorunları Kitabı, Bursa İl Özel İdaresi Sağlık ve Çevre Dairesi Başkanlığı, s.61-64.

NİĞDE KALSİT İŞLETMELERİNDE OLUŞAN PASALARIN JEOTEKNİK VE ÇEVRESEL RİSKLERİ

GEOTECHNICAL AND ENVIRONMENTAL RISKS OF WASTES IN THE NIGDE CALCITE MINES

M. Suat DELİBALTA

Ömer Halisdemir Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Niğde, TÜRKİYE

msdelibalta@ohu.edu.tr

ÖZET: Kimyasal yapısı $CaCO_3$ olan kalsit; mikronize boyutlarda öğütüldükten sonra inşaat, boya, kağıt, plastik vb. birçok sektörde, dolgu ve kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Türkiye'nin en saf ve beyaz oluşumlu kalsitleri Niğde bölgesinde bulunmaktadır. Kalsit ocakları, Niğde Masifi içindeki Gümüşler formasyonunda yer almaktadır. Açık işletme yöntemi ile üretim yapılmakta olup, sektördeki toplam istihdam sayısı yaklaşık 1600-1700 kişi arasında değişmektedir. 18 Farklı firma tarafından üretilen mikronize ve granüle kalsitler yurtiçi ve yurtdışına pazarlanmaktadır.

Ülkemizdeki toplam endüstriyel hammadde üretiminin yaklaşık %90'nın açık işletme üretim yöntemiyle gerçekleştirildiği dikkate alınırsa, madencilik faaliyetleri nedeniyle bozulan arazilerin oldukça önemli boyutlara ulaştığı açıkça görülecektir. Açık işletmelerde gerek üretim, gerekse dekapaj (örtükazı) faaliyetleri sırasında ve sonrasında pek çok üretim çukurları / boşlukları ve şev yüzeyleri oluşmaktadır. Pasa malzemesinin gevşek yapısal ve oluşum özellikleri nedeniyle, önemli bir kısmı kayma veya akma eğiliminde olmaktadır. Çok kısa zaman dilimi (birkaç saniye veya dakika) içerisinde ani hızlara ulaşan ve büyük bir enerji boşalmasıyla sonuçlanan bu tür şev kaymaları, önemli tehlike potansiyelleri içermektedir.

Bu çalışmada; Niğde bölgesi kalsit işletmelerinde gerek teorik gerekse uygulamalı saha çalışmalarından elde edilen bulgular; jeoteknik, jeomekanik ve ekolojik yönden incelenerek, çevre uyumlu ve sürdürülebilir madencilik için gerekli parametreler ortaya konulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Açık işletme, Kalsit, Pasa, Şev duraylılığı, Çevre

ABSTRACT: *The chemical structure of calcite $CaCO_3$ which is, after grinded and micronized is used as fillers and coating materials for filling operations in many sectors such as construction, paint, paper, plastics industry and so on. The pure white calcite formations of Turkey are situated in Nigde city. The calcite mines in the Nigde Massif are located in the Gumusler formation. Open pit production method is being carried out and the total number of employee in the sector ranged from about 1600-1700 persons. The materials, which are produced by 18 different companies, are marketed domestically and internationally.*

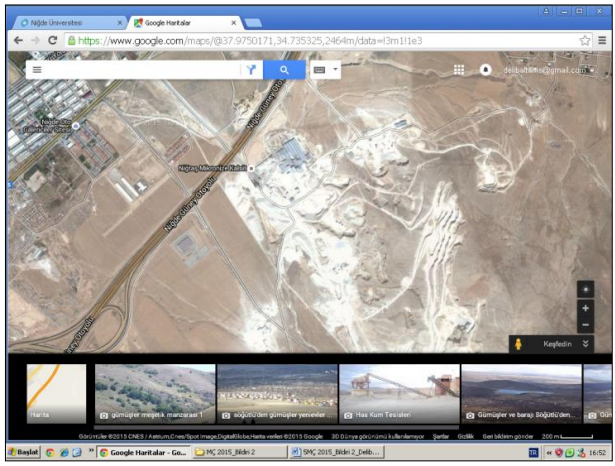
In Turkey, since about 90 % of the overall industrial raw material has produced by open pit mining technique, the magnitudes of the size of these lands that require reclamation are significant. In open pit mines during both mining and stripping operations, huge holes and irregular slopes can often occur. These land fields must be stable geotechnical as well as ecological so that alternative public usages can be managed. The Mining land field soil is often tending to slide and flow due to its structural and stability properties. These sudden changes can reach to high speeds within seconds and often result in massive energy discharges which can cause catastrophic landslides.

In this study; findings obtained from both theoretical and applied field studies for calcite operations in Nigde region; geotechnical, geomechanic and ecological aspects of the region, the necessary parameters for environmentally compatible and sustainable mining are set forth.

Keywords: *Open pit mining, Calcite, Waste, Slop stability, Environment*

1. GİRİŞ

Madencilik; sanayi ve toplumsal yaşamın en önemli faaliyetlerinden birisidir. Madenciliğin amacı, ulusal kalkınma ve sosyo-ekonomik gelişme için gerekli olan enerji ve doğal hammaddeleri endüstriye sağlamaktır. Ancak; madencilik faaliyetleri sırasında ve sonrasında kaçınılmaz olarak pek çok arazi bozulmaları (Şekil 1), gaz emisyonları, atıklar, toz ve gürültü meydana gelmektedir (Ünver ve Kara, 1994). Günümüz sanayileşme ve hızlı nüfus artışına bağlı olarak endüstriyel hammaddelere olan talep sürekli artmakta, bunun neticesinde söz konusu tahribatların çevre üzerindeki etkileri de yaygınlaşmaktadır (Varol ve Başpınar, 2011).



Şekil 1. Niğde kalsit işletmelerinin uydu görünüşü (www.google.com/maps)

Gerek iş sağlığı ve güvenliği gerekse çevresel etki değerlendirmesi (ÇED) bakımından, madencilik sonrası bozulan sahalarının yeniden düzenlenmesi ve toplum yararına kullanıma sunulması yasal bir zorunluluktur (ÇOB, 2010; Okyay ve Aydın, 2013). Açık işletme sırasında veya sonrasında bozulan arazilerin yeniden düzenlenmesinde temel amaç; bu sahaların jeoteknik bakımdan güvenli ve uygun bir peyzaj görünüme ulaşması kadar, buradan ekonomik ve ekolojik olarak yararlanmakta hedeflenmektedir. Bu maksatla, Niğde bölgesinde bulunan kalsit işletmelerinde oluşan pasaların jeoteknik ve çevresel riskleri ele alınarak incelenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Niğde kalsit işletmeleri pasa sahalarında yapılan gerek teorik gerekse uygulamalı arazi çalışmalarından elde edilen bulgular; jeoteknik, jeomekanik ve ekolojik yönden incelenerek, çevre uyumlu ve sürdürülebilir madencilik için gerekli parametreler ortaya konulmaktadır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Türkiye, üzerinde bulunduğu jeolojik yapının sonucu olarak dünyada kendi endüstriyel hammadde gereksiniminin önemli bir bölümünü karşılayabilen, doğal kaynak çeşitliliğine sahip nadir ülkelerden biridir. Dünyada toplam maden üretimi itibarı ile 28'inci, maden çeşitliliği açısından da 10'uncu sırada yer almaktadır (ETKB, 2014). Dünyada ticareti yapılan 90 çeşit madenden bugüne kadar sadece 13'ünün varlığı

ülkemizde belirlenememiştir. Ülkemiz, geri kalan 50 çeşit maden açısından zengin ya da çok zengin, 27 çeşit maden bakımından ise yetersiz kaynaklara sahiptir. Rezerv yönünden; başta bor, trona, mermer, feldspat, manyezit, pomza, perlit, stronsiyum ve kalsit olmak üzere, Türkiye dünyanın sayılı zengin ülkelerinden birisi konumundadır.

Kimyasal formülü $CaCO_3$ (kalsiyum karbonat) olan ve kâğıt, plastik, boya, seramik, cam, ilaç, tarım gibi pek çok sektörde kullanılan kalsitin hammaddesi olan kalkertaşı (kireçtaşı) rezervleri Türkiye'de oldukça yaygın ve bol olmasına rağmen, Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü raporlarına göre (DPT, 2001), Niğde bölgesi ülkemizdeki en zengin ve en beyaz kalsit oluşumlarına sahiptir (Şekil 2).

Şekil 2. Niğde kalsit açık işletmelerinden bir görünüş (Delibalta, 2017)

3.1 Niğde Kalsit İşletmeleri ve Ekonomik Önemi

Niğde'de bulunan yeraltı kaynaklarını; *endüstriyel hammaddeler* (diyatomit, kalsit, mermer-traverten, jips, perlit ve pomza gibi yapı malzemeleri), *enerji hammaddeleri* (bitümlü şist, jeotermal) ve *metalik madenler* (altın-gümüş, bakır-kurşun-çinko, nikel, wolframit, demir gibi) olmak üzere, esas olarak üç grupta ele almak mümkündür (Delibalta ve Toraman, 2013).

Niğde'de madencilik ve yapı malzemeleri sektöründe faaliyet gösteren firmalar incelendiğinde, 18 farklı firma ile kalsit madenciliği (mikronize üretim dahil), doğaltaş ve kum ocaklarının ön plana çıktığı görülmektedir. Kalsit madenciliğindeki güncel gelişmeler ile birlikte, Niğde bu maden açısından önemli bir merkez olma yolundadır.

Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Niğde İl Müdürlüğü 2015 yılı kayıtlarına göre (Çizelge 1), endüstriyel hammaddeler ve inşaat yapı malzemeleri üretimi yapan özel sektöre ait toplam 33 farklı firma faaliyette bulunmaktadır. Söz konusu firmalarda 12.505.099,8 ton ihracat, toplam 1.664 kişi istihdam edilmiştir. Sektörün sahip olduğu

potansiyel tam olarak kullanılması halinde, gerek ulusal ekonomiye yapacağı katkılar gerekse yaratacağı istihdam oranı önemli ölçüde artabilir (Delibalta, 2017).

Çizelge 1. Niğde'de endüstriyel hammadde üreten firma ve istihdam sayıları

FİRMA SAYISI	ÜRETİM KONUSU		İHRACAT (2015 yıl/ton)	İSTİHDAM (Kişi)
	Ürün Adı	Yıllık Kapasite (ton)		
4	Çimento, Hazır Beton	1.856.039	0	388
7	Mozaik, Kalsit Tozu, Granül Kalsit	1.314.183	2,8	343
6	İnşaat Kumu, Mıcır	750.300	0	150
6	Mikronize Kalsit, Talk	789.031	12.505.097	609
5	Alçı Taşı, Kalker Taşı	691.365	0	53
1	Kilitli Parke-Bordur Taşı	16.660	0	37
2	Seramik Yapıştırıcı, Derz	73.025,1	0	80
2	İşlenmiş Mermer	1734	0	4
33	**TOPLAM**		**12.505.099,8**	**1.664**

3.2 Pasa Döküm Sahaları ve Çevresel Riskleri

Niğde kalsit işletmeleri; merkez ilçeye 7 km uzaklıkta, ekseri ormansız, bozkır ve hazine arazisi üzerine kurulu olup, günümüzde özel sektöre ait 18 farklı firma ile mikronize kalsit ve türevlerinde üretim faaliyetlerine devam etmektedir (Şekil 3). ÇED Yönetmeliği Ek-II listesinde yeralan "Kalsit Ocağı ve Kırma-Eleme Tesis"leri aynı yönetmeliğin 17.maddesi gereğince "ÇED Gerekli Değildir" kararına sahiptirler. İşletmeler kalsit üretimi sırasında; topoğrafik yüzey bozulmaları, kısmen kazı, kırma-eleme işlemlerinde toz, gürültü ve pasa/atık yığınları hariç, sürdürülebilir kalkınma ve çevresel etki değerlendirmesi kriterlerine uygun olarak faaliyetlerini sürdürmektedirler.

Ancak; kalsit ocaklarından üretilen kalitesi düşük cevherlerin kırma sonrası triyaj ile zenginleştirme yapılması, ülkemizde bu alanda faaliyet gösteren birçok firma için zorunlu hale gelmiş durumdadır. Tane boyutu 3-30cm aralığında değişen malzemenin bu zenginleştirme işlemi sonrası ise, büyük tonajlı pasa/artık sahaları meydana gelmeye başlamıştır (Şekil 4).

Pasa malzemesinin gevşek yapısal ve oluşum özellikleri nedeniyle, önemli bir kısmı kayma veya akma eğiliminde olmaktadır. Bunun en önemli koşulu; boşluk suyu basıncının artmasıyla kayma gerilmesinin azalması ve statik denge durumunu bozacak yeterli büyüklükteki bir iç veya dış kuvvetin yüzeye etkimesidir (Delibalta, 2003; Yıldız, 2017). Çok kısa zaman dilimi (birkaç saniye veya dakika) içerisinde ani hızlara ulaşan ve büyük bir enerji boşalmasıyla sonuçlanan bu tür şev kaymaları, iş güvenliği ve çevre açısından önemli tehlike potansiyelleri içermektedir (Şekil 5).

Şekil 3. Niğde kalsit işletmesi pasa sahasından bir görünüş (Delibalta, 2017)

Şekil 4. Kırılmış kalsit cevheri ve el ile triyaj sonrası oluşan artık (Uçurum vd., 2015)

Toprak altında kalan kamyonlar Toprak altında kalan Komatsu 930 SE kamyonlar

Şekil 5. Açık işletmede şev kayması sonrası yaşanan iş kazaları (Yıldız, 2017)

Açık işletmelerde yaşanabilecek muhtemel bir pasa şev duraysızlığının oluşabilmesi, aşağıda belirtilen koşulların açığa çıkmasıyla mümkündür. Bunlar;

- Yığın tane boyut dağılım eğrisinde bir tane büyüklüğünün baskın olarak gözükmesi (Şekil 6),
- Yığındaki tanelerin büyük bir kısmının iyi yuvarlaklık ve kaygan yüzey özellikleri göstermesi,

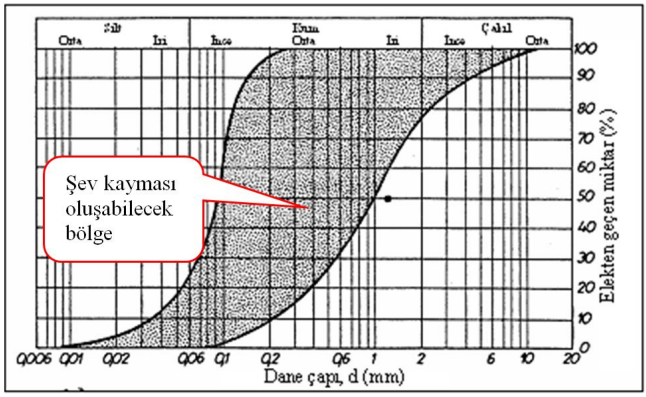
Pasa sahasındaki taneler ne kadar yuvarlak ve pürüzsüz yüzeyli olursa, kayma eğilimi de o kadar hızlı ve büyük olmaktadır.

- Ortamın gevşek veya çok gevşek yığın halinde bulunması,

Şev kayma eğilimi, pasa yoğunluk indeksine büyük oranda bağlıdır. Eğer, dikkate alınan pasa yığını çok gevşek veya orta sıkılıkta ($I_D \leq 0,6$) bir bağıl yoğunluk indeksi gösteriyorsa, ani bir kayma riski beklenmelidir. İlgili yığının bağıl yoğunluk indeksi;

$$I_D = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad (1)$$

eşitliği ile bulunur. Burada; e_{max} ve e_{min} maksimum ve minimum boşluk oranlarıdır.



Şekil 6. Pasa şevlerinde kayma eğilimli tane boyut dağılım eğrisi (Delibalta, 2009)

- Boşluk ve gözeneklerin kısmen ya da tamamen su ile dolu olması,

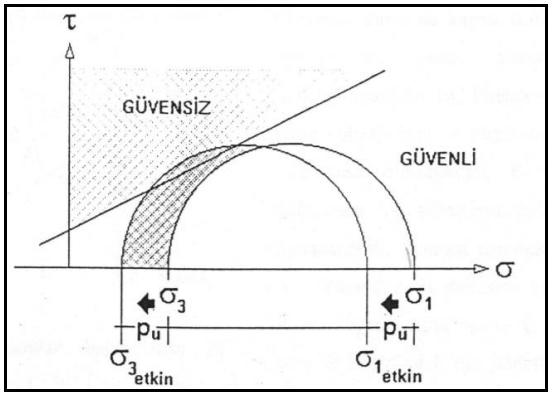
Pasa sahasındaki taneler arasındaki boşluklara giren su, tanelerin yüzeylerine su derinliğinin fonksiyonu olarak şiddeti her yönde aynı olan bir hidrostatik basınç (p_u) uygular. Örtü ağırlığı ve dış yüklere bağlı olarak zemin içerisinde oluşan gerilme durumu ($\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$), suyun bu etkisiyle olumsuz yönde değişir. Gerilme dairesinin çapı ($\Delta\sigma$) değişmeksizin, merkezi (p_u) kadar τ-eksenine doğru kayar. Bu durumda, Mohr dairesi τ-kayma zarfına (yenilme koşuluna) yaklaşır ve sonuçta ortam güvensizleşir. Mohr dairesinin τ-kayma zarfına değmesi halinde ise, zemin kesilerek kaymaya başlar (Şekil 7).

- İç veya dış etkiyle şevin kritik denge durumunun bozulması,

Bunlar; yeraltında oluşturulan dinamik etkiler (delme-patlatma çalışmaları) ve yüzeyde oluşturulan dinamik etkiler (ekskavatör, kamyon vb. gibi iş makinelerinin çalışması) sonucu oluşan kuvvetlerdir.

- Sismik kuvvetlerin etki büyüklükleri ve sıklığı,

Aktif deprem bölgelerindeki açık işletme pasa şev duraylılığı analizlerinde etkin gerilmeler hesaplanırken, sismik aktivitelerin de gözönünde tutulması gerekir. Çünkü bu kuvvetler, güvenlik katsayısının belirlenmesinde kaymayı kolaylaştıran kuvvetlerin artmasına neden olmaktadır. Sismik kuvvet, kayan bloğun merkezine yatay yönde etkir ve büyüklüğü sismik katsayı ile dilim ağırlığının çarpımıyla belirlenir.



Şekil 7. Boşluk suyu basıncının gerilme durumuna etkisi (Vardar, 1996)

Eğer; pasa şev duraysızlığı için yukarıda belirtilen gerekli tüm koşullar oluşmuş ise, yığının denge koşullarını bozacak bir iç veya dış kuvvetin şev yüzeye etkimesiyle, her an bir kayma başlayabilir.

Açık işletme sonrası bozulan arazilerde ve gerek iç gerekse dış döküm sahalarında işletme güvenliği için, başta pasa şev duyarsızlık oluşum koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. Söz konusu kriterler; şev kayma riskinin belirlenmesinde olduğu kadar, arazi rehabilitasyon çalışmalarında da dikkate alınmalıdır. Bunlar; jeolojik, hidrolojik, jeomekanik ve ekolojik faktörler olarak; yığın yoğunluğu, tane boyut dağılımı ve formu, su seviyesi, şev geometrisi, işletme bölgesinin depremsellik özelliği, zaman etkisi, yeraltı suyu ve kimyasal bileşimidir. Ayrıca; açık işletmelerde "basmak genişliği", "basamak yüksekliği" ve "basamak açısı" kayma üzerinde en etkin olan değişkenlerdir. Bu değişkenler "işletme genel şev açısı"nı da belirlemektedir. Fakat bir pasa şev kayma riski, sadece bu kriterlere göre tamamlanmış varsayılamaz. Özellikle; arazi ve laboratuvar deneyleri ile belirlenmiş malzeme özeliklerinden (Çizelge 2-3) hareketle, kinematik, analitik ve nümerik esaslara göre şev duraylılık analizlerinin yapılması da gerekmektedir.

Çizelge 2. Niğde-Gümüşler yöresine ait kalsitin fiziksel özellikleri (Atıcı, 2017)

Fiziksel Özellikler	X_{min}	X_{max}	S	$\bar{X}$
Kuru birim hacim ağırlık (g/cm^3)	2,69	4,05	0,61	2,97
Doygun birim hacim ağırlık (g/cm^3)	2,69	4,06	2,97	0,61
Ağırlıkça su emme oranı (%)	0,03	0,06	0,01	0,05
Hacimce su emme oranı (%)	0,08	0,25	0,06	0,15
Görünür porozite (%)	0,08	0,25	0,06	0,15
Boşluk oranı (%)	0,0008	0,0025	0,0006	0,0015

X_{min}: En küçük değer, X_{max}: En büyük Değer, S: Standart sapma, $\bar{X}$: Aritmetik ortalama

Çizelge 3. Niğde-Gümüşler yöresine ait kalsitin mekanik özellikleri (Atıcı, 2017)

Mekanik Özellikler	X_{min}	X_{max}	S	$\bar{X}$
Schmidt yüzey sertlik indeksi	41,32	53,13	3,81	46,10
Sonik hız deneyi (Vp) (km/s)	5,13	5,93	0,31	5,59
Endirekt çekme dayanımı (MPa)	5,69	6,08	0,28	5,89
Tek eksenli basma dayanımı (MPa)	66,39	92,74	10,05	76,01
Deformasyon modülü (GPa)	25,22	32,20	3,85	27,78

X_{min}: En küçük değer, X_{max}: En büyük Değer, S: Standart sapma, $\bar{X}$: Aritmetik ortalama

Madencilik faaliyetleri nedeniyle doğrudan ve/veya dolaylı çevresel risklerin henüz yaşanmadığı Niğde kalsit işletmeleri için; ileride bu faaliyetler sırasında ve sonrasında oluşabilecek çevresel etkilerin giderilmesi için, madencilik faaliyetleri sonrası arazi rehabilitasyonu, alan verimliliği, ekolojik, ekonomik ve estetik değerlerin bölgeye yeniden kazandırılması amacıyla kapsamlı bir peyzaj mimarisi planı hazırlanmalıdır.

4. SONUÇLAR

Modern dünyada yılda 1,5 trilyon ABD Doları değerinde, 10 milyar tonun üzerinde maden üretilmektedir. Bu üretimin %75'i enerji hammaddeleri, %10'u metalik madenler ve %15'i endüstriyel hammaddelere aittir. Demir-çelik, demir dışı metaller, çimento, seramik, cam vb. imalat sanayiinin büyük bölümü, girdilerini ağırlıklı olarak madencilik sektöründen karşılamaktadır. Bu kapsamda, sağlıklı bir madencilik altyapısı olmaksızın söz konusu sanayilerin gelişmesinin hiç de kolay olmayacağı açıktır.

Maden yataklarının aranması, üretimi ve zenginleştirilmesi süreçlerinde uygulanan işlemler; hava, toprak, su kaynaklarını, dolayısıyla çevreyi ve çevrede yaşayan canlıları etkilemektedir. Kazı sahası ve topoğrafik yüzey alanı olarak; açık işletme madenciliğinin çevre üzerindeki olumsuz etkileri, yeraltı işletmesi ve cevher hazırlama çalışmalarına oranla çok daha fazladır.

Niğde ili gerek miktar gerekse kalite açısından Türkiye'deki en iyi kalsit rezervlerine sahiptir. İlde bulunan kalsitlerin $CaCO_3$ oranı oldukça yüksek, silis ve demir safsızlıkları ise çok düşük miktardadır. Ayrıca; öğütüldükten sonraki beyazlık derecesi çok yüksektir. Bu özellikler, Niğde kalsitini gerek ülke içinde gerekse uluslararası sektörde aranan ürün konumuna getirmektedir. Ancak; ilin bu potansiyelden tam yararlanabilmesi için, kalsitin hammadde veya kaba işlenmiş olarak pazarlanması yerine, mikronize ve kaplanmış mamul ürün olarak satılması teşvik edilmelidir. Çünkü, cevher olarak ocaktaki değeri 3-5 $/ton olan kalsit, mikronize boyutlara öğütülüp paketlendikten sonra 40-200 $/ton değerlere ulaşmaktadır.

Niğde kalsit işletmelerinde üretim dışı kalan veya terk edilen ocakların en önemli çevresel sorunu; üretim aynalarının (şevlerin) stabiltesinin sağlanması, komşu bölgelere olan fiziksel ve yasal ilişkilerin doğru ve gerçekçi şekilde tanımlanmasıdır. Özellikle, orman ve yerleşim sınırlarına yakın olan bölgelerde kapatılmış ocak çukurlarının ve üretim şevlerinin yapılacak kontrollü dolgularla rehabilite edilmesi çok uygundur. Böylece, işletmeler için yeni döküm alanları da yaratılmış olmaktadır. Ayrıca; yeraltısuyu ile sürekli beslenen ya da geçirimsiz tabakalı ocaklarda çukurlar kısmen su ile doldurulabilir. Buna göre; uygun bir maden kapatma planlaması, ancak ekonomik, sosyal ve çevre koruma faktörlerinin dikkate alındığı sürdürülebilir bir yaklaşımla gerçekleştirilebilir.

Bir toplum; yüksek bir ekonomik gelire, iyi bir yaşam standardına sahip olmak istiyorsa; yeraltı zenginliklerini mutlaka kullanmak zorundadır. Ancak; yeraltı kaynaklarını değerlendirirken, üstünde yaşadıkları toprakların da zenginliğini kaybetmemeleri gerekmektedir. Madencilik ve çevre konusundaki bu ilişki, çok ince ve hassas bir dengedir. Hangisini elden bırakır veya bozarsanız, o toplumun mutlu olması veya kalkınması mümkün değildir.

5. KAYNAKLAR

Atıcı, Ü., 2017. Gümüşler (Niğde) Kalsitinin Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 6, Sayı 1, 151-157.

ÇOB, 2010. Çevre ve Orman Bakanlığı (ÇOB), Madencilik Faaliyetleri İle Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı: 27471, 23 Ocak, Ankara, 8 s.

Delibalta, M.S., 2003. TKİ-GELİ (Muğla) Bölgesinde Dekapaj Döküm Sahasındaki Şev Duraysızlıklarının İncelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 154 s.

Delibalta, M.S., 2009**.** Açık İşletme Arazi Rehabilitasyon Yöntemlerinde İş Güvenliği Kriterleri ve TKİ-GELİ Uygulaması, Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu'2009 Adana, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayın No:164, 159-168.

Delibalta, M.S. ve Toraman, Ö.Y., 2013. KOP Bölgesi Ekonomik Kalkınmasında Doğal Kaynaklar ve Enerji Sektörünün Rolü, Ulusal KOP Bölgesel Kalkınma Sempozyumu, Konya, 14-16 Kasım, 18-27.

Delibalta, M.S., 2017. Niğde Kalsit İşletmelerinin Önemi ve Uygulanabilir Arazi Rehabilitasyon Modülleri, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Niğde, Cilt 6, Sayı 1, 158-165.

DPT, 2001. Devlet Planlama Teşkilatı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri I, 8.Kalkınma Planı (2001-2005), Ankara, Yayın No: 2618, ISBN 975-19-2853-2.

ETKB, 2014. Mavi Kitap, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) ile Bağlı, İlgili ve İlişkili Kuruluşların Amaç ve Faaliyetleri, Ankara, www.enerji.gov.tr, 302 s.

Okyay, V. ve Aydın, O., 2013. Madenlerde Saha Düzenlemesi (Rekültivasyon-Rehabilitasyon), Madencilik_Türkiye, Yıl 4, Sayı 29, 01 Mart, 64-78.

Uçurum, M., Atıcı, Ü., Toraman, Ö.Y., Çayırlı, S., 2015. Kalsit Madenciliği Triyaj Artığının Agrega Olarak ve Kireç Üretiminde Değerlendirilmesi, 5. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, ISBN: 978-605-01-0792-0, Ankara, 382-388.

Ünver, Ö. ve Kara, D., 1994. Türkiye'de Kömür Madenciliği ve Çevre, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Madencilik, Ankara, Cilt: XXXIII, Sayı:2, 3-9.

Vardar, M., 1996. Heyelanlar, Yamaç ve Şevlerde Duraylılık İrdelemeleri, İTÜ Maden Fakültesi, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, Kollogyum Notları (yayımlanmamış), İstanbul, 27 s.

Varol, S. ve Başpınar, E., 2011. Maden İşletmelerinin Çevreye Etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, SDUGEO e-dergi, ISSN 1309-6656 Yıl 2, Sayı: 4, 28-31.

Yıldız, N., 2017. Açık İşletmelerde Toprak Kayması, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, Madencilik Bülteni, Sayı 120, 42-48.

http://www.google.com/maps

http://www.mta.gov.tr

YARIMOĞLU OBRUĞU (KARAPINAR-KONYA) ÇEVRESEL ETKİSİNİN YERDİRENCİ YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

EARTH RESISTIVITYARINOGLU SINKHOLE TO DETERMINE ITS ENVIRONMENTAL INFLUENCES

M. Kemal GÖKAY*, Kemal DOĞAN

Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: mgokay@selcuk.edu.tr

ÖZET: Bu çalışmada Konya-Karapınar ilçesi yakınlarındaki Yarımoğlu obruğu, yeraltı uzanımlarının oluşturduğu çevresel tehlike riski nedeniyle incelemeye alınmıştır. Karapınar-Konya karayolunun, 17. km'sinde, karayoluna yaklaşık 300 metre yanal mesafedeki bu obruğun yeraltı uzantıları bu çalışma sırasında uygulanan yerdirenci yöntemiyle araştırılmıştır. Obruğun derinliği dip kısmındaki su yüzeyine göre yaklaşık 70-80 metredir. Obruk 2009 yılında oluştuğu zaman, düz bir arazide, mısır tarlası içinde, yeraltına doğru göçmüş yaklaşık 12-15 metre çapında, 80 metre derinliği bulunan silindirik bir boşluk olarak izlenmiştir. Daha sonra obruğun yeryüzüne ulaştığı ağız çeperini oluşturan tabakalar, stabilitesini kaybedip zaman içinde obruk içine göçtüğü için obruk ağız çapı giderek genişlemiş ve 45-50 metre civarına ulaşmıştır. Obruğun giderek genişleyerek zaman içinde ters kesik koni şeklini alması ve bu oluşumun gelişme hızı, obruk oluşumlarının bulunduğu kayaç formasyonlarına bağlı olarak değişmektedir. Bu obruk civarında gerçekleştirilen çok elektrotlu elektriksel yerdirenci ölçümlerinden elde edilen veriler, obruk boşluğu yakınlarında yeralan önemli süreksizlikler ve yeraltı suyunun yayılımı konusunda değerlendirmeler yapılmasını sağlamıştır. Elde edilen ön tespitlere göre Yarımoğlu obruğunun yeraltı boşluk yayılımının, Konya-Karapınar karayolunun altına doğru uzanma ihtimali bulunmaktadır. Bu ön çalışma sonucunda; Yarımoğlu obruğunun yakınında bulunan tarlaların ve karayolunun bundan sonra gerçekleşmesi muhtemel ek çöküntülere göre daha detaylı gözden geçirilmesi ve risk durumunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla yapılacak çalışmalar, yeraltı boşluk tavanlarının stabilitesini içeren kaya

mekaniği ve yeraltı su seviyesi bilgilerini de içeren çevresel etkileşimlerin birlikte düşünülmesini kapsayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yarımoğlu obruğu, Çok elektrotlu yerdirenci ölçümü, Obruk yayılımı, Obruk boşlukları

ABSTRACT: *In this study, Yarimoglu sinkhole located near Karapinar-Konya (Turkey) was researched for its underground passageways to evaluate environmental risk of surface failure. Earth resistivity measurement techniques were used to predict possible underground opening. Yarimoglu sinkhole is located 17 km away from Karapinar town and the distance between main road and the sinkhole is only about 300 meters. Yarimoglu sinkhole looked like a cylindrical in shape when it was collapsed in 2009. At that time it's cylindrical diameter was about 10-12 meters and it's depth was 80 meters. Due to ground failure near the sinkhole surface opening, Yarimoglu sinkhole shape has gradually became upside-down conical shape and its surface opening diameters is about 45-50 meters nowadays. Electrical earth resistivity measurements performed around the sinkhole supplied information to locate where the faults, weaknesses zones, and water levels were positioned. Evaluation of these preliminary data pointed out that Yarimoglu sinkhole has most probably underground extension under the Konya-Karapinar highway. Failure risk of agricultural land and part of the highway therefore need further study to analyze the underground water related openings by controlling rock engineering and environmental water content analyses.*

Keywords: *Yarimoglu sinkhole, Multi electrode earth resistivity measurements, Sinkhole extensions, Sinkholes openings*

1. GİRİŞ

Yeraltısuyunun zaman içinde çözerek uzaklaştırabildiği kayaçlar, (özellikle alçıtaşı ve kireçtaşı formasyonları) içinde oluşan mağaraların, su geçiş dehlizlerinin, yeraltı su haznelerinin, kısaca doğal yeraltı boşluklarının, tavanlarının göçmesiyle oluşan yeryüzü şekillerine obruk denilmektadir. Oluşan obrukların kenarları başlangıçta oldukça dik açılıyken, zaman içinde obruk ters konik bir şekil alana kadar değişime uğramaktadır. Bu oluşum mekanizmasına benzer şekilde; bu araştırmaya konu olan Yarımoğlu obruğu (Karapınar-Konya), ilk oluştuğunda yeryüzünde 12 metre çaplı dairesel bir boşluk olarak aniden (2009 yılı içinde) oluşmuştur. Derinliği 80 metre civarında olan bu obruk

oluştuğunda silindirik bir boşluk görünümü verirken, zaman ilerledikçe obruk ağız kısmı, içe dökülmeler ve kaymalar yüzünden genişlediği için obruk, ters konik bir boşluk durumuna gelmeye başlamıştır. Bu obruk oluşmadan önce obruğun oluştuğu tarlalar civarında, obruk oluşabileceği hakkında ön bilgi ve uyarı olmadığı için, obruğun oluştuğu tarla sahibi için hayati risk oluşturmuştur. Yarımoğlu obruğunun yaklaşık 300 metre güneyinden geçen Konya-Karapınar Karayolu, Konya'nın önemli Bağlantı yollarındandır. Hergün geçen araç sayısı azımsanmayacak seviyededir. Yarımoğlu obruğunun yeraltı suyuyla oluşmuş olması, yeraltında bulunan su geçiş boşluklarına bağlı olduğuna göre, bu çalışmada Yarımoğlu obruğunun yeraltı boşluk uzanımlarının Konya-Karapınar karayolu altına kadar uzanıp uzanmadığı çevresindeki tarlalar için oluşturduğu tehlikeller de dikkate alınarak incelenmiştir.

1.1 Yeraltı Boşluklarının Tavan Göçmesi ve Obruk Oluşumu

Yeraltında oluşan boşluklar etrafında oluşan gerilmeleri açıklamak için kaya mekaniği araştırma ve sonuçlarından yararlanmak gereklidir. Yerçekiminden dolayı oluşan birincil arazi gerilmelerinin yeraltındaki etki yönleri ve şiddeti, incelenen lokasyonun derinliğine ve tektonik hareketlere bağlı olarak değişmektedir. Yaraltında; özel amaçlar için insanlar tarafından açılan boşlukların ve doğal olarak oluşan boşlukların çevresinde, birincil arazi gerilmeleri farklılaştığı için bunların çevresindeki gerilme durumunu açıklamak için ikincil arazi gerilme incelemeleri yapılmaktadır. Yeraltındaki boşluk boyutları sabit değildir, boyutlar gerilme-deformasyon ilişkisi içinde dinamik olarak değişiklik gösterir. Bunun sonucu olarak ikincil arazi gerilmelerinin de durmadan değişiklik gösteren değerler olduğu unutulmamalıdır. Kayaç içindeki süreksizlikler *(mikro ölçekte fissürlerden başlayarak, makro ölçekte faylara kadar bütün kayaç içi zayıflıklar)* kayaçların bu gerilmeler altındaki davranışlarını etkileyecek, kayaçlar içindeki su içeriklerini, permeabiliteyi, kayaçların su depolama kapasitelerini ve bu kayaçlar içinde oluşan yeraltı su geçiş yerlerini yönlendireceklerdir.

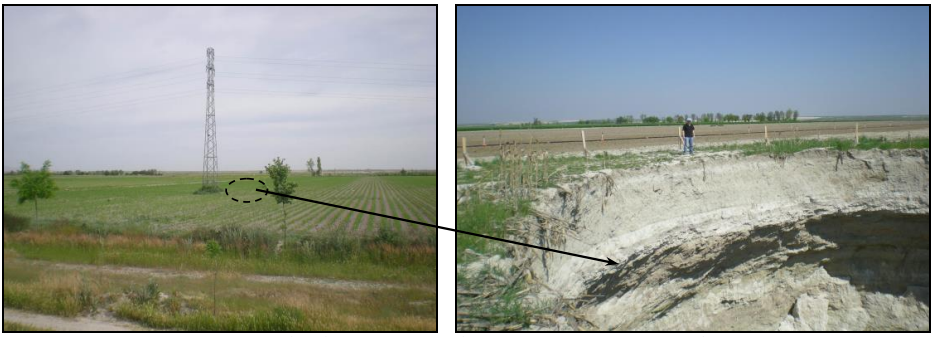
Doğal su kaynaklarının yeryüzüne çıktıkları yerde yapılan mineral içeriğine yönelik kimyasal analizler, bu suların saf su olmaktan uzak çözünmüş minerallerle dolu olduğunu gösterir. Bu içerik bazen o kadar fazladır ki su kaynağı yeryüzüne ulaştıktan sonra içindeki çözünmüş durumdaki katkıları artık taşıyamadığı için yüzeye bırakmaya başlar. Pamukkale'de gözlenen traverten katmanlarında olduğu gibi, ülkemizdeki birçok

traverten kütlesi zaman içinde böyle oluşmuştur. Bu kayaçların oluşmasını sağlayan mineral içeriğin yeraltısuyu tarafından çözülerek alındığı yeraltı kontakt lokasyonları ise, zaman içinde gittikçe büyüyen boşluklar olarak gelişirler. Zamanla su geçiş boğazlarından magara boyutuna kadar büyüme potansiyeline sahip bu boşluklar, yeraltındaki kayaç türüne ve süreksizlik dağılımına göre farklı boyutlarda olabilmektedir. Doğal olarak oluşan boşluklar yeraltı kayaç yapısına göre homojen dağılmış olabileceği gibi, belirli zayıflık zonlarına bağlı olarak heterojen olarak da dağılmış olabilir. Suyun yeraltında bulunan kayaçlardan geçme özelliği farklıdır, bazı kayaçlardan suyun geçmemesi, bazılarından kolayca geçmesi, suyun bazı kayaçları daha kolay çözebilme özelliği, suyun çatlaklar ve ince fissürler içinde kapiler etkiyle ilerleyebilme özelliği, yeraltısuyunun kendisine karmaşık bağlantılı, matriks ağlar, şeklinde geçişler oluşturmasını sağlamaktadır. Bu açıdan incelendiğinde, yeraltında suların oluşturduğu mağaraların durumu daha anlaşılır hale gelecektir. Benzer yeraltı boşluklarının bazı durumlarda yeryüzüne doğru zayıflık zonlarından ilerlemesiyle oluşan obrukları veya mevcut bir mağaranın genişlemesine bağlı olarak magara tavanının stabilitesini kaybetmesi sonucu göçmesi ve obruk olarak karşımıza çıkması, insanları etkilemektedir. Obruklarla ilgili yapılan çalışmaların bir kısmı obruk lokasyonlarının tespiti üzerine, bir kısmı da oluşan obrukların incelenmesi üzerine yoğunlaşmıştır (Gökay, 2010, 2011). Obrukların önemi geçmişte olduğu gibi bugünde oldukca fazladır. Obruk oluşan bölgeler her zaman ormanların içi, çöllerin ortası gibi insanlardan uzak yerler olmayabilir (Şekil 1). Bir kısmı yerleşim yerlerinde oluşarak felaketlere yol açmakta, can ve mal kayıplarına sebebiyet vermektedir.

Şekil 1. Yerleşim yerlerinde oluşan obruklara verilebilecek örnekler; a) Ev bahçesinde oluşan obruk (USGS, 2010), b) Guatemala City, (Guatemala) şehrinde Haz-2010'da oluşan 18 metre çapında 100 metre derinliğindeki obruk, USGS (2016).

2. YARIMOĞLU OBRUĞU VE ÇEVRESİ

Yarımoğlu obruğu Konya-Karapınar karayolunun yakınında ve Karapınar'a yaklaşık 17 km uzaklıktadır. Bu obruk 7 Şubat 2009 tarihinde, karayoluna yaklaşık 300 metre uzaklıktaki bir mısır tarlasında, biçerdöverle mısır hasatı yapılırken, biçerdöverin pozisyonuna göre biraz uzakta, (yakınındaki tarla evlerinden 100-150 metre mesafede) aniden göçerek oluşmuştur (Şekil 2). Bu göçük mısır tarlası ortasında açılan 12 metre çapında, 80 metre derinlikteki bir oyuk oluşumundan başka bir zarara neden olmamıştır. Bu obruk farklı lokasyonlarda (insanları, karayolunu, araçları ve evleri içine alacak şekilde) farklı şartlarla da oluşup, can ve mal kayıplarına neden olabilirdi. Yarımoğlu obruğunun oluştuğu tarihte obruk çevresindeki tarla içinde, obruk ağız çevresiyle uyumlu ek dairesel çatlaklar ve obruk içersindeki içbükey göçmeler, zamanla Yarımoğlu obruk ağız açıklığının giderek büyüyeceğinin belirtisi olmuştur. Obruğun 2017 yılı içindeki ağız çapı 45-50 metreye ulaşmış ve genişlemeye devam etmiştir. Konya Ovası ve Karapınar çevresindeki obruklar genellikle obruk platosunda yoğunlaşmaktadır.



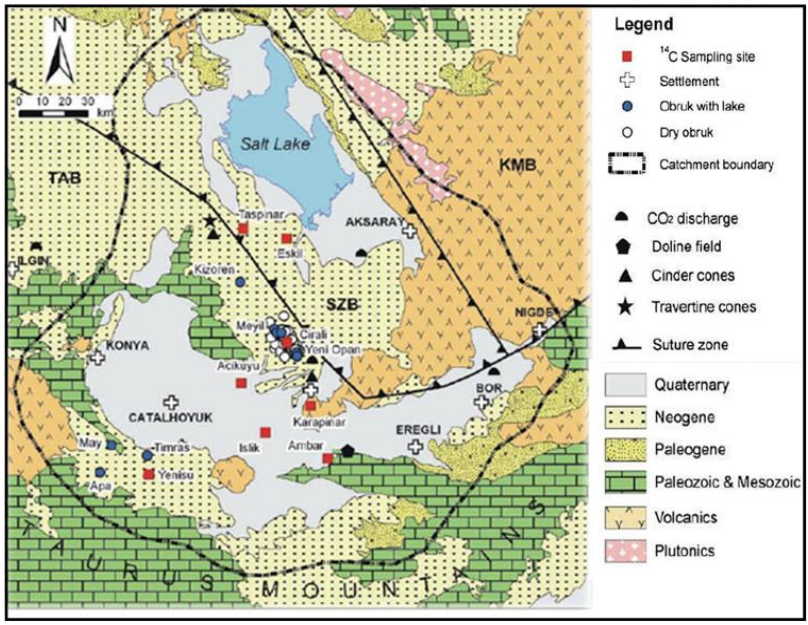
Şekil 2. Yarımoğlu obruğunun genel görüntüsü (Doğan ve Gökay, 2014).

Konya kapalı havzasına su girişi ova çevresinde bulunan dağlara yağan yağmur ve karlarla beslenmektedir. Ortalama yüksekliği 1000-1100 metre olan Konya ovasının en düşük seviyesinde Tuz gölü (905 metre) yer almaktadır. Bu nedenle Konya ovasında bulunan yeraltı sularının akış yönü Tuz gölüne doğrudur. Bu akış sırasında yeraltında suların çözdüğü formasyonların bulunması ve zayıf ve bozuk kayaç zonlarının yeraltı suyuyla, süreksizliklerin de yardımıyla su geçiş dehlizleri oluşturması özellikle Obruk platosunda yeryüzüne kadar ulaşan obruk çöküntülerinin oluşmasına neden olmuştur. Konya ovasında iki ana akiferin varlığından bahseden araştırmacılar (Bayarı vd., 2009),

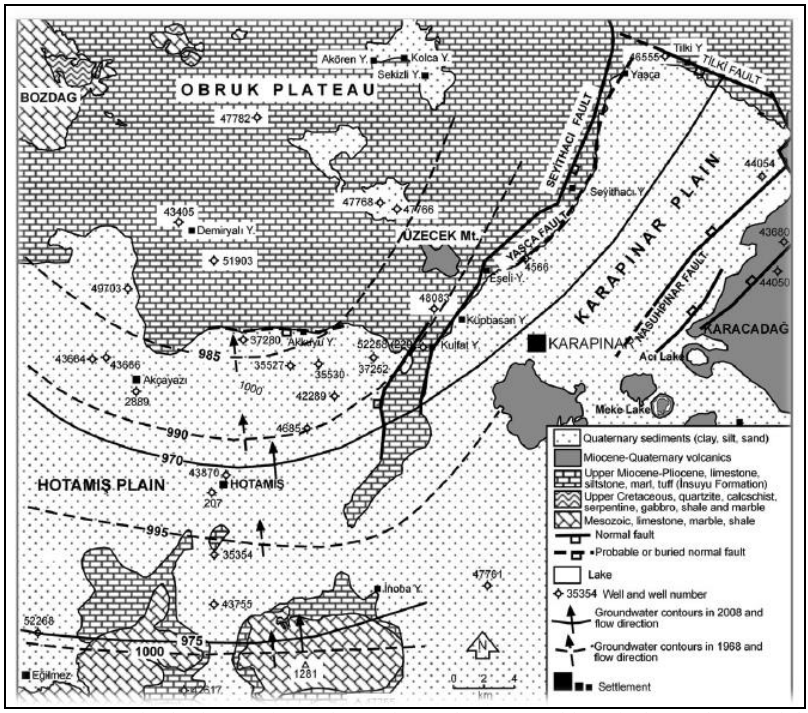
bu akiferlerden derinde olanının Paleozoik-Mesozoik formasyonlarla, daha sıg olanının da Neojen formasyonlarca kontrol edildiğini belirtmişlerdir. Neojen kaya formasyonları içinde yeralan kireçtaşı formasyonları, bu bölgede obruk oluşumunu etkileyen önemli parametreler arasındadır. Yılmaz (2010) bu Neojen kayaçlar içindeki akiferin, soğuk Ca-HCO3 tipi yeraltı suları içerdiğini ve bu akifere açılan 50-250 m arasındaki kuyulardan 10-70 lt/s su çekilebildiğini belirtmiştir. Konya ovasının Karapınar yakınlarındaki kısmında bulunan Üst Triyas-Jura dönemi formasyonları enyaşlı formasyonlardır, (Yılmaz,2010; Ulu 2009a, 2009b). Bu formasyon içinde yeralan kireçtaşları, kristalize kireçtaşları, mermer, çört ve dolomitler İnoba Yayla'sının güneyinde ve Konya yakınlarındaki Bozdağ'da mostra vermektedir. Bu formasyonların üzerinde bulunan Üst Kretase formasyonları; kuvarsit, serpantin, şeyl ve mermerlerden oluşmaktadır. Konya-Karapınar civarında yeralan gölsel Üst Miyosen-Pliyosen formasyonları da geniş alanlara yayılmıştır (Şekil 3), (Bayarı, v.d., 2009). Tuz gölü civarında bulunan Obruk Platosu da bu formasyon içinde yeralmaktadır. Bu formasyon içindeki kayaçlar; kireçtaşı, çakıltaşı, kumtaşı, marn, tüf, tüfit, çört ve sepiyolitlerdir. Bölgedeki Kuaterner formasyonlarda Konya yakınlarına, Hotamış ve Karapınar ovalarına yayılmıştır (Ulu, 2009a, 2009b). Bu bölgede geçmişte oluşan obrukların genellikle Tuzgölü-Karapınar Ovası Güneybatı kenarında Kuzeybatı-Güneydoğu (KB-GD) yönünde uzanan ana faylar denetiminde oluştuğu konusunda araştırma sonuçları mevcuttur (Bayarı v.d.,2009; Özdemir, 2015, Doğan&Yılmaz, 2011). Bu araştırmalarda özellikle; Konya ovası, jeolojik oluşum geçmişi, tektonizmaya bağlı faylanmalar, volkanizmaya bağlı yeraltı gaz ve karbondioksit çıkışları (Şekil 3 ve 4), obrukların oluşum lokasyonları, obruk boyutları ve diğer özellikleri, tespit edilen yeraltı suyu akış yönleri ve obruk platosunun jeolojik pozisyonu üzerinde durulmaktadır,

3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Konya-Karapınar karayoluna yakın olarak oluşan Yarımoğlu obruğun yeraltındaki uzantısını bulmak amacıyla gerçekleştirilen arazi çalışmaları çok elektrotlu yerdirenci ölçme cihazı kullanılarak yapılmıştır. Hasarsız ölçme sistemleri arasında sayılan elektriksel yerdirenci ölçümleri, Yarımoğlu obruğunun mevcut fiziksel durumunu, stabilitesini, etkilemeden yeryüzüne serilen çok elektrotlu ölçüm kablosu ve bu kabloya 5 metre aralıklarla bağlanan çelik elektrotlar kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3. Konya-Karapınar civarında bulunan kayaçlar ve havzanın su besleme sınırları (Bayarı, vd., 2009)



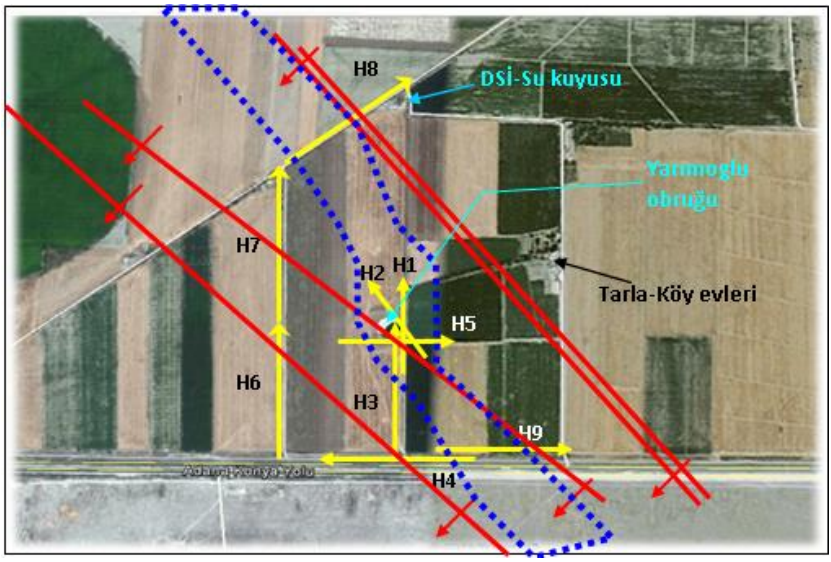
Şekil 4. Konya Ovası, obruk platosu civarında yeraltı su akış güzergâhları, faylar, su kuyusu lokasyonları (farklı kaynaklardan derleyerek gösteren, Doğan ve Yılmaz, 2011).

Elektriksel yerdirenci ölçümleri 4 elektrotlu ölçüm dizilimlerinin, elektronik sistemler ve bilgisayar kontrolü kullanılarak otomatikleştirilmesi sonucu daha pratik hale gelmiştir. Klasik 4 elektrotlu sistemlerde her ölçüm sonunda yeri değiştirilen elektrotlar yerine, özel bir kabloya bağlanmış 50-100 elektrotun ölçülmek istenen lokasyonda yeryüzüne çakılması ve ölçüm sırasında bu elektrotların yerlerinin değiştirilmemesi, yerdirenci ölçümlerine büyük kolaylık getirmiştir. Bu uygulamaya ek olarak, bilgisayar kontrollü elektronik sistemlerle, yere çakılan bu elektrotlar üzerinden farklı dizilimlerde (farklı konfigürasyonda) ölçüm sonucu alınması, elektriksel yerdirenci ölçümlerine ek avantajlar sağlamıştır. Yarımoğlu obruğu civarında yapılan ölçümlerde, yere serilen her ölçüm hattı boyunca yere çakılan elektrotlardan özellikle; Wenner-Alfa, Wenner-Beta, Schlumberger ve Pole-Pole elektrod dizilimlerine göre ölçüm sonuçları (yerdirenci değerleri) alınmıştır. Yarımoğlu obruğu için kullanılan ARES-G4 çok elektrotlu yerdirenci ölçüm cihazı, uygulanan 355 metre yatay yeryüzü uzunluğu için farklı derinliklerde yerdirenci kesit görüntüsü sağlamıştır. Uygulanan Werner-Alfa ve Werner-Beta elektrot dizilimleriyle sığ derinlik (20-45 metre) yerdirenci dağılımları elde edilirken, Pole-pole elektrot dizilimiyle 150 metre derinliğe kadar yerdirenci kesit görüntüleri elde edilmiştir. Derinlik arttıkça bu tür ölçümlerde yerdirenci lokasyon hassasiyeti azalmasına rağmen Yarımoğlu obruğunun civarında, yeraltında bulunan yapısal bozukluklar ve yeraltı suyunun genel lokasyonu konusunda değerlendirilme yapılabilecek verilere ulaşılmıştır. Yarımoğlu obruğunun etrafında seçilen yüzey doğrultuları için, toplam 9 hat boyunca ölçümler yapılmıştır (Şekil 5). Bu ölçüm hatları boyunca elde edilen yerdirenci dağılım grafikleri farklı yerdirenci zonlarını göstermektedir. Bu grafiklerde gözlenen düşük yerdirenci değerleri, yeraltı su direncine sahip lokasyonları ve yeraltı su dağılımını anlamak için değerlendirilmiştir.

4. YERDİRENCİ TEST SONUÇLARI, YERDİRENCİ DAĞILIMLARI

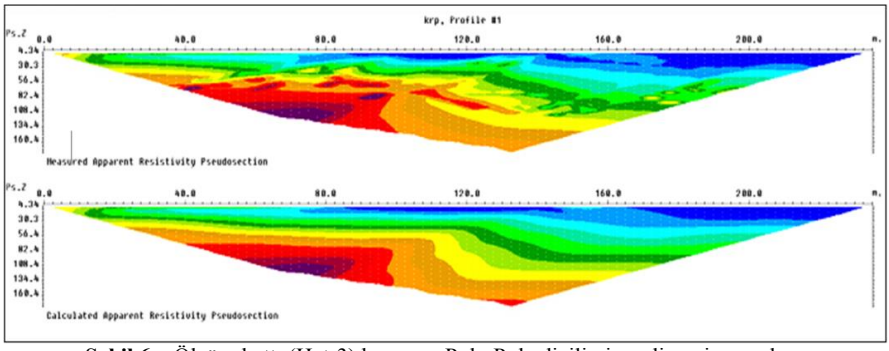
Ölçüm yapılan bu hatlar boyunca varlığından şüphelenilen faylar, ölçüm sonucu elde edilen grafiklerden tespit edilerek, Şekil 5 üzerinde gösterilmiştir. Arazi ölçümleri sırasında ölçüm hatlarında gözlenen önemli süreksizliklerin harita üzerindeki lokasyonlarına göre uzanımları, doğrultuları, tespit edilmiştir. Belirlenen bu önemli süreksizliklerin, muhtemelen fayların, yatım yönleri Şekil 5 üzerinde okla gösterilmiştir. Ölçüm yapılan hatların lokasyonları, ölçüm başlangıç noktaları ve hattın uzanımları

ilgili hatta ait yönlendirilmiş ok işaretleriyle Şekil 5 üzerinde gösterilmektedir. Her hattın başlangıç noktasına ayrı ayrı yerleştirilen ARES-G4 yerdirenci ölçüm cihazı bu hatlarda yerdirenci ölçümünü yapmak üzere ayarlanmıştır. Ölçümü yapılan her dizilim ölçüm işlemi yaklaşık 30-250 dakika (seçilen dizilim türüne göre değişmektedir) sürmüştür. Ölçüm esnasında yeraltındaki tabakalara göre değişen yerdirenci değerlerini farklı bilgisayar dosyaları olarak kaydeden ölçüm cihazındaki veriler, bilgisayar ortamına aktarılarak, Res2DINV yazılımı (Loke, 2004) kullanılarak değerlendirmeye alınmıştır. Arazide farklı elektrot dizilimlerine göre elde edilen yerdirenci verileri, yerdirenci kesit grafikleri elde edilmesi amacıyla bu yazılıma girilmiştir. Bu inceleme sonucunda elde edilen yerdirenci dağılım grafiklerinden bazıları Şekil 6'da görülmektedir. Yarımoğlu obruğu civarında birbirine 90 derece konumla serilen Hat-3 ve Hat-4'e ait grafikleri gösteren Şekil 6, yeraltındaki yerdirenci dağılımlarının ne kadar karmaşık olsa da, belirli seviyede yeraltı katmanları hakkında bilgi sağladığını göstermektedir. Bu grafiklerde yatay eksen ölçüm hattının başlangıç noktasına göre uzunluğunu gösterirken, düşey eksen de yeryüzünden derinliği göstermektedir. Ölçüm hatlarının uzunlukları, arazi deneyi sırasında serilen çok elektrotlu kablonun ne kadar uzun tutulduğuyla ilgiliyken, ölçümden elde edilen derinlik, yeraltındaki yerdirenci verilerinin ölçü cihazı tarafından algılanma hassasiyetine göre değişmektedir.

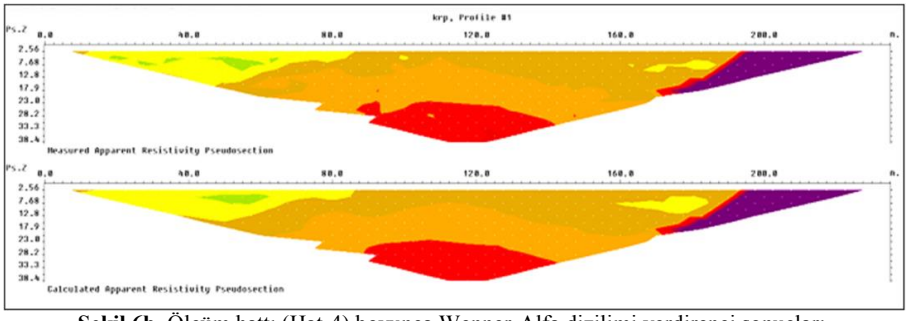


Şekil 5. Yarımoğlu obruğunun civarında belirlenen önemli süreksizlikler ve yeraltı obruk boşluğunun, yeraltı su yayılımından (mavi noktalarla çevrili yerler) elde edilen KW-GD yeraltı uzanımı (Doğan&Gökay, 2014).

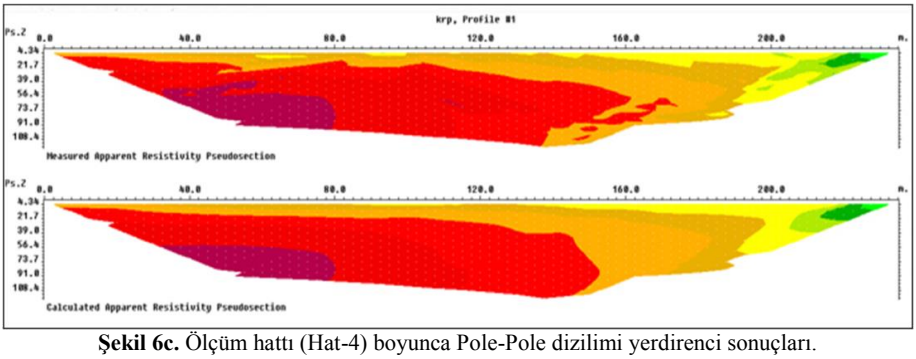
Şekil 6a incelendiğinde, ölçüm başlangıç noktasının yaklaşık 65, 95 ve 140. metrelerinde bir düzensizlik görülmektedir. Çoklu elektrotlarla yapılan yerdirenci ölçüm sonuçlarında gözlenen bu tür farklılaşmalar bu lokasyonda bulunan süreksizliklere, bozuk zonlara işaret etmektedir. Bu süreksizliklerin pozisyonları incelendiği zaman, Yarımoğlu obruğunun civarından geçtiği fark edilmiştir. Hat-4 için elde edilen yerdirenci grafikleri de (Şekil 6b,6c) incelendiği zaman, Hat-4 ölçüm hattının başlangıç noktasına göre 100. metrede bulunan bir başka süreksizlik izi özellikle dikkat çekicidir.



Şekil 6a. Ölçüm hattı (Hat-3) boyunca Pole-Pole dizilimi yerdirenci sonuçları.



Şekil 6b. Ölçüm hattı (Hat-4) boyunca Wenner-Alfa dizilimi yerdirenci sonuçları.



Şekil 6c. Ölçüm hattı (Hat-4) boyunca Pole-Pole dizilimi yerdirenci sonuçları.

Yeraltı sularının geçişlerini etkileyen süreksizlik (kırıklar, çatlaklar v.b.) zonları, Yarımoğlu obruğunun oluşumunda da etkili görünmektedir. Arazi ölçüm sonuçlarına göre, bu obruk süreksizlikleri ve bunların civarındaki bozuk & ezilmiş zonları izleyen yeraltı sularının, belirli bir lokasyondaki bozuşma fazlalığını değerlendirerek, yukarı doğru ilerleyen boşluk tavanının, yıllar içinde büyümesi ve yeryüzüne yaklaşması sonucu oluşmuş gibi görünmektedir. Yerdirenci grafiklerinde, muhtemelen yeraltı suyunu temsil eden yerdirenci derinliklerinin 50-80 metre arasında değişiyor olması, bu seviyede yer aldığı düşünülen Neojen akifer seviyesiyle ilişkilendirilmiştir. Yarımoğlu obruğu civarında ölçüm yapılan yerdirenci ölçüm hat ölçümlerinde Wenner-alfa ölçümlerine ek olarak kullanılan Pole-Pole ölçüm dizilimi, daha derinlerdeki yerdirenci değişimlerine ulaşılmasını sağlamıştır. Elde edilen derin ölçüm sonuçlarından iki örnek Şekil 6a ve 6c verilmiştir.

5. SONUÇLAR

Yarımoğlu obruğunun bulunduğu arazi düz bir tarla (Şekil 2 ve 5) görünümündedir. Bu obruğun yakınında bulunan DSİ'nin yeraltısuyu pompalama istasyonundan elde edilen kuyu (Şekil 5) suyuyla tarım yapılmaktadır. Genellikle buğday, yonca ve mısır ekimi yapıldığı gözlenmiştir. Bu kuyu Yarımoğlu obruğunun yaklaşık 350-400 metre Kuzeydoğusunda yeralmaktadır. Bu bölgedeki sulama kuyularının çevresel etkileşimleri konusunda ek çalışmaların yapılması yararlı olacaktır. Yarımoğlu obruğu çevresinde yapılan bu ön çalışma, yeraltındaki süreksizlik (kırık, çatlak v.b.) lokasyonlarını ve muhtemel yeraltı boşluğunun uzanımı konusunda fikir oluşturulmasına yardımcı olmuştur. Şekil 5 üzerinde; belirlenen önemli süreksizlikler işaretlenirken, yeraltındaki muhtemel su seviye ve yayılımına göre belirlenen obruk boşluk uzanım beklentisi de "kesikli çizgilerle" işaretlenmiştir. Bu beklentinin genel doğrultusu Kuzeybarı-Güneydoğu'dur. Bu uzanım incelendiğinde, yakından geçen Konya-Karapınar karayolunun altında, Yarımoğlu obruğunun boşluk uzantılarının olması kuvvetle muhtemeldir. Sarsıntıların eksik olmadığı karayolu hattının oluşacak yeni bir obrukla tehlikeli durum arz etmesi, Yarımoğlu obruk boşluklarının daha detaylı incelenmesini gerektirmektedir.

KAYNAKLAR

Bayarı, C.S., Pekkan, E. and Özyurt, N.N. (2009) Obruks, as Giant Collapse Dolines Caused by Hypogenic Karstification in Central Anatolia, Turkey: Analysis of Likely Formation Processes. Hydrogeology Journal,17, 327-345.

Doğan, K. ve Gökay, M.K. (2014) Konya- Karapınar'da oluşan obruklar; Yarımoğlu örnek incelemesi, Selçuk Üniversitesi BAP araştırma projesi, s55, Konya.

Doğan, U. ve Yılmaz, M. (2011) Natural and induced sinkholes of the Obruk Plateau and Karapınar-Hotamış_Plain, Turkey. Journal of Asian Earth Sciences 40, 496–508

Gökay, M.K. (2010) Yeraltında bulunan doğal (obruk, mağara) ve yapay (galeri, depo, şehir) boşlukların stabilitesi, Seminer Notu-1, Selçuk Üniversitesi, Maden Müh. Bölümü, *Bölümiçi Seminer, (Seminer tarihi: 5.05.2010)*, Seminer notu, p125, Konya.

Gökay, M.K. (2011) Yeraltında bulunan doğal (obruk, mağara) ve yapay (galeri, depo, şehir)boşlukların stabilitesi: Blacksburg (Virginia,USA) tecrübesi, Seminer Notu-2, Selçuk Üniversitesi, Maden Müh. Bölümü, *Bölümiçi Seminer, (Seminer tarihi: 2.02.2011),* Seminer notu, p125, Konya.

Loke, M.H. (2004) RES2DINV, Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys, mhloke@tm.net.my and drmhloke@yahoo.com.

Ozdemir, A. (2015) Investigation of sinkholes spatial distribution using the weights of evidence method and GIS in the vicinity of Karapinar (Konya, Turkey), Geomorphology, 245, 40–50.

Ulu, Ü. (2009a) Türkiye Jeoloji Haritaları No:125, Karaman-M30, MTA, Ankara.

Ulu, Ü. (2009b) Türkiye Jeoloji Haritaları No:126, Karaman-M31, MTA, Ankara.

USGS (2010) ABD, İçişleri Bakanlığı, Jeolojik Araştırmalar Kurumu (US Geological Survey), internet sayfası, *http://ga.water.usgs.gov/edu/earthgwsinkholes.html*

USGS (2016) ABD, İçişleri Bakanlığı, Jeolojik Araştırmalar Kurumu (US Geological Survey), internet sayfası, https://water.usgs.gov/edu/photos-ground.html#8

Yılmaz, M. (2010) Karapınar Çevresinde Yeraltı Suyu Seviye Değisimlerinin Yaratmıs Olduğu Çevre Sorunları, Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi 2(2), 145-163.

DALAMA KULOĞULLAR (AYDIN İLİ) LİNYİT SAHASININ JEOLOJİSİ, SONDAJ ÇALIŞMALARI VE KÖMÜR KARAKTERİZASYONU

GEOLOGY, DRILLING STUDIES AND COAL CHARACTERIZATION OF DALAMA KULOĞULLAR (AYDIN) LIGNITE AREA

Mustafa BOZCU[1*], Savaş BAĞDADİOĞLU[2]

1: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, TÜRKİYE

2: Ak Metal Madencilik Kurmel Grup, Adana, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: mbozcu@comu.edu.tr

ÖZET: Bu çalışmada, Aydın ili Yenipazar ilçesi güneyinde yer alan Dalama linyit sahasının jeolojisi, linyit potansiyeli ve karakterizasyonu ile sahada yapılan rehabilitasyon çalışmaları incelenmiştir. Çalışma alanında, Menderes masifinin metamorfik birimleri ile bunlar üzerine uyumsuzlukla gelen karasal kırıntılı birimler yüzeyler. Linyit havzasını oluşturan kırıntılı birimler: Geç Oligosen (?)-erken Miyosen döneminde, normal fayların kontrolünde gelişmiş çöküntü alanlarında depolanan bloklu konglomera, kumtaşı, kiltaşı, linyit ve marnlardan oluşur. Akarsu, göl ve bataklık fasiyeslerinden oluşan bu istif içerisinde önemli düzeyde linyit oluşumları yer alır. Linyit içerikli istifi uyumsuz olarak polijenik blok ve çakıl içerikli akarsu çökelleri ve Kuvaterner yaşlı yamaç molozları ile alüvyonlar örtmektedir.

Sahada yapılan 16 sondajdan 14'ünde linyit kesilmiştir. Bu sondajlarda 3 farklı düzeyde, 2 metre ile 9 metre arasında değişen kalınlıklarda linyit zonu kesilmiştir. Sondajlarda kesilen linyit düzeyleri karşılaştırılarak, her bir linyit düzeyinin alansal dağılımı ve kalınlık değişimleri belirlenmiştir. Yapılan sondajlardan elde edilen veriler değerlendirilerek, rock Works programı ile sahanın stratigrafisinin ve linyit düzeylerinin üç boyutlu modellemesi yapılmıştır. Sondaj karotlarından nokta ve oluk örnekleme sistemiyle alınan örneklerin analizlerinde linyit düzeyinin ortalama: %28,21 nem, %19,96 kül, %24,42 uçucu madde, % 2,87 ortalama toplam kükürt, % 42,88 sabit karbon ve orijinal kömürde (havada kuru bazda) 4147 KCal/kg alt ısıl değer

belirlenmiştir. Sahada yapılan sondajların ara mesafelerinin uzaklığı, faylanmalar ve eski heyelanların varlığı nedeniyle kesin bir rezerv hesabı yapılamamıştır. Ancak stratigrafik olarak karşılaştırılabilir ve birbirine yakın aralıklı sondajların logları kullanılarak üçgenleme metoduyla (sondaj noktaları üçgenlerin köşe noktaları olacak şekilde) yapılan rezerv hesabına göre (sadece 14 sondajın yer aldığı alanda) toplam görünür rezerv 2.525.454 ton olarak bulunmuştur. Çalışılan sahanın tümünde Rock Works programı ile yapılan modelleme ile hesaplanan toplam rezerv miktarı ise (görünür-muhtemel) 8.200.000 tondur.

Anahtar kelimeler: Dalama, Linyit, Sedimantoloji, GB Anadolu

ABSTRACT: *In this study, the geology, lignite potentia land characterization of Dalama lignite area located in the south of Yenipazar, Aydın and also rehabilitation studies were investigated. Metamorphic units of the Menderes Massif and terrestrial clastic units unconformably overlie the mare exposed in the studied area. Clastic units forming the lignite basin consist of blocky conglomerate, sandstone, claystone, lignite and marls deposited in the depression areas developed under the control of normal faults during late Oligocene (?) – early Miocene period. This sequence consisting of fluvial, lacustrine and swamp facies contains significant lignite occurrences. Fluvial sediments containing polygenic block and gravel, Quaternary slope debris and alluviums unconformably overlie the unit containing lignite. During the drilling, lignite was cut in 14 of the 16 bore holes. In these drillings, lignite zones were cut at 3 different levels, with thicknesses ranging from 2to 9 meters. By comparing the lignite levels cut in the drillings, the spatial distribution andt hickness changes of each lignite level were determined. Based on data obtained from the drillings, three-dimensional modelling of the stratigraphy and lignite levels of the lignite area was performed with the Rock Works program. Lignite level in channel and point lignite samples obtained from drill cores has an average of 28,21% moisture, 19,96% ash, 24,42% volatile matter, 2,87% total sulphur, 42,88wt.% total carbon and originalcoal (drybasis) 4147 Kcal / kg low calorific value. Accurate reserves could not be accurated due to the long distance between drill holes, faulting and paleo-lanslides in the study area. However, the total proven reserve was found 2.525.454 tonnes based on reserve calculations made by triangulation method (thedrillings pots will be the corner points of the triangles) using drill logs correlated stratigraphically and close to each other in the drilling area. The*

total amount of reserves calculated (proven-probable) by modeling with the Rock Works program is 8,200,000 tonnes in the whole of studied area.
Key words: *Dalama, Lignite, Sedimentology, SW Anatolia*

1. GİRİŞ

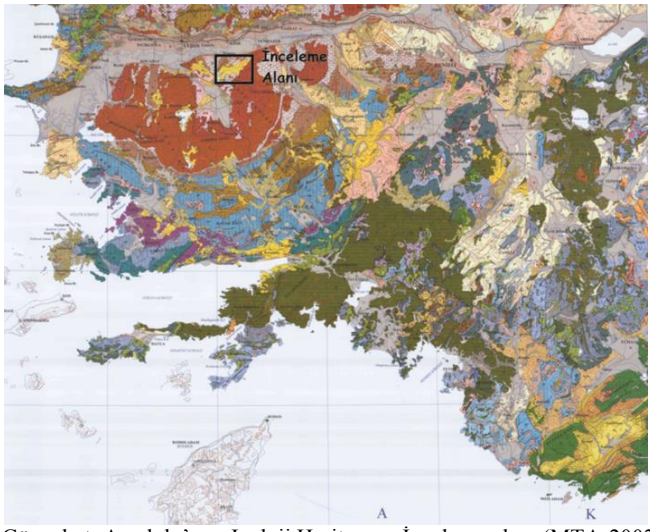
Ülkemizin yerli enerji hammaddeleri içinde linyit kömürleri önemli bir yer tutmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte linyit üretimi her geçen gün artmakta ve yine yakma teknolojilerinin de gelişmesi ile çevreye (eski teknolojiye göre) daha duyarlı termik santraller yapılmaktadır. Çevreye duyarlı yakma teknolojileri ile geliştirilmiş termik santrallerin sayısının ülke düzeyinde artması yeni kömür sahalarının araştırılmasının yanı sıra varlığı bilinen ve işletilmekte olan sahalarda da rezerv artırımına yönelik araştırmaları gerekli kılmaktadır.

Son yıllarda yürütülen kömür arama faaliyetleri sonucunda ülkemiz linyit rezervleri önemli ölçüde artmıştır. 2015 yılı itibarıyla 15.3 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır (Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı Kömür Raporu, 2015). Bu linyit rezervlerinden önemli bir bölümü Marmara bölgesi ile Batı Anadolu bölgesinde yer alır. Madencilik faaliyetleri, sürdürüldüğü zaman boyunca bölgeye önemli istihdam sağlamaktadır. Sadece madende çalışanlar değil, aileleri ve civar işletmelere de dolaylı katma değer sağlamaktadır. Bu açıdan bakıldığında madencilik ülke ekonomisine önemli katkısı olan bir alandır.

Bu katkının maksimum olabilmesi için maden rezervlerinin bilinmesi ve bu rezervlerin rantabl olarak işletilmesi önem kazanmaktadır. Bunun yanında ülkemiz enerjide dışa bağımlı olup, cari açığının büyük bir bölümü enerjideki dış alımdan kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla ekonominin faaliyetlerini düzenli bir şekilde sürdürebilmesi, aynı zamanda madencilik sektörünün sürekli ve verimli bir şekilde üretimde bulunmasına da bağlıdır. Bu sektörde meydana gelecek üretim aksamaları, ekonominin bütün kesimlerini doğrudan veya dolaylı olarak etkiler. Bununla beraber ülkemizdeki linyit rezervlerinin uluslararası standartlara göre sınıflanması ve ekonomik olarak işletilmesi henüz tam olarak gerçekleştirilememiştir. 2014 yılında toplam linyit üretimimiz 62.6 milyon ton olmuştur. Bu rezerv ve üretim miktarlarına göre ülkemizin yaklaşık 200 yıllık bir rezerve sahip olduğunu belirtebiliriz. 2015 yılı sonu itibarı ile

ülkemizin toplam birincil enerji üretiminde yerli kömürün payı ise %26,3 tür (ETKB Kömür Raporu, 2015).

Bu çalışmada Batı Anadolu'da Aydın ilinin Dalama bölgesinde yer alan önemli bir linyit sahasının jeolojik konumu ve kömür karakteristikleri üzerinde durulmuştur. Batı Anadolu'da, Erken- Orta Miyosen döneminde, Menderes Masifi'nin üzerinde yaygın göl ve bataklık havzaları gelişmiştir. Bu havzaların dolgusu niteliğindeki kırıntılı çökeller ekonomik düzeyde linyit yatakları bulundurmaktadır. Çalışma, Aydın'ın Yenipazar ilçesi güneyinde Kulloğulları, Çavdar köy, Eğridere köyü ve Kasar köyü çevresini kapsar (Şekil 1).



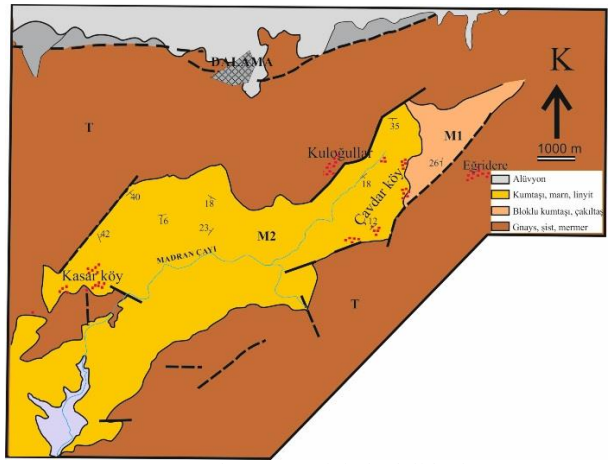
Şekil 1. Güneybatı Anadolu'nun Jeoloji Haritası ve İnceleme alanı (MTA-2002)

Bu bölgedeki linyit yatakları uzun yıllardır açık ve/veya kapalı ocak işletmeciliği biçiminde çalışılmaktadır. Bu işletmelerin önemli bir özelliği çevreye duyarlı ve çevreyle barışık işletmecilik anlayışının hakim olmasıdır. Yaklaşık 2000 yılından beri açık ve kapalı ocak pasa alanları ile işlevselliğini tamamlamış basamak şevlerinde ıslah (rehabilitasyon ve rekültivasyon) çalışmaları yapılarak, bölgenin yapısına uygun ağaçlandırma yapılmaktadır (Şimşir ve diğ., 2007; Özbey Acar, 2007; Karakurt ve diğ., 2009). Bu bağlamda bölgede; Aydın linyit işletmeleri alanında 1300 dekar alanda 50 bin adet Ayvalık çeşidi zeytin, 50 bin adet yalancı akasya ve 80 dekarlık alanda 1600 adet Bursa çeşidi siyah incir dikilmiş ve bu ağaçlar ürün vermeye başlamıştır (Karakurt ve diğ.,2009 ve Akay holding tanıtım sayfası: Çevre). Dalama-Kuloğullar bölgesinde ise

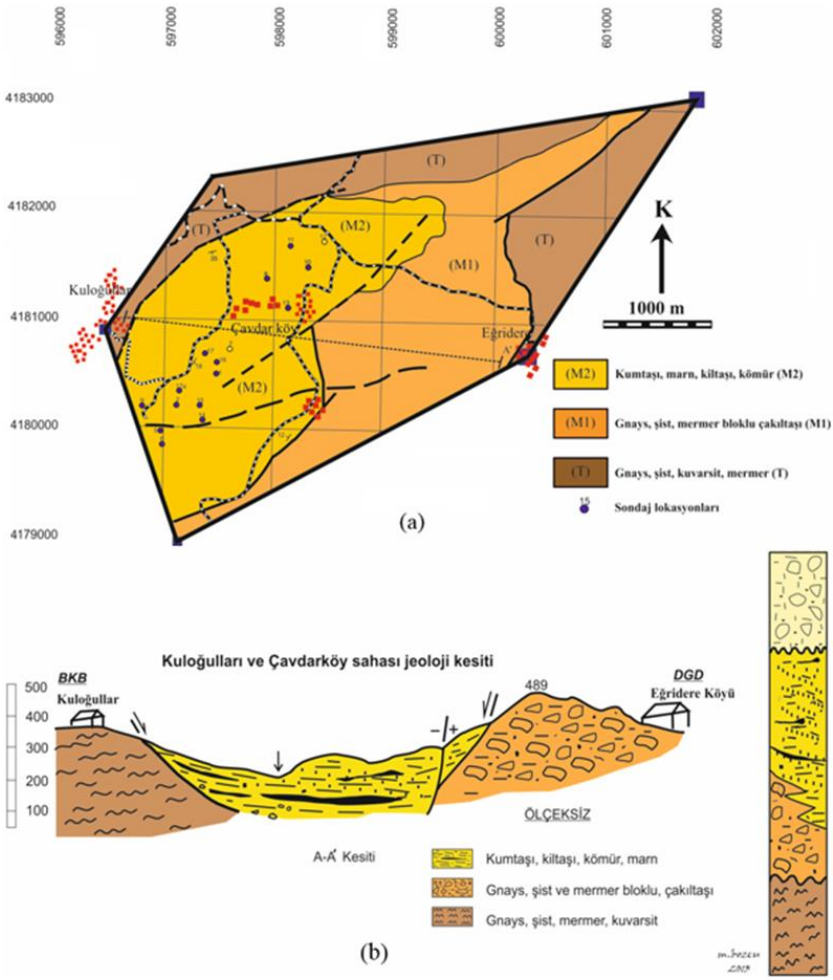
açık ocak işletmeciliği tamamlanmış olan bir alanda rekültivasyon çalışması yapılarak yaklaşık 300 dekarlık alanda 13 bin adet zeytin yetiştirilmiş ve buradan alınan zeytinyağı "Zetay", Uluslararası ve Ulusal düzeyde düzenlenen yarışmalarda (Zeytin Dostu Derneği'nin düzenlediği "7. ve 8. Ulusal Naturel Sızma Zeytinyağı Kalite Yarışması") en iyi zeytinyağı ve altın madalya ile ödüllendirilmiştir (http://hurriyet.com.tr/komur-ocagindan-odullu-zeytinyagina-40032899-28Aralık2015). İnceleme alanı ve çevresinde uzun yıllardır varlığını sürdüren kömür madenciliği son yıllarda "çevre dostu madencilik" anlayışıyla faaliyetini sürdürmekte ve doğaya zarar veren değil, doğayla barışık ve doğadan faydalanırken aynı zamanda onu koruyan ve güzelleştiren bir işletmecilik yapılmaktadır.

2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLOJİSİ

Çalışma alanının temelini Menderes masifinin güneyinde Çine as masifi olarak ayrılan, Paleozoyik ve Alt Mesozoyik yaşlı gnays, şist, mermerlerden oluşan metamorfik litolojiler (T) oluşturur (Dora ve diğ., 1992; Dora ve diğ., 2005). Alt Miyosen'den Pliyosen'e kadar uzanan evrede metamorfik temel üzerine uyumsuz olarak, normal fayların kontrolünde gelişmiş, kömür içeren kırıntılı çökellerle dolgulu iç havzalar bulunur (Yılmaz ve diğ., 2000). Büyük menderes grabeni güneyinde yer alan Dalama, Şahnalı, Koçarlı, Söke ve Dalaman vb. birçok linyit havzası bu özelliklere sahip havzalardır (Bulut, 1981; MTA, 2010). Miyosen birimleri tabanda kaba bloklu çakıltaşı – kumtaşı (M1) litolojilerinden oluşmaktadır. Çakıllar köşeli ve az yuvarlaktır. Kötü boylanma mevcuttur. Çakılların kökeni temel kayaçlarıdır. Kaba kırıntılılardan oluşan M1 birimi, istifin üstüne doğru şeyl, marn, kömür ve kumtaşı litolojisinden oluşan (M2) birimlere geçer. Kömürlü olan M2 birimi üzerinde yer yer kötü boylanmalı orta-iyi yuvarlaklaşmış blok ve çakıl elemanlı, çamur destekli iyi çimentolanmamış (gevşek yapılı) akarsu ortamını yansıtan çakıltaşları (M3) bulunmaktadır. Bu birimin yüzeyleme alanı oldukça sınırlı olup, Kasar köy çevresinde ve Ozan Gediği civarında yer alır. Çalışma alanının 1/25000'lik jeoloji haritası (Şekil 2) ve genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Şekil 3) verilmiştir.



Şekil 2. Dalama güneyinin jeoloji haritası



Şekil 3. İnceleme alanının jeoloji haritası (a) ve genelleştirilmiş jeoloji kesitleri (b)

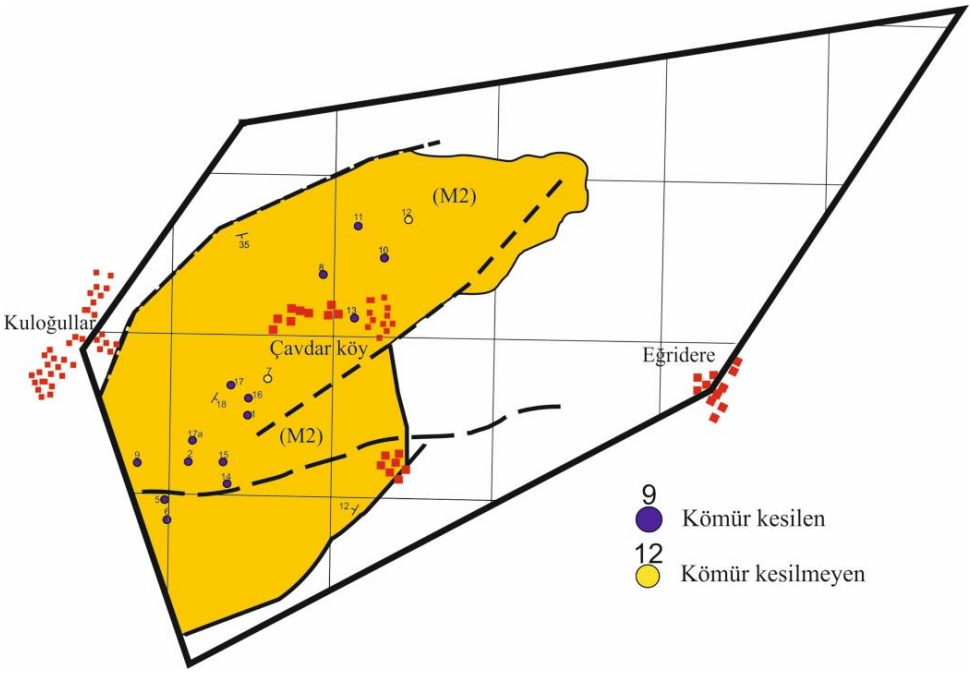
3. EKONOMİK JEOLOJİ

Bilindiği üzere dünyada ve ülkemizde gerek teknolojinin sürekli gelişimi, gerekse enerjiye duyulan ihtiyacın artışı kömür havzalarında yapılan araştırma ve havza geliştirme çalışmalarına da yansımıştır.

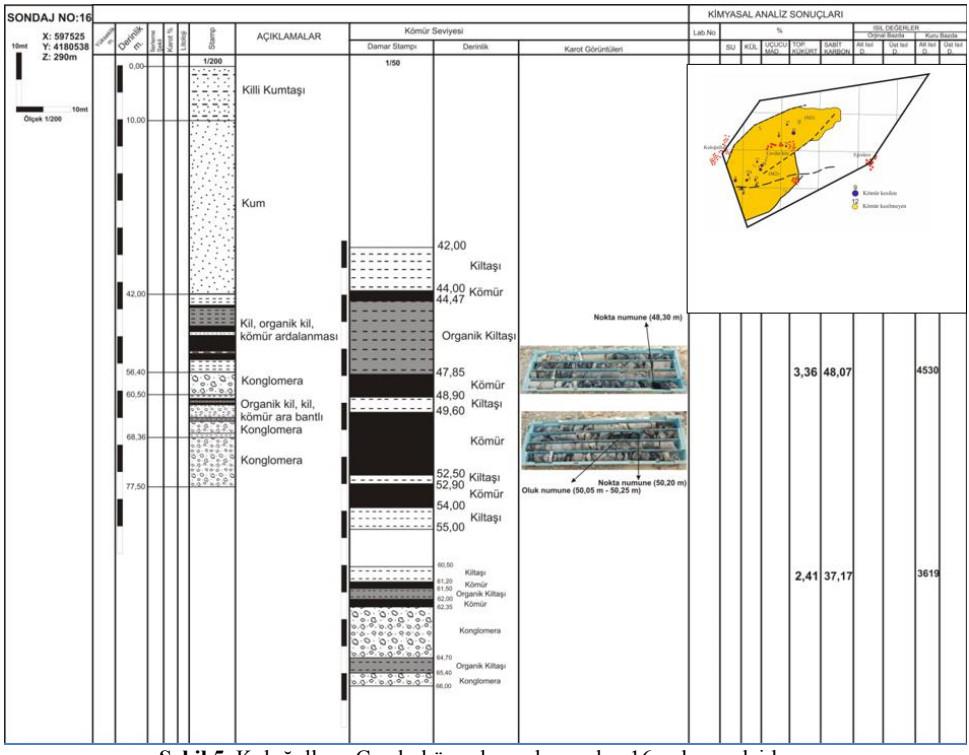
Uzun yıllardır varlığı bilinen ve bir dönem açık ocak işletmeciliği (TKİ tarafından) yöntemiyle çalışılmış olan Dalama-Kuloğulları sahası kömürleri açık ocak işletmeciliği ekonomikliğini kaybedince TKİ tarafından özel sektöre devredilmiştir. Sahayı devralan firmalar tarafından açık işletme yapılan düzeyin altında kalan kömür damarlarını işletmek üzere yeniden bir sondaj programı yapılmış ve havzada 2011 ve 2012 yıllarında, yaklaşık derinlikleri 60 – 200m arasında olan 16 adet sondaj yapılmıştır. Yapılan bu sondajlardan 14'ünde kömüre rastlanmış, 2 sinde ise (Sk-11 ve Sk-12) kömüre rastlanmamıştır. Sondajlarla belirlenen ve işletmecilik açısından ekonomik rezerve sahip olan bu kömürlerin alansal dağılımı, kalınlığı, rezervi ve kömür karakterizasyonunun belirlenmesi bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

3.1 Sondaj Çalışmaları

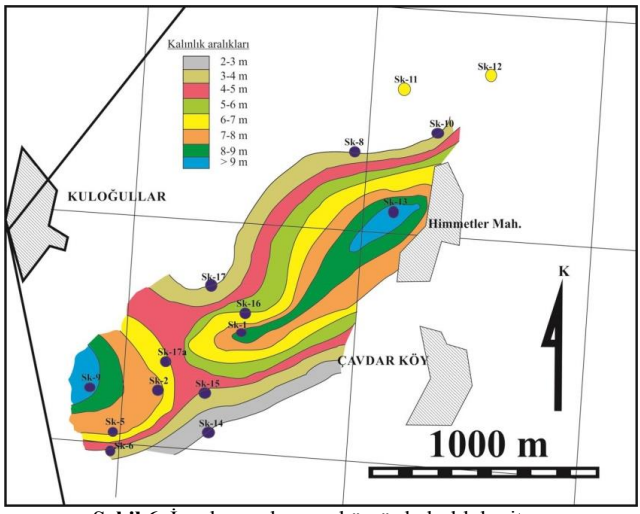
Kuloğulları ve Çavdar Köy çevresinde sahadaki kömür varlığı ve potansiyelini belirlemeye yönelik 16 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Sondaj aralıkları arazinin ve topografyanın konumuna bağlı olarak 100 m ile 350 m arasında değişmektedir. Bu sondaj kuyularının 3 tanesi 1 damar, 7 tanesi 2 damar ve 4 tanesi ise 3 damar halinde kömürlü seviye kesmiştir. 2 kuyuda ise kömürlü seviyeye hiç rastlanmamıştır (Şekil.4). Sondajlarda kesilen litolojiler sadeleştirilerek 1/200 ölçekli, kömürlü zonun ise 1/50 ölçekli stampları hazırlanmıştır (Şekil.5). Kömür tabakalarının kalınlıkları ve sahadaki devamlılıkları yöreden yöreye değişmektedir. Sondajlardan elde edilen kalınlık değerleri göz önüne alınarak kömür kalınlık haritası hazırlanmıştır (Şekil.6). Buna göre havzadaki kömür damarı kalınlığının KD-GB eksenli bir senklinal içerisinde, KD dan GB ya doğru hem kömür kalınlığının hem de örtü kalınlığının arttığı görülmüştür.



Şekil 4. Kuloğulları-Çavdar köy sahası sondaj lokasyon haritası



Şekil 5. Kuloğulları- Çavdarköy sahasında yapılan 16 nolu sondaj logu



Şekil 6. İnceleme alanının kömür kalınlık haritası

3.2. Kömür Karakterizasyonu

İnceleme alanında yapılan 16 sondajda kömür kesilmiş, bu sondajlardan nokta ve oluk örnekleme metoduyla örnekler alınmıştır. 5-8-9-14-15-16-17A'nolu sondajlardan alınan örneklerin Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilim- Teknoloji Araştırma ve Uygulama merkezi Laboratuvarlarında nem, kül, karbon, kükürt ve kalori analizleri yaptırılmıştır (Tablo 1). Havada kuru bazda yapılan analizlerde toplam % kükürt değeri en düşük %1.06; en yüksek % 5.92; ortalama kükürt % 2.87 olarak tepit edilmiştir. ASTM sınıflamasına göre alt bitümlü (C) sınıfı (ASTM, Stach ve diğ., 1982) linyit karakterinde olup, ortalama karbon % 42.88 dir. Kuru bazda ortalama ısıl değer ise 4147 Cal/g dır.

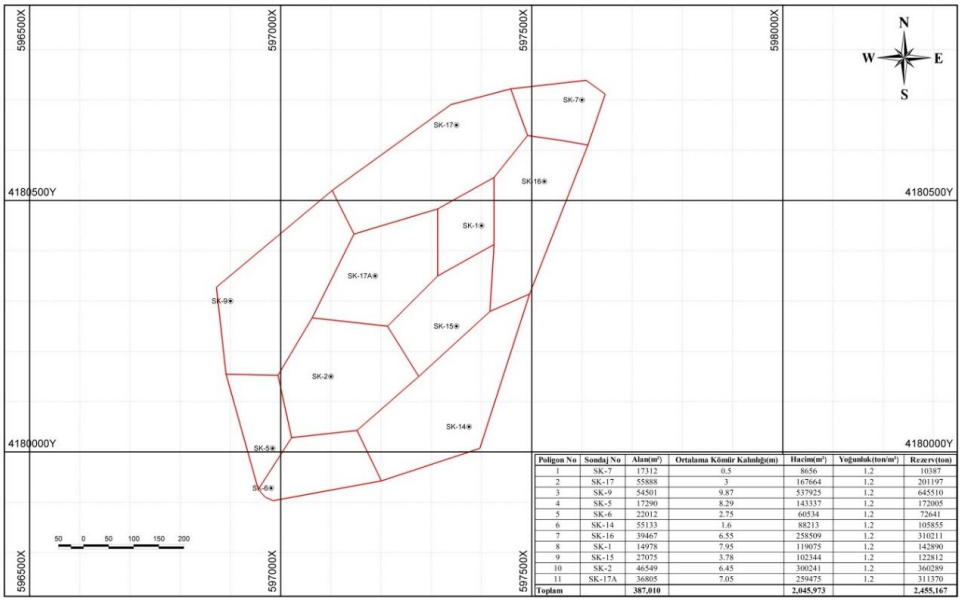
Tablo 1. Kuloğulları ve Çavdar köy linyit sahasında yapılan sondajlardan elde edilen örneklerin analizi

		Havada Kuru Bazda		
Örnek No	**Sondaj No**	**Toplam Kükürt (%)**	**Karbon (%)**	**Kalori (Cal/g)**
5/1	Sk-5	1.31	53.22	4101
8/1	Sk-8	1.61	50.76	4654
8/2	Sk-8	4.15	54.77	5158
8/3	Sk-8	**1.06**	**27.98**	**2993**
8/4	Sk-8	1.67	12.24	1781
17a/4	Sk-17A	3,72	41,99	4079
17a/9	Sk-17A	4,59	45,97	4690
16/10	Sk-16	3,36	48,07	4530
16/12	Sk-16	2,41	37,17	3619
15/17	Sk-15	**5,92**	**53,45**	**5258**
9/19	Sk-9	1,92	45,58	4375
14/23	Sk-14	2,82	43,43	4535
Ortalama		**2.87**	**42.88**	**4147**

3.3. Rezerv Hesabı

İnceleme alanında bulunan linyitin miktarının belirlenmesinde "poligonlama ile rezerv hesaplama yöntemi" kullanılmıştır. Bu yöntemde, kömür zonunu kesmiş olan sondajların etki alanları poligonlar halinde belirlenmiştir (Şekil.7). Poligonlar oluşturulurken etki alanı bulunacak olan her bir sondaj noktası komşu sondaj noktaları ile birleştirilir. Komşu sondajları birleştiren doğruların orta noktalarından çıkılan dikmelerin belirlediği kapalı alan bu sondaja ait etki alanıdır. Poligonların alanları, kendilerine ait sondajda kesilen kömür kalınlığı ve sahadaki kömüre ait ortalama yoğunluk (1.2 gr/cm^3) ile çarpılarak her bir poligonun rezervi bulunur. Daha sonra sahanın toplam görünür rezervi hesaplanır.

Çalışma alanının görünür kömür rezervi poligon yöntemi kullanılarak **2.455,167 ton** olarak hesaplanmıştır (Tablo 2). Rock Works programında ise görünür muhtemel kömür rezervi **8.200.000 ton** olarak hesaplanmıştır.



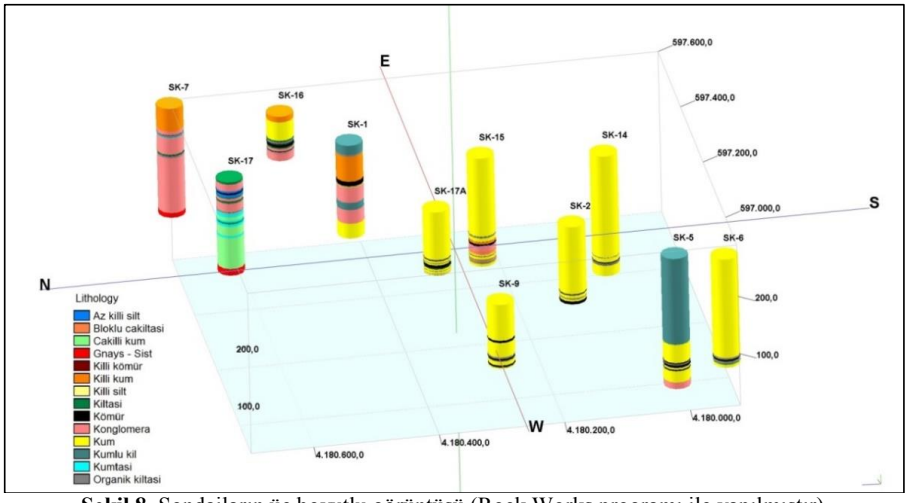
Poligon No	Sondaj No	Alan(m²)	Ortalama Kömür Kalınlığı(m)	Hacim(m³)	Yoğunluk(ton/m³)	Rezerv(ton)
1	SK-7	17312	0.5	8656	1.2	10387
2	SK-17	55888	3	167664	1.2	201197
3	SK-9	54501	9.87	537925	1.2	645510
4	SK-5	17290	8.29	143337	1.2	172005
5	SK-6	22012	2.75	60534	1.2	72641
6	SK-14	55133	1.6	88213	1.2	105855
7	SK-16	39467	6.55	258509	1.2	310211
8	SK-1	14978	7.95	119075	1.2	142890
9	SK-15	27075	3.78	102344	1.2	122812
10	SK-2	46549	6.45	300241	1.2	360289
11	SK-17A	36805	7.05	259475	1.2	311370
Toplam		387,010		2,045,973		2,455,167

Şekil 7. Çalışma alanında kömür kesilmiş olan sondajların üçgenlenmesi

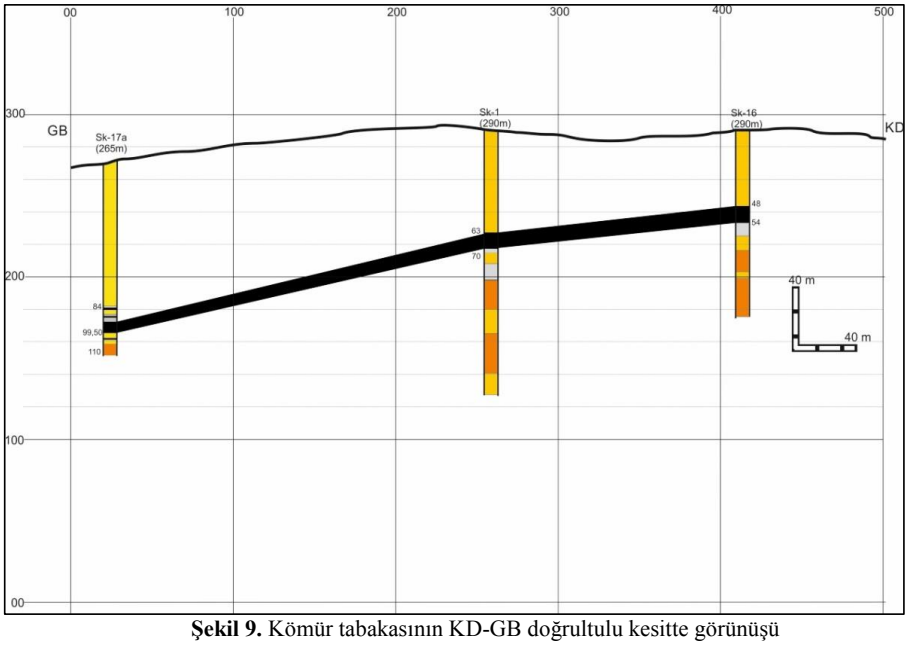
3.4. Modelleme ve Korelasyon Çalışmaları

Kuloğulları ve Çavdar köy çevresinde yapılan 16 adet sondajın verileri Rock Works programına girilerek, sondaj logları (Şekil 8), aynı doğrultudaki sondajların korelasyonu ile elde edilmiş jeolojik kesit (Şekil. 9) ve üç boyutlu litolojik model ve

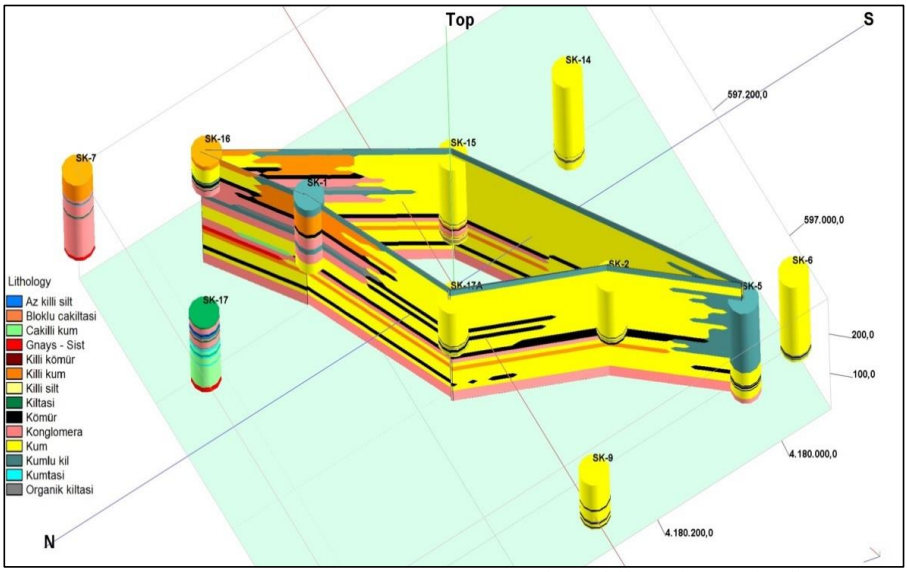
fence diyagramı (Şekil 10) üretilmiştir. Aynı zamanda Corel Draw programıyla hazırlanan stamplar ve korelasyonlar Rock Works programıyla çizilen modellerle karşılaştırılarak yorumlamada bulunulmuştur. Rock Works programıyla hazırlanan fence diyagramı kömür seviyelerinin yayılımı, kömür seviyelerinin yanal ve düşey değişimlerini belirlemede, sondaj loglarının üç boyutlu modeli, kömür kalınlıklarının ve derinliklerinin belirlenmesinde yardımcı olmuştur.



Şekil 8. Sondajların üç boyutlu görüntüsü (Rock Works programı ile yapılmıştır)



Şekil 9. Kömür tabakasının KD-GB doğrultulu kesitte görünüşü



Şekil 10. SK-2, SK-17A, SK-1, SK-16, SK-15, SK-5 numaralı sondajların fence (Çit) diyagramı (Rock Works programı ile yapılmıştır)

Çalışma alanında yayılım sunan kömürlü seviyelerin üç boyutlu modelinin üretilmesi ve sondaj korelasyonları, bir veya birden fazla damar halinde bulunan kömürlü seviyelerin belirlenmesi ile muhtemel fay olduğu düşünülen sondaj kuyuları arasındaki ilişkinin ortaya konmasında yararlı bilgiler sağlamıştır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Büyük Menderes grabeninin güneyinde, Dalama-Kuloğulları ve Çavdar köy çevresinde yer alan yaklaşık 30 km²'lik alanın 1/25000 ölçekli jeoloji haritası ve genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti ile jeoloji enine kesitleri yapılmıştır.

Çalışma alanının temelinde Menderes masifine ait Paleozoyik yaşlı gnays, şist, kuvarsit ve mermerlerden oluşan metamorfik kayalar bulunur. Temelin üzerine uyumsuzlukla gelen Miyosen yaşlı istif, tabanda kaba bloklu çakıltaşı - kumtaşı, tavanda şeyl, marn, kömür ve kumtaşı ile temsil edilmektedir.

Çalışma alanında yayılım sunan koyu kahve, siyah renkli kömürler bölgedeki Miyosen birimleri içinde yer almaktadır.

Çalışma alanında yapılan sondajların verileri neticesinde kömür seviyelerinin genellikle 2 ya da 3 damar halinde bazı bölgelerde ise 1 damar olarak yayılım sunduğu gözlenmektedir. Üç damar halinde bulunan kömür seviyelerinin kalınlığı 6.10 ile 11.3

m arasında, iki damar halinde bulunan kömür seviyelerinin kalınlığı 1.83 ile 15.8 m arasında, tek damar halinde bulunan kömür seviyelerinin kalınlığı ise 0.5 ile 8 m arasında değişmektedir.

Çalışma alanında yer alan ve kömür tabakalarını kesmiş olan 14 adet sondajdan yararlanılarak poligon yöntemi ile rezerv hesabı yapılmış ve görünür kömür rezervi **2.455,167 ton** olarak belirlenmiştir.

Sondajlarda kesilen kömür örneklerinden havada kuru bazda yapılan analizler ile kömür karakterizasyonu belirlenmiştir. Buna göre; kömürlerin toplam kükürt oranı ortalama % 2,87, karbon içeriği ortalama % 42.88, kalorifik değeri ortalama 4147 cal/g'dır.

İnceleme alanında yapılan sondajlardan elde edilen veriler Corel Draw ve Rock Works programları yardımıyla yorumlanmıştır. Bu veriler kullanılarak sondaj litoloji logları, sondaj lokasyon haritası, üç boyutlu litoloji modeli ve fence diyagramları üretilmiştir.

KAYNAKLAR

Anonim, (2011). "Linyit Sektör Raporu", Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, Stratejik Planlama Koordinasyon Birimi, s. 25, Ankara.

Atay holding Çevre *"Doğa ile Barışık Kömür"* http://www.atay.com.tr/index.php?sayfa=icerik&baslik=36

Bulut, Y., (1981). Aydın (Dalama-Kuloğullar) Yöresinin Jeoloji Raporu. MTA. Dökümantasyon Dairesi Rap. No. 1030. Ankara

Dora, Ö., ,Kun, N. ve Candan, O. 1992. Menderes Masifinin metamorfik tarihçesi ve jeotektonik konumu. Türkiye Jeoloji Bülteni, 35/1, 1-14.

Dora, O.Ö., Candan, O., Kaya, O., Koralay, E. ve Akal, C. 2005. Menderes Masifi Çine As masifindeki Koçarlı - Bafa - Yatağan - Karacasu arasında uzanan gnays / şist dokanağının niteliği: Jeolojik, tektonik, petrografik ve jeokronolojik bir yaklaşım. YDABÇAG - 101 Y 132 nolu Türkiye Bilimsel ve Teknolojik araştırma Kurumu projesi, 197s (yayımlanmamış).

Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı Kömür Raporu, 2015. www. Enerji.gov. tr-TR/Sayfalar/Kömür.

Gemici, Y., Akyol, E. ve Akgün, F. (1993). Şahinali (Aydın) neojen havzasının fosil makro ve mikroflorası, Doğa, Türk Botanik D.17, 91-106.
http://www.hurriyet.com.tr/komur-ocagindan-odullu-zeytinyagina-40032899/ 28 Aralık 2015

Karakurt, H., Akkaş, E., Kostak, S., Kaymakçı, E. 2009. Aydın linyitleri açık kömür havzasında malzeme döküm alanlarının ağaçlandırma yoluyla ıslahı. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ege Ormancılık Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bült. 43. S.75.

MTA, (2010). "Türkiye Linyit Envanteri", Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Envanter Serisi, 2010, Ankara.

Özbey Acar, D. 2007. Türkiye'de açık ocak kömür madenciliği sonrası peyzaj, onarım çalışmalarının irdelenmesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. (Yüksek lisans tezi yayınlanmamış. 113 sayfa)

Stach, E., Mackowsky, M. T., Teichmüller, M., Taylor, G. H., Chandra, D., and Teich-müller, R., 1982, *Stach's Textbook of Coal Petrology* , Gebruder Borntraeger, Berlin,535 pp.

Şimşir, F., Pamukçu, Ç., Özfırat M.K. 2007. Madencilikte Rekültivasyon ve Doğa Onarımı.. DEÜ. Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi c. 9. Sayı, 2; 39-49.

Yılmaz, Y., C. Genc, F. Gurer, M. Bozcu, K. Yılmaz, Z. Karacık, S. Altınkaynak, and A. Elmas (2000), When did the western Anatolian grabens begin to develop? in *Tectonics and Magmatism in Turkey and Surrounding Area*, edited by E. Bozkurt, J. A. Winchester, J. D. A. Piper, 353–384, Geologic Society, London, Special Publications, 173.

BİR TAŞOCAĞINDA PATLATMA KAYNAKLI ÇEVRESEL ETKİLER VE FARKLI FORMASYONLAR AÇISINDAN ÜRETİM OPTİMİZASYONU

THE OPTIMIZATION OF PRODUCTION IN TERMS OF ENVIRONMENTAL EFFECTS INDUCED BY BENCH BLASTING AND DIFFERNT FORMATION AT A QUARRY

Ataç BAŞÇETİN, Deniz ADIGÜZEL*, Serkan TÜYLÜ, Hasan EKER

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: deniza@istanbul.edu.tr

ÖZET: Taş ocakçılığı, inşaat gibi çeşitli sektörlerde; patlatma sonucu ortaya çıkan yer sarsıntısı ve hava şoku gibi çevresel problemler ile sıkça karşılaşılmaktadır. Bu nedenle basamak patlatması tasarımı yapılırken sadece ekonomik ve teknik unsurlar değil hava şoku ve yersarsıntısından kaynaklanan çevresel problemlerin de dikkate alınması ve en aza indirgenmesi gerekmektedir. Çevresel şikâyetlerin minimize edilmesi sırasında, yer sarsıntısı bileşenlerinin önceden tahmin edilmesi büyük rol oynamaktadır. Bu tür çevresel duyarlılıklar dikkate alındığında, patlatma kaynağından belirli bir uzaklıkta bulunan bir yerleşim biriminin ya da tesisin; patlatma sonucunda oluşacak yer sarsıntısı, taş savrulması ve hava şoku gibi sonuçlardan etkilenmemesi bakımından; patlatma tasarımının optimize edilmesi gerekmektedir. Diğer bir husus, kayaçlar bir mühendislik malzemesi olmadıkları için genellikle bir süreklilik arz etmezler. Aynı kaynakta veya ocakta, aynı formasyon içerisinde bile farklı derinliklerde kayaç özelliklerinde değişmeler gözlenebilmektedir. Bu nedenle formasyon farklılıklarının ve çevresel etkilerin de dikkate alındığı iyi bir patlatma optimizasyonu ve kaynaktan üretilen malzemenin optimum kalitesinin sürdürülebilirliğinin sağlamasında iyi bir harmanlama optimizasyonu yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada; bir taşocağında patlatma kaynaklı çevresel etkiler ve formasyon farklılıkları da dikkate alınarak üretim maliyetlerini de minimize eden bir optimizasyon yöntemi tanımlanmış ve bir örnek çalışma sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Taş ocağı, Patlatma, Optimizasyon, Çevresel problemler

ABSTRACT: *In various sectors such as quarrying, construction; it is often encountered with environmental problems such as ground vibration and airblast induced by blasting. During the minimization of environmental problems, anticipation of ground vibration components is great importance. With regard to the environmental problems, the blasting design should be optimized so that a settlement located at a certain distance from the blasting source will not be affected by the blast results, such as ground vibration, flyrock, and airblast. The extraction of rock at a quarry is more problematic, because of variable bedrock properties and rocks are not an engineering material. Changes in rock properties can be observed at different depths in the same quarry. Therefore, in the aspect of the sustainable use of natural resources, blasting parameters and the material obtained from the quarries at different qualities should be optimized with regards to environmental effects and variable rock properties. In this study; an optimization method that minimizes the production costs by taking into consideration the environmental effects induced by blasting and formation differences in a quarry has been defined and a case study was performed.*

Keywords: *Quarry, Blasting, Optimization, Environmental problems.*

1. GİRİŞ

Taşocaklarında agrega üretimi kazı, yükleme, nakliye ve kırma aşamalarından oluşur (Başçetin, 2010; Başçetin, 2011). Bu üretim sırasında, CO_2 emisyonu'nun yanı sıra, toz emisyonu, görüntü kirliliği, patlatma faaliyetleri sonucunda oluşan yer sarsıntısı ve gürültü gibi olumsuz çevresel etkiler de ortaya çıkabilmektedir. Agrega üretimiyle ilgili çevresel hususlar büyük önem arz etmektedir. Dünyanın pek çok yerinde ocakların faaliyetleri üzerinde yasal kısıtlamalar bulunmaktadır. Agrega üretimiyle ilgili başka bir sorun ise agregalar yükte ağır pahada hafif malzemeler olduklarından agregaların nakliyesi ciddi bir maliyet girdisi oluşturmakta ve uzun mesafelerde etkisi tartışılamaz olmaktadır (Alexander ve Mindness, 2005).

Taşocaklarında en önemli unsurlar kaynakların sürdürülebilir kullanımı ve üretimin her aşamasında çevresel etkilerin en aza indirilmesidir. Buna bağlı olarak agrega üretimi aşamasında malzemeyi iyi tanımak ve ona göre üretim yöntemi seçebilmek enerjinin optimum kullanımı ve dolayısıyla çevresel etkiler açısından

oldukça önemlidir. Son yıllarda gelişen çevre bilinci ve kısıtlayıcı çevre yasaları da agrega üretiminde dikkat edilmesi gereken hususlar haline gelmiştir. Bu nedenle agrega üretimi sırasında iyi bir patlatma tasarımı ve üretim planlaması yapılması gerekmektedir.

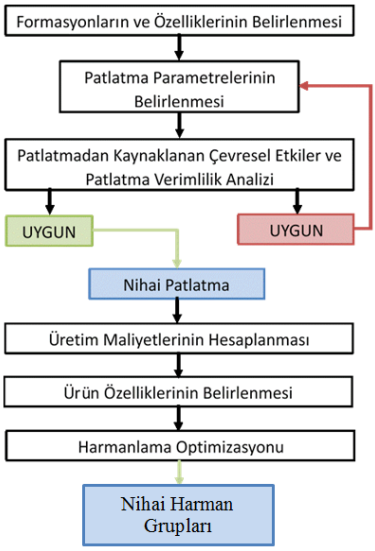
Patlatma tasarımında yalnızca parçalanma derecesi, maliyet gibi teknik ve ekonomik unsurlar değil, aynı zamanda yer sarsıntısı ve hava şokundan kaynaklanan çevre problemleri de dikkate alınmalıdır. Bu tür çevresel duyarlılıklar dikkate alındığında, patlatma kaynağından belirli bir uzaklıkta bulunan bir yerleşim biriminin ya da tesisin; patlatma sonucunda oluşacak yer sarsıntısı, taş savrulması ve hava şoku gibi sonuçlardan etkilenmemesi bakımından; patlatma tasarımının optimize edilmesi gerekmektedir. Patlatmadan kaynaklanan çevresel problemler, gelişmiş ülkelerde; ülkemize göre daha çok önceleri yaşanmıştır. Bu nedenle bu konuların çözümü ve konuyla ilgili bazı standartların oluşturulması amacıyla çeşitli sistematik araştırma programları yürürlüğe konulmuştur. Bu programların sonucunda "Kontrollü Patlatma Tekniğinin İlkeleri" ortaya konulmuştur (Tosun, 1993; Adıgüzel,2006). Patlayıcı maddelerin kaya kütlelerini kırma amacı ile kullanımlarında çevreye verebilecekleri başlıca dört değişik olumsuzluk bulunmaktadır. Bunlar; taş savrulması, hava şoku, toz emisyonu ve yer sarsıntısı olarak sıralanabilir. Bunlardan çevresel açıdan en fazla risk taşıyanı yer sarsıntısı olmaktadır.

Öte yandan bir agrega kaynağının bütün bölümlerinde kayaç özellikleri aynı olmamaktadır. Bu nedenle kaynaktan üretilen agreganın optimum kalitesinin sürdürülebilirliğinin sağlamasında iyi bir ocak optimizasyonu ve harmanlama gereksinimi de doğmaktadır. Bu kapsamda değerlendirildiğinde agregaların üretim sürecinin anlaşılması önem arz etmektedir (Raisanen ve Torppa; 2005). Optimizasyon temel bir tanımlama ile verilen kısıtlar altında en iyi çözümün bulunması işidir (Ergülen, 2005; Antoniou ve Lu, 2010; Adıgüzel, 2012).

Bu çalışmada; bir taşocağında patlatma kaynaklı çevresel etkiler ve formasyon farklılıkları da dikkate alınarak üretim maliyetlerini de minimize eden bir optimizasyon yöntemi tanımlanmış ve bir örnek çalışma sunulmuştur.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Bir taşocağında yapılacak optimizasyon çalışması sırasında izlenecek yöntem Şekil 1'de özetlenmiştir.



Şekil 1. Optimizasyon çalışması sırasında izlenecek yöntem

Formasyonların ve Özelliklerinin Belirlenmesi: İyi bir ocak optimizasyonu için öncelikle üretim yapılan alanlarda kayaç formasyonlarının ve özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda kayaç tanımlarının yapılabilmesi amacıyla elementel ve petrografik analizler ve kaya mekaniği deneyleri yapılmalıdır.

Patlatma Parametrelerinin Belirlenmesi: Patlatma paternlerinin belirlenmesi aşamasında literatürde verilen çeşitli araştırmacılara ait yaklaşımlar kullanılmalı ve formasyon özelliklerine uygun patlatma tasarımları yapılmalıdır. Çevresel etkiler açısından bu parametrelerin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Patlayıcı enerjisinin verimli bir şekilde kayaç parçalanmasına kullanılması ve böylece çevresel etkilerin minimize edilmesi gerekmektedir.

Patlatmadan Kaynaklanan Çevresel Etkiler ve Patlatma Verimlilik Analizi: Bu aşamada atımlara ait kayaç içi titreşimlerin oluşturduğu parçacık hızı ve frekans değerleri, titreşim ölçer cihazları ile kaydedilmeli ve hava şoku değerleri ölçülmelidir. Ayrıca Ölçüm istasyonları bilinçli olarak yapıların yakınlarına ve tesis binalarının yakınlarına yerleştirilmelidir. Saha çevresinde bulunan yapıların, patlatma faaliyetlerinden dolayı

zararının olup olmadığının belirlenmesi amacıyla, ölçülen frekans ve en yüksek parçacık hızı (PPV) değerleri, ulusal ve uluslararası hasar normlarına göre değerlendirilmeli ve çevresel açıdan riskler ortaya konulmalıdır. Patlatma veriminin analizi patlatma sonrası açığa çıkan yığının parça boyut dağılımı analizi ile yapılmalı ve bu değerlere göre nihai patlatma paternine karar verilmelidir.

Üretim Maliyetlerinin Hesaplanması: Üretim maliyetleri açısından bakıldığında taşocaklarındaki enerji tüketimleri 4 grupta toplanabilir; bunlar, patlayıcı madde kullanımı sırasında, ocakta patlatmalı kazı işlemlerinde kullanılan ANFO ve dinamit türü patlayıcılar, dizel yakıtla çalışan araçların tükettiği enerji, elektrik tüketimi ve işçilik olarak sıralanabilir. Bu aşamada bu parametreler hesaplanmalıdır.

Ürün Özelliklerinin Belirlenmesi: Bu aşamada harmanlama optimizasyonunda kullanılacak ürün özellikleri her formasyon için ayrı ayrı deneysel çalışmalarla belirlenmelidir.

Harmanlama Optimizasyonu: Harmanlama optimizasyon modelinde kısıt fonksiyonları olarak ürün kalitesini belirleyen parametreler, amaç fonksiyonu olarak da yine işletmeler için önemli bir parametre olan üretim maliyeti minimizasyonu tanımlanmalı ve buna göre uygun optimizasyon yöntemi ile harman grupları oluşturulmalıdır. Bu çalışma kapsamında harmanlama optimizasyon probleminin çözümü amacıyla doğrusal programlama kullanılarak bir harmanlama modeli geliştirilmiştir. Kurulan modellerin çözümüyle birlikte amaç fonksiyonunu minimize eden ve kısıt fonksiyonlarını sağlayan ikili ve üçlü ürün harman grupları oluşturulmuştur. Doğrusal programlama kullanılarak oluşturulan üçlü harman modellerinin bir kısmı örnek olması açısında Eşitlik 1'de verilmiştir.

Minimize Z=$\sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3}\sum_{k=1}^{3}(A_{ijk} * E_i) + (A_{jik} * E_j) + (A_{kij} * E_k)$ (1)

$(A_{ijk}*LA_i) + (A_{jik}*LA_j) +(A_{kij}*LA_k) <= LAs$

$(A_{ijk}*M_i) + (A_{jik}*M_j) +(A_{kij}*M_k) <= Ms$

$A_{ijk}, A_{jik}, A_{kij} >=0$

$A_{ijk}+A_{jik}+A_{kij}=1$

$i \neq j \neq k$

Burada;

LAs : Los Angeles katsayısı sınır değeri

Ms : Metilen mavisi sınır değeri

i, j, k : 1., 2. ve 3. bölgeler

$E_{i \text{ veya } j \text{ veya } k}$: i., j. veya k. bölgeden üretilen agreganın birim maliyeti

$LA_{i \text{ veya } j \text{ veya } k}$: i., j. veya k. bölgeden üretilen agreganın Los Angeles değeri

$M_{i \text{ veya } j \text{ veya } k}$: i., j. veya k. bölgeden üretilen agreganın metilen mavisi değeri

A_{ijk} : i. bölgeden üretilen agreganın j. ve k. bölgeden üretilen agregalar ile yaptığı karışımda aldığı oran

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında bir taşocağında yapılan gözlem ve incelemeler sonucunda, farklı formasyonda olduğu düşünülen 3'er farklı bölge belirlenmiştir ve bu bölgelerden örnek kayaç numuneleri alınmıştır. Belirlenen bu 3 bölge için tek eksenli basma dayanımı ve çekme dayanımının belirlenmesinde nokta yükleme deney yöntemi kullanılmış, her bölge için en az 100 örnek üzerinde deneyler yapılmış ve ortalama sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir (Adıgüzel, 2012). Çalışma kapsamında söz konusu sahada her bölge için bir atım olmak üzere toplam 3 adet atıma ait kayaç içi titreşimlerin oluşturduğu parçacık hızı ve frekans değerleri, titreşim ölçer cihazları ile kaydedilmiştir. Ölçüm istasyonları bilinçli olarak yapıların yakınlarına ve tesis binalarının yakınlarına yerleştirilmiştir. Bu atımlara ait titreşim ölçüm sonuçları Çizelge 2'de ve parametreler ise Çizelge 3'de verilmiştir (Adıgüzel, 2006).

Çizelge 1. Ortalama tek eksenli basma ve çekme dayanımları

Bölge adı	Tek eksenli basma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)
1. Bölge	62,4	3,6
2. Bölge	73,9	4,2
3. Bölge	75,4	4,3

Çizelge 2. Deneme atımları ölçüm sonuçları

Bölge no	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge
En Yüksek Parçacık Hızı PPV (mm/sn)	1,52	2,03	0,76
Frekans F (Hz)	22,2	17	23,2
Mesafe (m)	277	181	531

Araştırma kapsamında; cihazın kaydettiği yer sarsıntısı ölçüm sonuçlarının, çevredeki tesis ve yapılara etki derecelerini tahmin ve mukayese etmek amacıyla; parçacık hız bileşenleri, oluşum frekansları da dikkate alınarak, uluslararası genel kabul görmüş USBM Normuna göre değerlendirilmiş ve herhangi bir hasar riski taşımadığı

görülmüştür. Ayrıca atımların verimliliğini belirlemek amacıyla görüntü işleme teknolojisi kullanılarak atım sonucu ortaya çıkan yığının parça boyut dağılımlarının analizi yazılmıştır. Buna göre hem çevresel açıdan hemde parça boyut dağılımları açısından patlatma paternleri uygundur. Bu çalışmanın devamında formasyonlara göre harmanlama optimizasyon çalışmaları yapılmıştır.

Çizelge 3. Atım Parametreleri

Bölge no	**1. Bölge**	**2. Bölge**	**3. Bölge**
Delik Sayısı	12	5	7
Delik Çapı (mm)	89	89	89
Basamak Yüksekliği (m)	10	10	10
Delik Boyu (m)	11	11	11
Dilim Kalınlığı (m)	2,5	2,5	2,5
Deliklerarası Mesafe (m)	2,5	2,5	2,5
Sıkılama Boyu (m)	3	3	3
Toplam Şarj (kg)	616	227,5	263,5
Gecik. Baş. Top. Şarj(kg)	51	46	19
Patlayıcı Tipi	Anfo + Emulsiyon	Anfo + Emulsiyon	Anfo + Emulsiyon

Çatalca Bölgesi taşocağı 3 farklı bölgeye ait agrega ürün grupları ikili ve üçlü şekilde doğrusal programlama modeli kullanılarak harmanlanmıştır. Buna göre 1. Bölge - 2. Bölge karışımı, 1. Bölge - 3. Bölge karışımı, 2. Bölge - 3. Bölge karışımı ve 1. Bölge - 2. Bölge - 3. Bölge karışımı olacak şekilde 4 farklı harman elde edilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak maliyetin tanımlandığı bu dört modelin çözümü sırasında kısıt fonksiyonu sınır değerleri standartlar ve literatürde belirtilen değerlere göre belirlenmiştir. Sınır değerlerin belirlenmesinde, agregaların geleneksel beton üretiminde kullanımı ve söz konusu ocaktan üretilen malzeme özellikleri de dikkate alınmıştır. Çizelge 4'de harmanlama modelinde kullanılan amaç ve kısıt fonksiyonu değerleri verilmiştir (Adıgüzel, 2012).

Çizelge 4'deki veriler kullanılarak Çatalca bölgesi taşocağı için 1. Bölge - 2. Bölge karışımı, 1. Bölge - 3. Bölge karışımı, 2. Bölge - 3. Bölge karışımı ve 1. Bölge - 2. Bölge - 3. Bölge karışımı olacak şekilde 4 farklı harman modeli oluşturulmuştur. 1. Bölge – 2. Bölge ve 1. Bölge - 2. Bölge - 3. Bölge karışım modelleri için verilen kısıtlar dahilinde küresel bir çözüm bulunamamıştır. Paket programı kullanılarak yapılan model çözümleri, Çizelge 5'de verilmiştir. Çizelge 5'den de görüldüğü gibi agrega üretim maliyeti açısından 6,02 TL/ton değeriyle 1. Bölge – 3. Bölge karışımı daha iyi sonuç vermiştir.

Çizelge 4. Çatalca bölgesi taşocağı harmanlama modelinde kullanılan amaç ve kısıt fonksiyonu değerleri

Deneyler	**1. Bölge**	**2. Bölge**	**3. Bölge**	**Sınır Değer**
Agrega Üretim Maliyeti (TL/Ton)	5,69	6,15	6,16	Minimum
Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)	62,4	73,9	75,4	>70
Çekme Dayanımı (MPa)	3,6	4,2	4,3	>4
Darbe Değeri (%)	32,63	29,02	28,93	<30
Kırılma Değeri (%)	31,24	29,46	29,36	<30
Parçalanma Direnci (Los Angeles)	29,43	27,72	25,63	<30
Aşınma Direnci (Micro Deval)	22,98	14,68	13,48	<35
Tane Yoğunluğu (g/cm^3)	2,71	2,73	2,7	>2,7
Su Emme Oranı (%)	3,5	3,08	1,84	<3
İncelik Modülü Değerleri	3,49	3,46	3,46	>2,3
Yassılık Endeksi Değeri (%)	14,34	15,69	17,51	<35
Çok İnce Malz. İçeriği (%)	5,91	5,71	5,32	<11
Kum Eşdeğeri	61,4	60	71	60-70
Metilen Mavisi Değeri (g/Kg)	2,25	6,75	1,5	<2

Çizelge 5. Çatalca bölgesi harman modelleri maliyet ve agrega kalite kontrol parametre değerleri

Değerler	**1.Bölge–3.Bölge Karışımı**	**2.Bölge–3.Bölge Karışımı**
Agrega Üretim Maliyeti (TL/Ton)	6,02	6,16
Tek Eksenli Basma Dayanımı(MPa) (Mpa)	71,64	75,26
Çekme Dayanımı (MPa)	4,1	4,29
Darbe Değeri (%)	30	28,94
Kırılma Değeri (%)	29,9	29,37
Parçalanma Direnci	26,73	25,83
Aşınma Direnci	16,23	13,6
Tane Yoğunluğu (g/cm^3)	2,73	2,70
Su Emme Oranı (%)	2,32	1,96
İncelik Modülü Değerleri	3,47	3,46
Yassılık Endeksi Değeri (%)	16,6	17,34
Çok İnce Malzeme İçeriği (%)	16,51	16,64
Kum Eşdeğeri	68,22	69,95
Metilen Mavisi Değeri (g/Kg)	1,72	2
Karışım oranları	%29 1. Bölge %71 2. Bölge	%10 2. Bölge %90 3. Bölge

Agrega ürün kalitesi parametreleri açısından değerlendirirsek;

- Tek eksenli basma dayanımı açısından 2. Bölge - 3. Bölge karışımı,
- Çekme dayanımı dayanımı açısından 2. Bölge - 3. Bölge karışımı,
- Darbe değeri açısından 2. Bölge - 3. Bölge karışımı,
- Kırılma değeri açısından 2. Bölge - 3. Bölge karışımı,
- Parçalanma direnci açısından 2. Bölge - 3. Bölge karışımı,
- Aşınma direnci (Micro Deval) açısından 2. Bölge - 3. Bölge karışımı,
- Tane yoğunluğu açısından 1. Bölge – 3. Bölge karışımı,
- Su emme oranı açısından 2. Bölge - 3. Bölge karışımı,,
- İncelik modülü değerleri açısından 1. Bölge – 3. Bölge karışımı,
- Yassılık endeksi değeri açısından 1. Bölge – 3. Bölge karışımı,

- Çok ince malzeme içeriği açısından 1. Bölge – 3. Bölge karışımı,
- Kum eşdeğeri açısından 2. Bölge - 3. Bölge karışımı,
- Metilen mavisi değeri açısından 1. Bölge – 3. Bölge karışımı, daha iyi sonuçlar vermiştir.

4. SONUÇLAR

Taşocaklarındaki en önemli sorunlardan biri malzeme kalitesinin devamlı olarak değişmesidir. Bunun en büyük nedeni ocak içerisinde üretim yapılan yerlerdeki kayaç değişimleridir. Ayrıca patlatmalı kazı çalışmalarının kaçınılmaz olduğu bu sektörde; patlatmadan kaynaklanan çevresel etkilerin belirlenmesine yönelik yer sarsıntısı ve gürültü ölçümleri büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla problem bir optimizasyon problemidir. Bu aynı zamanda sürdürülebilir ve çevre dostu bir üretimin de vazgeçilmez bir unsurudur. En uygun harmanlama modeli ve patlatma tasarımının oluşturulması sadece malzeme kalitesi ve maliyet açısından etkili olmayıp, bunun bir sonucu olarak da optimum bir üretim planlaması ve ocak-işletme dizaynını beraberinde getirerek en az çevresel etki ile bir üretimin sağlanması mümkün olabilecektir. Tüm bu verilerin ışığında seçimli üretimi gerçekleştirmek ve bununla birlikte kaynakların verimli kullanımı da mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

Adıgüzel, D., 2012. Beton üretiminde en uygun agrega karışımının lineer programlama ile belirlenmesi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

Adıgüzel, D., 2006. Çatalca yöresi Akyol Taş Ocağında patlatmadan kaynaklanan titreşim etkilerinin araştırılması, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Alexander, M.G., Mindness, S., 2005. Aggregates in Concrete (Modern Concrete Technology), CRC, 978-0415258395, sf: 448.

Antoniou, A. ve Lu, W.S., 2010, "Practical Optimization: Algorithms and Engineering Applications", 978-1441943835, Springer, sf: 696.

Basçetin, A., Adıgüzel, D., Tüylü, S., Çaglayan, M., 2010. The control of energy consumption and the investigation of CO_2 emissions in the production of aggregate, Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu, 26-28 Mayıs, Ankara/Türkiye, ss. 796-801.

Basçetin, A., Adıgüzel, D., Tüylü, S., 2011. The study of energy consumptions and CO_2 emissions in the production of aggregate for different rock units, SME Annual Meeting, Şubat 27-Mart 02, 2011, Denver, CO, Preprint 11-026.

Ergülen, A., Kazan, H., Kaplan, M., 2005. İşletmelerde dağıtım sistemi maliyetleri minimizasyonu için çözüm modeli: Bir firma uygulaması, S.Ü, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 13, ss.163-172.

Raisanen, M., Torppa, A., 2005. Quality assessment of a geologically heterogeneous rock quarry in pirkanmaa country, Southern Finland", Bull Eng Geol Env, 64: 409–418.

Tosun, S., 1993. Delme ve patlatmada titreşim ve hava şoku problemleri ve muhtemel çözümler, EtibankVakfı Bülteni, Sayı:5, ANKARA.

ANALYSIS OF SURFACE SUBSIDENCE DUE TO LONGWALL MINING OPERATION UNDER WEAK GEOLOGICAL CONDITIONS IN TURGUT BASIN OF YATAĞAN-MUĞLA (TURKEY)

TURGUT HAVZASINDA (YATAĞAN-MUĞLA) ZAYIF JEOLOJİK KOŞULLAR ALTINDA UZUNAYAK MADENCİLİĞİ SONUCU OLUŞACAK TASMANLARIN ANALİZİ

Avni GÜNEY[1*], Murat GÜL[2], Yüksel AKIN[3]

1: Muğla Sıtkı Koçman University, Department of Mining Eng., Muğla, TURKEY

2: Muğla Sıtkı Koçman University, Department of Geological Eng., Muğla, TURKEY

3: Yatağan Thermic Energy Generation Inc., Director of Mining Operations Muğla, TURKEY

*: Corresponding Author: aguney@mu.edu.tr

ABSTRACT: Since longwall mining causes subsidence through the overlying strata to the ground surface, accurate prediction of surface subsidence due to the extraction of underground coal seams becomes a significant challenge in engineering. This paper describes the condition of thick coal seams (6-12 m) situated in Turgut basin of Yatağan-Muğla (Turkey) and then discusses the subsidence behaviour due to a projected longwall mining operation based on the field data, using Surface Deformation Prediction System (SDPS) software which is designed to provide an integrated approach for the calculation and prediction of ground deformations above undermined areas. Based on empirical or site-specific regional parameters, the user can calculate a variety of ground deformation indices according to the profile function method as well as the influence function method. This paper aims at predicting the subsidence values only numerically and evaluating the influence of subsidence on the structures to be built on the ground for the cases with coal pillars.

Keywords: Longwall mining, Subsidence, Coal pillar

ÖZET: *Kömür üretiminin uzunayak yeraltı üretim yöntemi ile yapılması sonucunda açılan yeraltı boşluğu üzerindeki katmanlarda tasman oluşturması nedeniyle oluşacak*

tasmanın doğru bir şekilde kestirilebilmesi mühendislik açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada Yatağan-Muğla *(Turkey) Turgut havzasında yer alan ve kalınlığı yer yer 6-12 m arasında değişen bir kömür oluşumu tanımlanmış ve projelendirilecek bir uzunayak madenciliği sonucunda, oluşması muhtemel tasmanların, sahada elde edilen verilerin bütünleşik bir yaklaşımla değerlendirilerek, yer deformasyonlarının hesaplanması ve kestirilmesi amacı ile tasarlanmış olan* Surface Deformation Prediction System *(SDPS) yazılımı kullanılarak tartışılmıştır. Bir kullanıcı, SDPS yazılımı ile ampirik veya sahaya özel özel parametreleri kullanarak 'profil fonksiyon yöntemi' veya 'etki fonksiyon yöntemi'ne göre yer deformasyonlarını hesaplayabilmektedir. Bu çalışmada, oluşması muhtemel ve sadece sayısal yöntemle kestirilmiş olan tasmanların yüzey yapıları ve altyapılarda oluşturacağı olası etkileri değerlendirmek amacıyla kömür topuğu bırakılmış ve bırakılmamış alanlarda meydana gelebilecek tasmanlar belirlenmiştir.*

Anahtar Kelimeler: *Uzunayak madenciliği, Tasman, Kömür topuğu*

1. INTRODUCTION

Surface movements are always caused by the application longwall mining method, in the form of collapses in the mined out areas (goaf). The amount of surface movement is affected by several parameters, including the number and thickness of the coal seams that have been mined, dip of the seam(s), depth of overburden above the seam(s), the surface topography, the composition of the overburden rock and the presence of structural discontinuities (Singh et al., 2015; Peng, 2015; Wagner et al., 2015)

As a general rule, total height of the coal seam is used to estimate the maximum subsidence, which ranges from 40% to 90% of the total mining height (Sheorey et al., 2000). This approximation may result in different values for various coal basins. In general, in this particular coal basin that was studied, Turgut basin of Yatağan-Muğla, subsidence values were found to be 50% to 70% of the seam height, except over the pillars left to prevent the subsidence.

Though, these values yield a very rough estimate of the maximum subsidence, i.e., the subsidence that can be expected in the middle above a longwall panel or above a fully mined-out area, i.e., an area without any pillars or unmined zones. The value also is valid only in the case in which there are no major faults. In the central part above a

longwall panel or above a fully mined-out area, it often is assumed that the new surface remains parallel to the original topography, so that no differential displacements occur. Around the edges of a mined area, the subsidence evolves from the maximum value in the central part to a subsidence of nearly zero at a certain distance away from the mined out area. Thus, the subsidence results in a curvature of the new surface. For a single panel, it can be assumed that a trough is formed (Ewy et. al., 1984; Guo et al., 2016). This will lead to differential vertical displacements and to horizontal displacements (horizontal strain in tension and in compression) around the edges. Generally, it is assumed that damage to the infrastructure occurs mainly in such areas, i.e., where large differential vertical displacements and large horizontal strain exist.

Any subsidence analysis that utilizes numerical modelling, when used as an adjunct to empirical techniques, can predict the subsidence, if a sound knowledge of the geology, particularly the stratigraphy, and the material behaviour of the subsurface strata are present. However, currently, the prediction of subsidence using numerical modelling may result in poor accuracy (Mohammad et al., 1998; Esterhuizen et al., 2010; Coulthard and Dutton, 1988; Kay et al., 1991), and this stems in large part from a lack of understanding of the constitutive laws of the coal measure strata. Among the subsidence studies carried out formerly for a range of constitutive laws considering the behavior of material (e.g. Kay et al., 1991; Lloyd et al., 1997; Coulthard and Holt, 2008), there has been no single work conducted to date that provides a comprehensive assessment of the effectiveness with which commonly used constitutive laws can predict surface subsidence and subsurface displacements. The present study includes the estimations acquired by modelling the coal seam and the overlying strata with constitutive laws of varying complexity using SDPS.

2. STUDY AREA

Study area is situated in north, north-east of Turgut basin of Yatağan County in Muğla Province (Turkey) and encompasses around 22 km^2.

2.1 Morhology

Topography of the study area is formed by Dipsiz Creek and other seasonal creeks in the east. Kemer Creek, Boğaz Creek, Kayırlı and Bulgurcu Creeks are among the

seasonal creeks. This depressed area is surrounded by Yapraklı, Hacıbayramlar (N), Turgut (S), Zeytin-Zeytinköy (W) and Yava (E) and declines from west to east with the influence of the creeks (Figure 1).

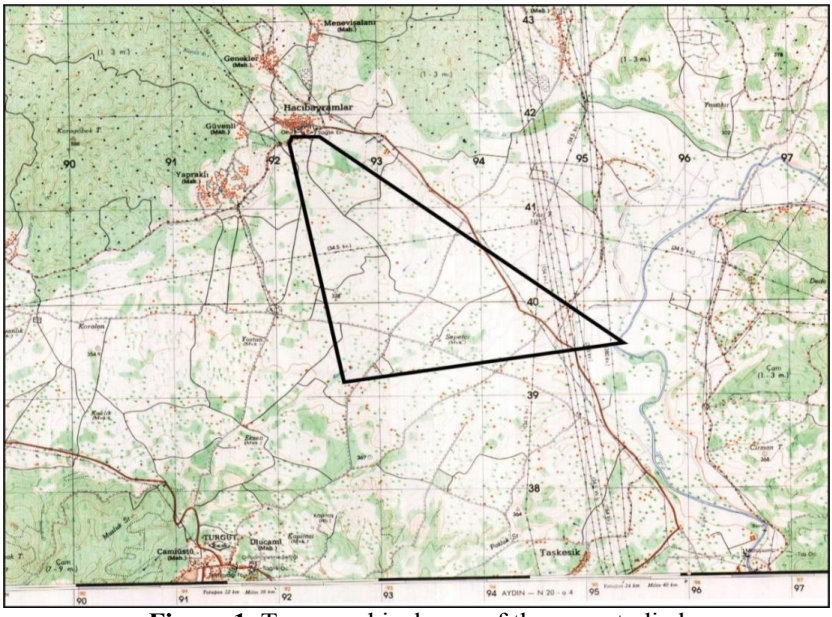


Figure 1. Topographical map of the area studied

2.2 General geological properties

Study area was examined based on the information published in the chapter entitled 'Lignite Reserves in Yatağan-Turgut basin of Muğla Province in Turkey Lignite Inventory Book', MTA (2010). A section based on drillcore data along the NW-NE directional section was taken from the town of Turgut to northeast of Yaztepe along with the general geological map of the region. When this section and the geological maps prepared by the MTA are jointly evaluated (MTA 1993, 2002, 2010), crystallized limestone-marble was detected in the basement. On this metamorphic basement, Turgut Formation which consists of Middle Miocene aged blue-gray sandstone-siltstone-claystone is located. Lignite formations are located on the Turgut Formation and they are thinning towards the town of Turgut and it has been seen that they reappear locally due to the faulting to the side of the section. Following the lignite level, Sekköy Formation consisting of Middle Miocene aged blue-grey green marl-siltstone-sandstone is situated. This formation is unconformably overlain by the Yatağan Formation. Upper

Miocene-Pliocene aged Yatağan Formation which consists of green-grey conglomerate-sandstone-tuff-marl-claystone is observed in the surface of the study area (Figures 2-4). According to the MTA (2010) lignite inventory, the lignite has a variable thickness between 0.75-12.05 m with an average thickness of 6.20 m in an area spreading to 14 km^2. The mean depth of lignite is 255 m but it is stated that the depth is variable between 86.85 m (NE)-505.25 (SW) m. Total reserves of 130 million tons have been reported, including proven and probable reserves, according to the borehole data obtained by MTA (General Directorate of Mineral Research and Exploration), TKI (Turkish Coal Enterprises) and Yatağan Thermal Energy Generation Inc.

Whateley et al. (1997) determined the lignite reserve of Turgut basin using different methods. In this study, borehole data and geological maps prepared by MTA (1993) were used. The researchers noted that the SW margin of the basin is limited to about 200 m strike fault in the NW-SE direction. They emphasized that Turgut Formation consists of conglomerates, claystones, siltstones, sandstones and conglomerate, which were incompatible with the basic units, and that they were exposed to the north and south of the basin. It is emphasized that the Sekköy Formation consists of marl and limestone reaching a thickness of 150 m and the overlying Yatağan Formation consists of conglomerate, claystone, sandstone and tuffs, which can reach a thickness of 400 m. It is stated that lignite in this region has a thickness of 20 m between Turgut and Sekköy Formations. It is also stated that lignite is intersected by 73 of the 104 holes drilled by MTA in Turgut basin.

In this study, the coal which draws border with Turgut and Sekköy Formations will be evaluated. Whateley et al. (1997) have calculated the coal reserve by changing the lignite co-thickness map which was prepared by Nakoman and İnaner (1996) based on borehole drill data.

In the Turgut basin, in an area of 16.913.962 m^2, a total of 121 881 519 t coal reserve was calculated considering an average extractable seam thickness of 4.91 m. When Polygon Method and an average coal seam thickness of 5.42 m is considered, a total 135 131 180 t coal reserve; 137 508 503 t coal reserve was calculated using inverse power of geostatistical method; 138 825 164 t coal reserve was calculated by Krigging Method (Figure 5).

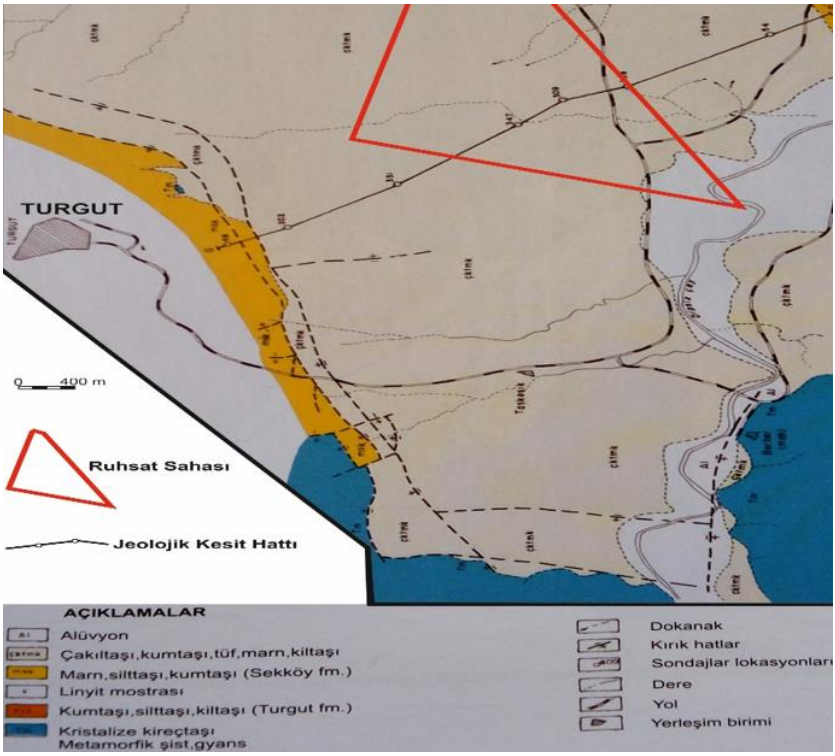


Figure 2. General geological map of the area studied (MTA, 2010)

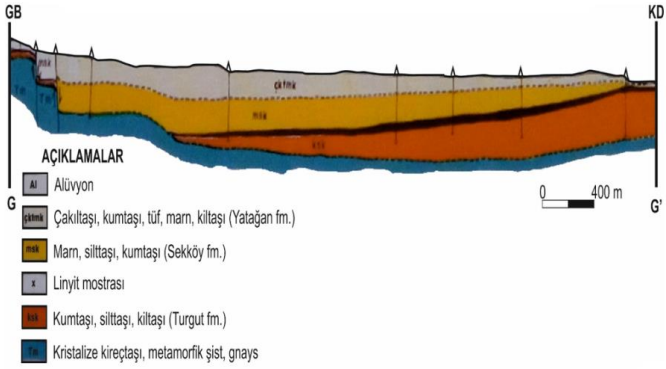


Figure 3. General geological cross-section of the area studied (MTA, 2010)

When the tectonic features of the Turgut Basin are considered, it appears to be a graben-sedimentary basin developed due to normal fault activity. The faults limiting the basin are part of the NW-SE trending fault called Muğla-Yatağan Fault Zone in the literature (Figure 2) (Whateley et al., 1997; MTA, 2010; Karabacak, 2016). The seismic movements on this fault caused fallings, faults, folds, turns in blocks, openings, horizontal and vertical pulses in the Lagina antique region located at the SW boundary

of the study area (Karabacak, 2016). The age points to the existence of a great activity in the region in the 4th century. Based on the MTA data, it is reported that the strike due to these faults is about 200 m (Whateley et al., 1997).

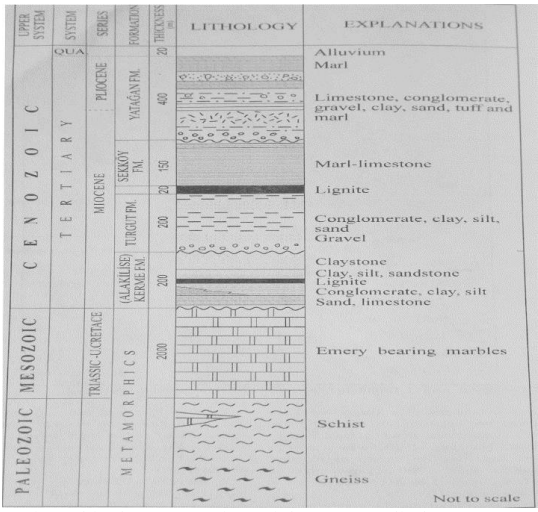


Figure 4. Generalized stratigraphical cross-section of the area studied (Courtesy of Whateley et al., 1997; Gürsoy et al., 1993)

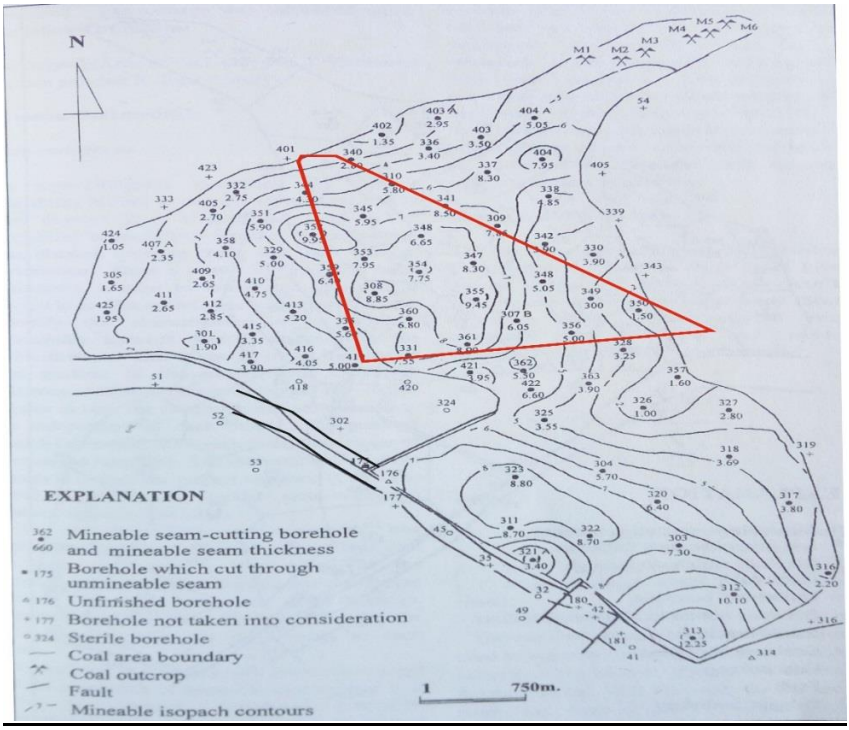


Figure 5. Isopach map of the coal seams (Whateley et al., 1997)

3. EVALUATION OF THE DRILLHOLE DATA

In addition to drill holes made by MTA and TKI in the field of investigation, Yatağan Thermal Energy Generation Inc. has drilled a total of 32 new drill holes at depths ranging from 60 to 280 m. These holes were drilled in selected areas where there were no holes previously drilled by the MTA. In the upper parts of almost all of the drill holes, the units such as conglomerates, claystone, sandy siltstone belonging to Yatağan Formation have been identified. These units are followed by the Sekköy Formation, which consists of marl, silty sandstone, and green claystone units. Claystone, sandstone, and siltstone are also found in the lignite levels with thicknesses ranging from 0-23.1 m and with an average thickness of 10.4 m. Below these units, the Turgut Formation is situated and consists of sandy siltstone, and sandy clayey siltstone units.

4. SUBSIDENCE

Subsidence, a universal process that occurs in response to the voids created by extracting solids or liquids from beneath the Earth's surface, is controlled by many factors including mining methods, depth of extraction, thickness of deposit, and topography, as well as the in situ properties of the rock mass above the deposit (Figure 6). The impacts of subsidence are potentially severe in terms of damage to surface utility lines and structures, changes in surface-water and ground-water conditions, and effects on vegetation and animals. Although subsidence cannot be eliminated, it can be reduced or controlled in areas where deformation of the ground surface would produce dangerous or costly effects.

Subsidence prediction is highly developed worldwide where there are comparatively uniform mining conditions and a long history of field measurements. Much of this mining has been carried out beneath crowded urban and industrial areas where accurate predictions have facilitated use of the surface and reduced undesirable impacts. Empirical methods of subsidence analysis and prediction based on local conditions seem better suited to the current state of knowledge of the varied geologic and topographic conditions in domestic coal mining regions than do theoretical/mathematical/ numerical approaches. In order to develop broadly applicable subsidence prediction methods, more information is needed on magnitude and timing of ground movements and geologic properties.

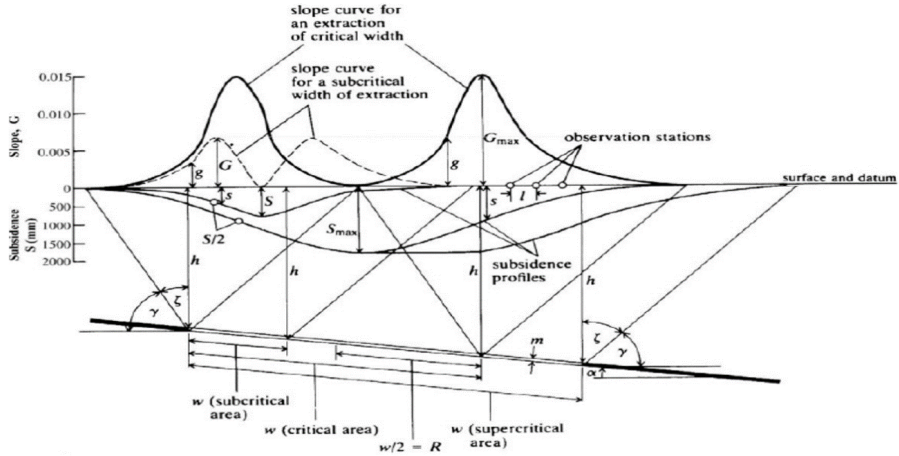


Figure 6. Typical section through workings, illustrating standard symbols for subsidence and slope (Brady and Brown, 2005)

4.1 Prediction of Subsidence

Magnitude of predicted subsidence is calculated based on the complex equation as follows:

$$S\,(x,s) = \frac{S_{max}}{r}\int_{x1}^{x2} S_0(x)exp\left[-\pi\frac{(x-s)^2}{r^2}\right]dx$$

The factors that influence subsidence behavior include, but are not limited to; overburden depth, makeup of overlying geologic strata, coal seam thickness, longwall panel geometry (width, length, etc.).

5. PLANNING OF LONGWALL PANELS FOR TURGUT BASIN COAL MEASURES

A total of twenty-four longwall panels for coal extraction were planned in the area of 1 800 000 m^2 shown in Figure 7. Longwall panels were dimensioned to be 500 m long and 150 m wide (length of the longwall). No backfilling will be applied after the extraction of the coal. Longer axes of the panels were aligned with E-W direction, so that coal pillars could be designed along N-S. Hence, the pipe network for the irrigation of the plain could be installed aligned with the pillar line without being subject to any damage that may occur owing to the subsidence. Subsidence analyses were realized in configured area (Figure 7) leaving coal pillars of several widths, (20 m, 30 m and 40 m) using SDPS software. The minimum coal pillar with a width of 30 m yielded the least subsidence on the ground level.

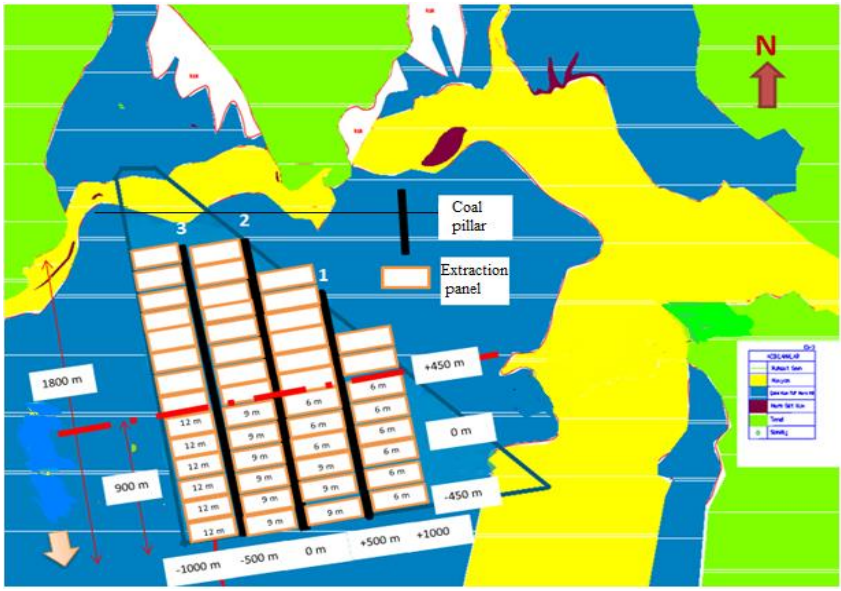


Figure 7. Planning of coal extraction panels and panel dimensions

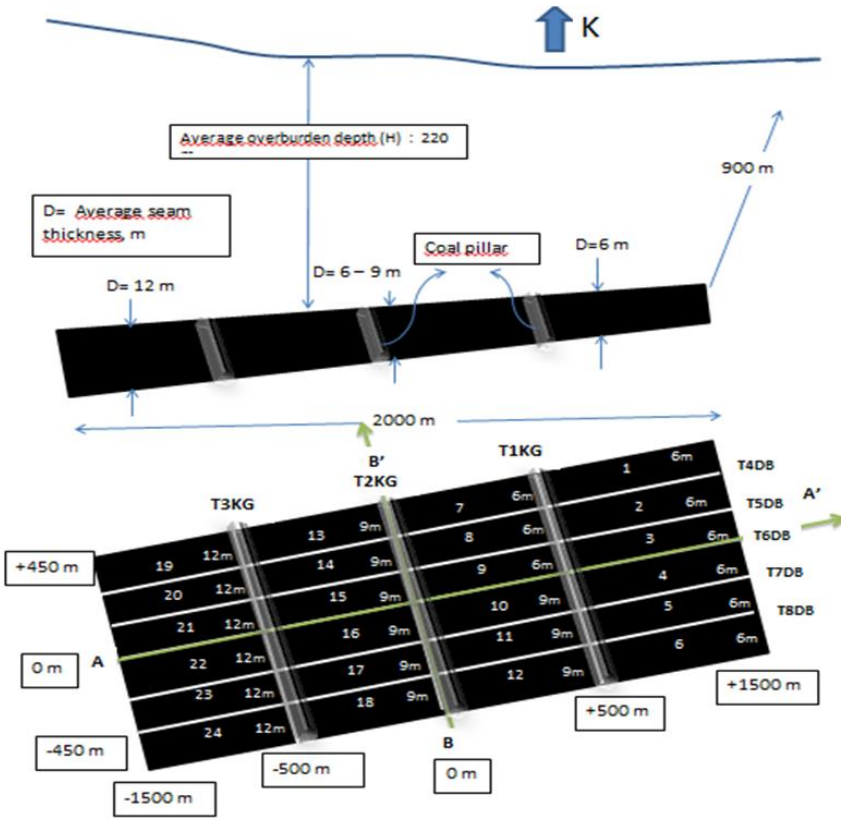


Figure 8. Plan view and cross-sections of coal extraction panels and average coal seam thicknesses

6. NATURAL TOPOGRAPHY (PRE-SUBSIDENCE) AND PREDICTIONS OF PROBABLE TOPOGRAPHY (POST-SUBSIDENCE) FOR TURGUT COAL MEASURES

Results of the subsidence analyses for the coal extraction panels formed based on thickness of the coal seam are shown in Figures 9, 10 and 11 as natural topography (pre-extraction/subsidence) and probable topography (post-extraction/subsidence). In the evaluations, natural topography E-W (Section A-A ') and N-S (Section B-B') directional sections were extracted while the current topography of the region was given with GoogleEarth image.

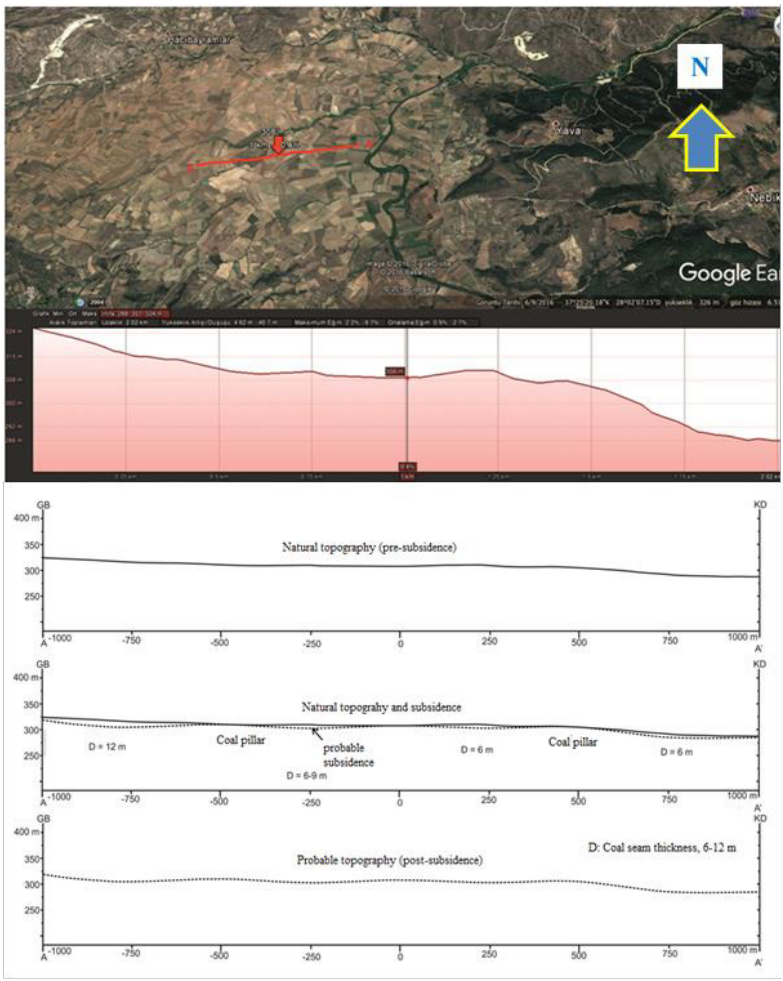


Figure 9. Natural topography in the E-W direction showing the site's Google Earth image, the trajectory of subsidence depending on the coal seam thickness, and the probable topography that will evolve after the subsidence

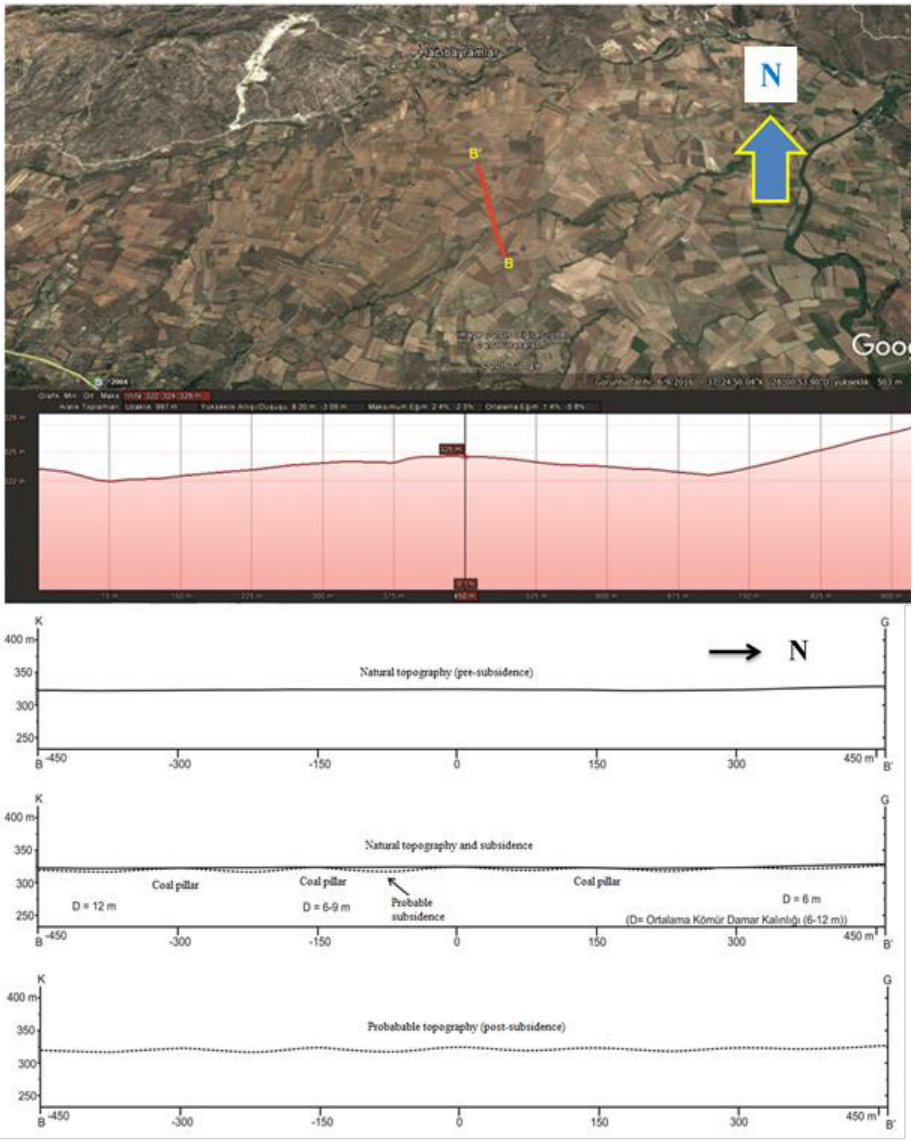


Figure 10. Natural topography in the N-S direction showing the site's Google Earth image, the trajectory of subsidence depending on the coal seam thickness, and the probable topography that will evolve after the subsidence

Variable coal thicknesses (6-12 m) were processed under topography. It is obvious that there is an increase in the subsidence from north to southwest depending on the increase in the coal thickness. However, the results obtained from the analyses suggest that no subsidence will occur on the coal pillars of 30 m width left between the panels.

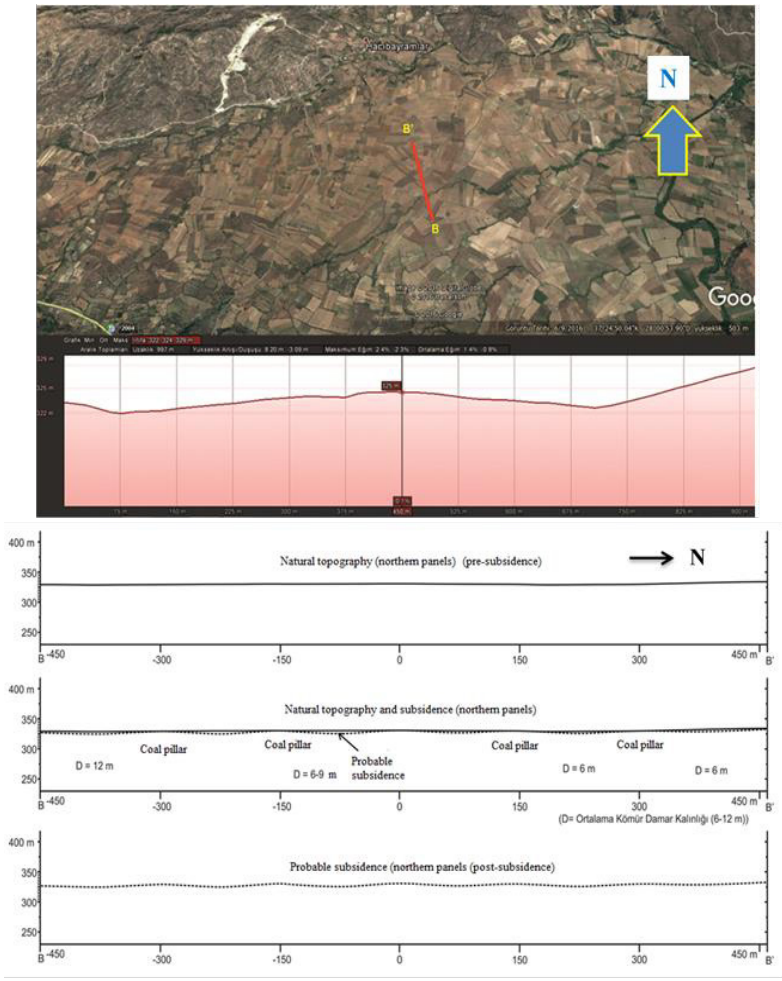


Figure 11. Natural topography in the N-S direction showing the site's Google Earth image, the trajectory of subsidence depending on the coal seam thickness, and the probable topography that will evolve after the subsidence.

7. CONCLUSION

As a result of underground mining operations with no backfilling, 'subsidence', which is called 'collapse' or 'seating', can occur naturally also owing to underground water movement and geological disasters and can damage surface structures and infrastructure from time to time. The amount of subsidence resulting from underground mining operations can be estimated as a result of some analytical and numerical analyses.

Average uniaxial compressive strength of the host rock in the basin was determined as 3-7 MPa and classified as a weak rock. Hence, the subsidence after the extraction of coal seam is expected to be 60-70% of the coal seam thickness.

In this study, subsidence analysis was carried out using SDPS (Surface Deformation Prediction System) software according to the panel plan shown in Fig. 7, in which panel width (W) and length (L) were determined as 150 m and 500 m, respectively. The ratio, W / H = 0.7 is determined to be below the critical value of 1.2 (W / H = 1.2). At the eastern end of the panels where the average thickness of the coal seam is about 6 m (D = 6 m), nearly a maximum of 3.5 m of subsidence is anticipated to occur in this area, except above the 30 m wide coal pillar (T1KG) left to prevent subsidence (Figure 8). In the mid-section of the area, average coal seam thickness varies between 6-9 m (D = 6-9 m). In this section, a maximum subsidence of 5 m is expected to occur except above the coal pillar (T2KG) (Figure 8). In the western part where the coal seam thickness is near 12 m (D = 12 m), nearly 7.5 m of subsidence is predicted, however, above the coal pillars slight subsidence of maximum 0.5 m may be observed near the western border of extraction panels (Figure 8). The subsidence values over the coal pillars of 10 m wide in E-W direction were less than 0.3 m and negligible.

When the drillhole data and the data obtained from previous studies are examined, it is observed that clay units bear low strength tend to display ductile deformation feature. Loose clay, sandy, silty and pebbly units are mostly over the lignite levels. It can be envisaged that these units will have a controlled subsidence that will gradually develop over the time, instead of sudden deformations that will cause catastrophic subsidence. Following the commencement of underground mining operations, it is important to monitor the movements through the displacement observation points to be created within the study area.

REFERENCES

Brady, BHG., Brown ET., 2005. Rock Mechanics for Underground Mining, 3rd Edition, Kluwer Academic Publishes.

Coulthard, M.A., Dutton, A.J., 1988. Numerical modelling of subsidence induced by underground coal mining. In: Proceedings of the 29th US Symposium: Key Questions in Rock Mechanics. Rotterdam: A.A. Balkema.

Coulthard, M.A., Holt, G.E., 2008. Numerical modelling of mining near and beneath tailings dam. In: Proceedings of the 1st Southern Hemisphere International Rock Mechanics Symposium. Perth, Australian: Australian Centre for Geomechanics; 341-354.

Esterhuizen, E., Mark, C., Murphy, M., 2010. Numerical model calibration for simulating coal pillars, gob and overburden response. In: Proceedings of the 29th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, WV.

Ewy, R.T., Hood, M., 1984. Surface strain over longwall coal mines: its relation to the subsidence trough curvature and to surface topography. Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr 21(3):155–60.

Guo, W., Xu, F., 2016. Numerical simulation of overburden and surface movements for Wongawilli strip pillar mining. Int J Min Sci Technol 26(1):71–6.

Gürsoy, E.M., Ünal, D., Tan, T., Sun, S., Karahan, Ç., Aydın, H., Ertürk, İ., Özen, G., Ertok, E., 1993. Kömür Envanteri. MTA Ege Bölge Müdürlüğü, 182 s.

Karabacak, V. 2016. Seismic damage in the Lagina Sacred Area on the Mugla Fault: A key point for the understanding of the obliquely situated faults of western Anatolia, Journal of Seismology, 20:277–289, doi: 10.1007/s10950-015-9526-8.

Kay, D.R., McNabb, K.E., Carter, J.P., 1991. Numerical modelling of mine subsidence at Angus Place Colliery. In: Beer G, Booker JR, Carter JP, editors. Computer methods and advances in geomechanics. Rotterdam: A.A. Balkema.

Lloyd, P.W., Mohammad, N., Reddish, D.J., 1997. Surface subsidence prediction techniques for UK coalfields e an innovative numerical modelling approach. In: Proceedings of the 15th Mining Conference of Turkey; p.111-124.

MTA, 1993. Türkiye Kömür Envanteri, 356 s.

MTA, 2002. 1/25.000 ölçekli sayısallaştırılmış genel jeoloji haritaları.

MTA, 2010. Türkiye Linyit Envanteri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Envanter Serisi-202, 371 s.

Mohammad, N., Lloyd, P.W., Reddish, D.J., 1998. Application of a UK subsidence numerical modelling methodology to some Australian case studies. In: Proceedings of the 4th Triennual Conference on Building and Structures Subject to Ground Movements.

Nakoman, E., İnaner, H. 1996. Turgut, Bayır ve Karacahisar Linyit Çökellerinin Ekonomik Değerlendirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Araştırma Fonu Projesi, 107 s.

Peng, S.S., 2015. Topical areas of research needs in ground control–a state of the art review on coal mine ground control. Int J Min Sci Technol, 25(1):1–6.

Sheorey, P.R., Loui, J.P., Singh, K.B., Singh, S.K., 2000. Ground subsidence observations and a modified influence function method for complete subsidence prediction. Int J Rock Mech Min Sci 37(5):801–18.

Singh, R.P., Yadav, R.N., 1995. Prediction of subsidence due to coal mining in Raniganj coalfield, West Bengal, India. Eng Geol, 39(1):103–11.

Wagner, H., Schümann, E.H.R., 1991. Surface effects of total coal-seam extraction by underground mining methods. J SAIMM 91(7): 221–31.

Whateley, M.K.G., İnaner, H., Nakoman, E., Mulcahy, S., 1997. Comparison of classical and geostatistical methods for coal resource estimation in the Turgut Deposits, Muğla-Yatağan, SW Turkey. European Coal Geology, Proceeding 3rd European Coal Conference (Ed. Nakoman, E.), İzmir-1997 (basım tarihi-1999), 559-572.

YENİCEKÖY (EMET-KÜTAHYA) YÖRESİNDEKİ TRAVERTEN SAHASINDA HİDROTERMAL ALTERASYON OLUŞUMUNUN JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

GEOCHEMICAL PROPERTIES OF THE HYDROTHERMAL ALTERATION IN TRAVERTINE IN YENİCEKÖY (EMET-KÜTAHYA) AREA

Yaşar KİBİCİ*, Hüseyin KARAKUŞ, Gürsel YANIK, Cafer ÖZKUL, Mehmet DEMİRBİLEK, İrem AKSOY, Enes ZENGİN, Nilgün DOĞAN

Dumlupınar Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: ykibici@gmail.com, yasar.kibici@dpu.edu.tr

ÖZET: Emet (Kütahya) Neojen baseni Tavşanlı zonu ile ilişkilidir. K-G doğrultusunda uzanan Emet (Kütahya) Baseni graben şeklinde olup, Batı Anadolu'daki Neojen basenlerine çok benzerlik göstermektedir. İnceleme alanının tabanında Paleozoik yaşlı Menderes Masifi kayaçları ile Eğrigöz graniti yer alır. Traverten oluşumları Emet grabeninde kırık ve fay düzlemlerini izleyerek yüzeye çıkan sıcak sulara bağlı olarak gelişmektedir. N-S doğrultusunda uzanan Emet fayı yaklaşık 15 km. uzunluğundadır.

İnceleme alanında Yeniceköy (Emet) hidrotermal alterasyon 3 farklı seviyede oluşur. Tabandaki birinci seviyede değişik renklerde (sarı, beyaz, turuncu, kırmızı, yeşilimsi, pembe vb.) travertenler yer alır. Travertenlerin hidrotermal akışkanlardan etkilendiği ve iz element açısından zenginleştiği görülmektedir. Söz konusu alterasyon seviyesinden sonra oluşan üçüncü seviyedeki güncel ve daha genç olan travertenler genel anlamda tufa-traverten şeklindedir. Bu oluşumların birinci ve ikinci seviyeler ile hiç bir benzerliği görülmemektedir.

Sr ve Ba değerleri Yeniceköy hidrotermal alterasyon alanlarında yüksek değerlere ulaşmaktadır. Rb ve Sr elementleri volkaniklerin ve kireçtaşının yıkanmasıyla ortama gelmiştir. As, W, Th, U elementleri çevredeki volkanik kaynaktan gelen zenginleşmesi sonucu ortamda bulunmaktadır. Diğer elementler ise çevre kayalardan alterasyon alanına taşınmıştır. Özellikle B, As ve S'ün tersiyer volkanitlerinden sıcak

sularla çökelme ortamına taşınmışlardır. Volkanik küllerin doğrudan boratlı havzada çökelmesiyle ortama taşındıkları da kabul edilmektedir. Yeniceköy yöresindeki travertenlerde ve hidrotermel alterasyon alanlarındaki As yüksek değerlerdedir. Bu değer, Emet-Hisarcık yöresindeki kolemanit ($Ca_2B_6O_{10}.5H_2O$) yataklarındaki orpiment (As_2S_3) ve realgar (AsS) minerallerinin çözünmesiyle ortamda zenginleşmiş olabilir. Yüksek arsenik değerleri çevredeki içme sularını da önemli derecede etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler: Tavşanlı zonu, Yeniceköy, Hidrotermal alterasyon, Arsenik, Emet fayı

ABSTRACT: *The Emet (Kütahya) Neogene basin is related to the Tavşanlı zone. The Emet Basin extends in the north–south direction forming a graben type structure which is common structures of Western Anotolia. The basement of the investigation area consists of Paleozoic metamorphic rocks of Menderes Massif and Paleocene Egrigöz granites. The Neogene lacustrine sediments unconformably overlie the Pre-Neogene basement rocks. Travertine deposits developed along the stream lines that follow fault and fracture systems in the Emet graben. The north - south trending Emet fault, is ~ 15 km long.*

Yeniceköy (Emet) hydrothermal alteration occured in three different levels in the investigated area. There are different kind of travertine in different colors, such as; yellow, white, orange, red, greenish, pink, etc. at the first level. It is seen that these travertines were influenced by hydrothermal fluids and enriched by trace elements. In general, the younger travertines at the third level occurred as the tufa-travertine form after this second alteration level. These occurrences have no similarity with the first and second levels. Both chemical analysis and microscobic evaluations indicate completely different from the other levels.

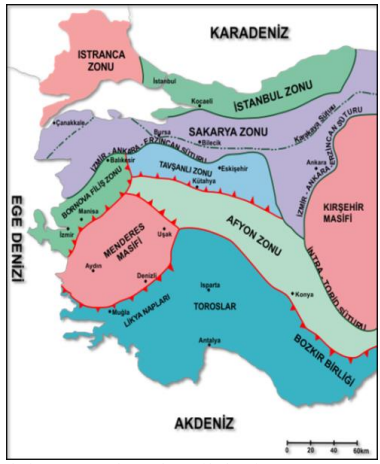
The values of Sr and B reach high degrees in Yeniceköy hydrothermal alteration area. The elements Rb and Sr were dissolved by the weathering of volcanics and limestones. The elements of As, W, Th, U are present in this palaeoenvironment due to the enrichment of the solution from the volcanic source. Especially B, As and S have been transported from the tertiary volcanic rocks to the sedimentation area by hot waters. It is also accepted that the volcanic ashes were deposited directly in the borate basin. As is represented by high values in the travertines and hydrothermal alteration areas. This value may be enriched by dissolution of orpiment (As_2S_3) and realgar (AsS)

minerals in colemanite ($Ca_2B_6O_{10}.5H_2O$) deposits in Emet-Hisarcık area. High arsenic values also significantly affect the drinking water in the surrounding area.

Keywords: *Tavşanlı zone, Yeniceköy, Hydrothermal alteration, Arsenic, Emet fault*

1. GİRİŞ

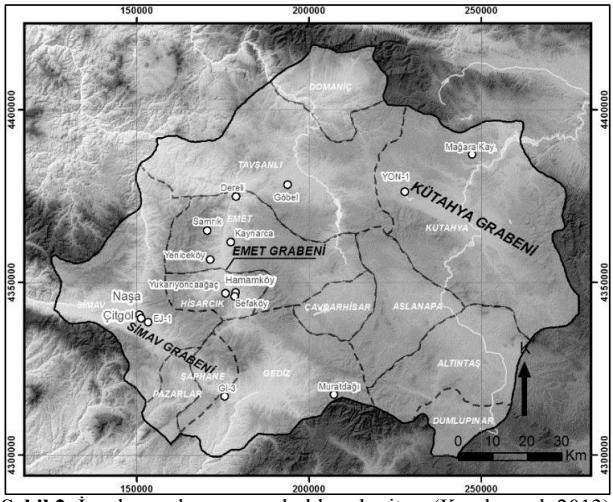
İnceleme alanı, Kuzeyde Tavşanlı Zonu, Güneyde Afyon Zonu, Güneybatıda Menderes Masifi ile ilişkilidir (Şekil. 1). İnceleme alanında K-G doğrultulu Emet fayı boyunca oluşan Kuvaterner (güncel) yaşlı traverten ve tufa oluşumları gözlenir. Emet - Hisarcık (Kütahya) arasında yer alan ve Emet Grabenini sınırlayan yaklaşık Emet fayının kenar kısımları jeotermal enerji ve traverten oluşumu açısından önemi çok büyüktür. Kütahya ili içindeki jeotermal sahaların dağılımı dikkate alındığında, bu sahaların Simav, Kütahya ve Emet grabenlerinde yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 2).



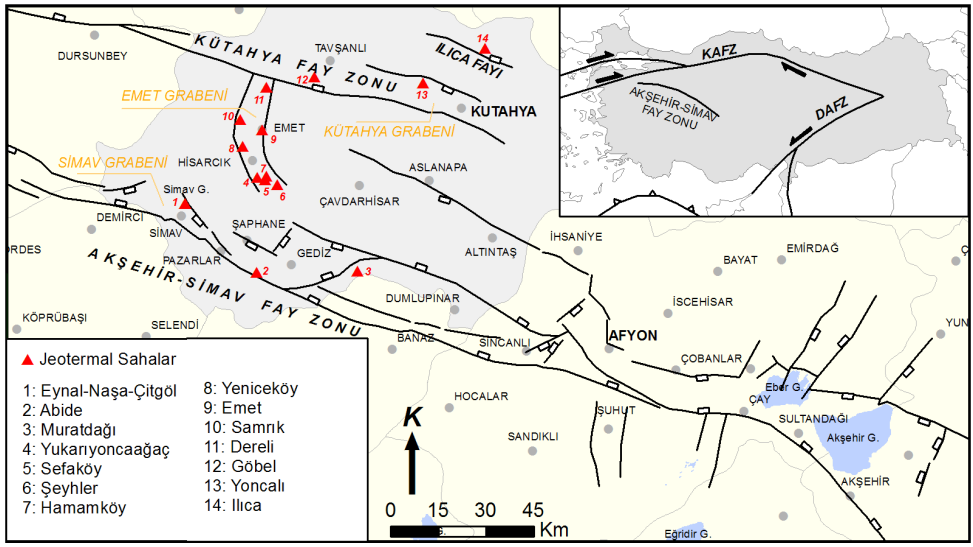
Şekil 1. Batı Anadolu'nun Paleotektonik haritası (*Göncüoğlu ve diğ., 1992*)

İnceleme alanı içindeki jeotermal sahalar ile bu sistemlere bağlı olarak oluşan traverten sahaları KB-GD uzanımlı *Akşehir-Simav Fay Zonu'na* (ASFS) ait yapısal unsurlar denetiminde gelişmiştir (Şekil. 3). Bu çalışma ile Emet-Hisarcık (Kütahya) yöresi travertenlerinin jeoloji ile bu jeolojik yapı içerisinde yer alan hidrotermal alterasyon alanlarının ve özellikle jeokimyasını açıklamayı amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda inceleme alanı ve yakın çevresinde, Bu makalede, travertenlerin oluşumu, mineralojik - petrografik ve jeokimyasal özellikleri ile bölgedeki hidrotemal alterasyonun etkin olduğu bölge üzerindeki değişikler detayına araştırılmıştır.

Çalışmanın bütünü Bilimsel Araştırma Projesi (*BAP, 2012-10*) kapsamında desteklenmiştir.



Şekil 2. İnceleme alanının yer bulduru haritası (Karakuş vd. 2013)



Şekil 3. Kütahya ili içinde yer alan fay sistemleri ve jeotermal sahaların dağılımı (Koçyiğit vd., 2002)

Kimyasal analizleri yapılan hidrotermal alterasyon örneklerinde; major oksitlerin ve özellikle de nadir toprak/iz elementler (REE) davranışı ele alınarak bölgenin hem volkanik hem de jeotermal etkinliği ortaya konmuştur. Bu olgulara bağlı olarak ta inceleme alanının jeokimyasal olarak evrimi irdelenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

Kütahya ilinin Emet ilçesinin güney ve güneybatısında, Emet grabeninin batı kısmında yaklaşık N-S doğrultulu kenar fayı boyunca yer alan ve termal kaynakların oluşumuyla ilişkili travertenlerle söz konusu travertenlerin yakın çevresinde oluşan hidrotermal alterasyon oluşumları ile ilgili araştırmalar çalışmanın ana materyalini oluşturur. Kütahya ili sınırları içerisindeki bulunan ve yaklaşık yüz ölçümü yaklaşık 10 km^2 olan inceleme alanı; 1/25000 ölçekli Kütahya J 22 - a_2, Kütahya J 22 - b_1, J 22 - a_3, J22 - b_4, J22 - d_2, J22 – c_1 paftalarında yer alan Emet, Hisarcık ilçeleri ve yakın çevresindedir. İnceleme sahası oldukça engebeli olup Emet ilçesinde rakım 850 metre civarındadır.

2.2 Yöntem

Bu araştırmanın gerçekleştirilmesinde, literatür incelemesi, arazi çalışması, laboratuvar çalışması, yorumlama ve proje yazımı olmak üzere başlıca 4 bölümden oluşan bir çalışma düzeni izlenmiştir.

2.2.1 Literatür araştırması

İnceleme alanı ve yakın çevresi ile ilgili olarak daha önce gerçekleştirilmiş olan çalışmaların ayrıntılı literatür taraması yapılmış, elde edilen bulgular önceki çalışmalarda kısaca açıklanmış ve yararlanılan kaynaklarda da verilmiştir.

2.2.2 Saha çalışmaları

İnceleme alanında yayılım gösteren Neojen sedimanları ile yine bölgede etkin olan magmatizma (plütonizma ve volkanizma) ve Kuvaterner (özellikle traverten) birimlerinin litolojik, yapısal ve ortamsal özellikleri incelenmiş, birbirleriyle olan dokanak ilişkileri araştırılmıştır. Özellikle de; hidrotermal alterasyon alanları detayına incelenmiş ve en tipik olan ve kesit veren Yeniceköy hidrotermal alterasyon alanından sistematik olarak örnekleme yapılmıştır.

2.2.3 Laboratuvar çalışmaları

İnceleme alanından; özellikle hidrotermal alterasyon alanlarından alınan el örneklerinin mineralojik ve petrografik incelemeleri polarizan mikroskop kullanılarak belirlenmiş ve

gerekli görülen ince kesit örnekleri fotoğraflanmıştır. Ancak bu çalışmada fotoğraflara yer verilmemiştir.

2.2.4 Yorumlama ve makale yazımı

Bu aşamada, önceki çalışmalar esas alınarak daha önceki jeoloji haritaları çok az değişiklikle temel jeoloji haritası yeniden çizilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında elde edilen tüm veriler ile laboratuvarlarda sağlanan bilimsel veriler beraberce yorumlanmış, açıklayıcı tablo, şekil, diyagram ve arazi fotoları ile desteklenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Travertenlerin Oluşumu ve Kökeni

Traverten oluşumunda belirlenen asikuler lifsi, prizmatik kalsit kristallerinin tane şekli, boyutu ve çökelim miktarı; çökelim esnasındaki su sıcaklığı, çözelti içerisindeki kalsiyum, karbondioksit oranı, hidrostatik basınç, topoğrafya, mikro organizma etkinliği ve iklim koşulları ile kontrol edilmiştir (Holland & Malinin 1979).

Yaz mevsiminde, hidrostatik basıncın daha az olduğu ve suyun ortama az geldiği dönemlerde ince taneli, asiküler lifsi kalsit kristalleri çökelmiştir (Kökçü, 2007). Kış mevsiminde artan su seviyesi ve hidrostastik basınca bağlı olarak yaz döneminde çökelen ince kalsit kristalleri çözünmüştür. inceleme alanında kış mevsiminde ince kalsit kristallerinin çözünmesi sonucu Ca'ca zenginleşen sular, iri taneli duraylı kalsit kristallerinin çökelimini sağlamıştır.

Traverten oluşumuna etki eden diğer bir faktör ise topoğrafyadır (Guo & Riding 1998). Eğimi fazla olan yüzeylerde CO_2 kaybı daha fazla olmakta, su daha fazla mesafelere taşınmakta ve daha az kalsiyum karbonat çökelimi gerçekleşmektedir. Eğimi az olan yüzeylerde ise CO_2 kaybı daha az olmakta ve dolayısıyla bakteri etkinliğinin artışına bağlı olarak daha fazla kalsiyum karbonat çökelmektedir. Çünkü traverten çökelme sürecinde mikro organizmaların denetimi oldukça etkilidir (Kökçü, 2007).

İnceleme alanında traverten oluşumunun yaygın olduğu travertenler için gerekli iyonlar; fay ve çatlaklar boyunca yükselen ve temele ait karbonatlı kayaçlardan sağlanan kalsiyumca zengin sıcak su kaynaklarından sağlanmıştır. Söz konusu sular, gerek karbonatlı kayaçların (özellikle travertenlerin), gerekse çevre kayaçların belirli kesimlerinde değişik seviye ve kalınlıkta alterasyon zonları da oluşturmaktadır.

Özellikle inceleme alanı sınırları içinde yer alan Yeniceköy alanı tipik bir ayrışma örneği göstermektedir.

3.2 Travertenlerin Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

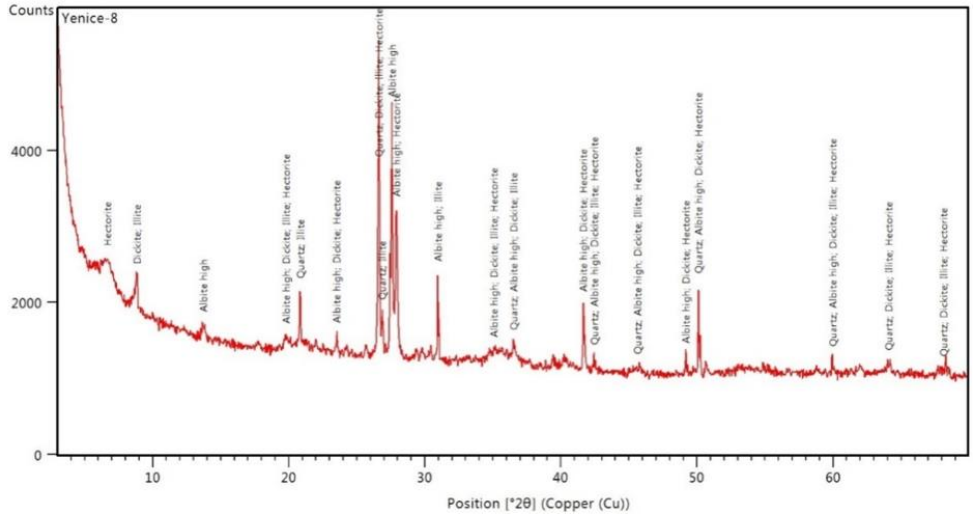
İnceleme alanında yüzeylenen traverten örneklerinden yapılan incekesitler Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında polarizan mikroskopta incelenmiş ve fotoğraflanarak farklı koşul ve zaman dilimi içnde oluşan travertenlerin mineralojik bileşimleri ve dokusal özellikleri ortaya konmuştur. Bu makalede, sadece jeokimyasal özellikler odaklanmak adına, mineralojik ve petrografik özelliklere değinilmemiştir.

3.3 XRD Çalışmaları

İnceleme alanından alınan kayaç ve kil örnekleri önce Retsch Agate Mortar Grinder RM 200 markalı öğütücüde tane boyutu 63 µm olacak şekilde öğütülmüş sonar halka tipi örnek tutucuya konmuştur. Örneklerin mineralojik analizlerinde PANalytical Empyrean marka X-ışınları difraktometresi (XRD) kullanılmıştır. XRD de yapılan çekimler tüm kayaca ve kil fraksiyonuna ait olmak üzere iki kısımda çekilmiştir. Kil fraksiyonunun belirlenebilmesi için yapılan çekimler üç farklı standart ve şartta uygulanmıştır. Yapılan bütün bu çekimler sonucunda, çalışma alanlarındaki kil dışı mineraller olarak; *kuvars, sodyumlu feldspat* (albit), *karbona*t (kalsit), *mika* (muskovit, biyotit, serisit, flogopit), *demir mineralleri* (hematit, götit) ve az oranda *fluorit, silvite* ve *rutil* ile beraber kil mineralleri olarak; illit, montmorillonit, hektorit, dikit ve kaolinit belirlenmiştir (Çizelge 1). Kil fraksiyonuna ait örneklerin X-ışınları (normal) çekimlerinde simektit (*montmorillonit, hektorit*), illit ve kaolen (*kaolinit ve dikit*) gruplarına ait kil mineralleri de gözlenmiştir (Şekil 4).

Çizelge 1. Hidrotermal alterasyona uğramış örneklerinin XRD sonuçları ile alterasyon tipleri ve sıcaklıkları arasındaki ilişki

Saha Adı	Örnek 1	%	Örnek 2	%	Örnek 3	%	Alterasyon tipi	Sıcaklık (°C)
Yeniceköy	Biyotit	39	İllit	83	Kalsit	50	Serizitik-Arjillik	150-200
	Albit	36	Kuvars	10	Montmor.	28		
	Kuvars	16	Hematit	3	Opal-CT	22		
	Kalsit	6	Kaolinit	3				
	Dikit	3	Montmor.	1				



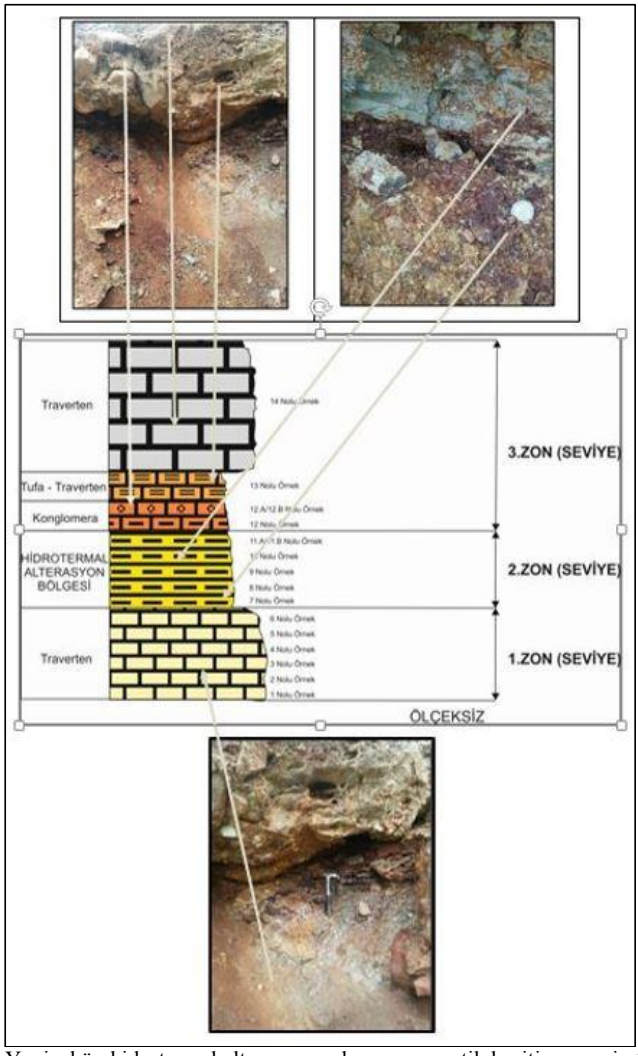
Şekil 4. Yeniceköy yakınında Yeniceköy hidrotermal alanındaki traverten örneğinden çekilen XRD görüntüsü (*Örnek no: Yenice 8.1*)

3.2.3 Jeokimya

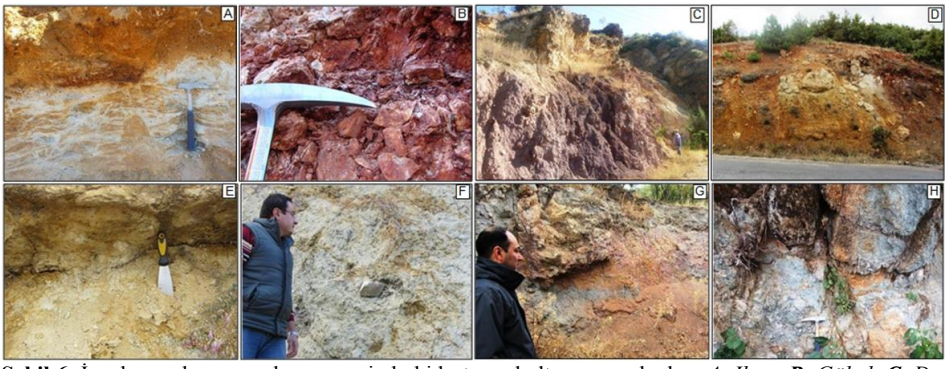
Yeniceköy hidrotermal alterasyon sahasında alınan arazi kesitinde 3 farklı seviyenin (zonu) yer aldığı, alt seviyelerde ki değişik renklerde (sarı, beyaz, turuncu, kırmızı, yeşilimsi, pembe vb.) travertenlerin hidrotermal solüsyonlardan etkilendiği, nadir toprak element (REE) ve iz (trace) element açısından zenginleştiği görülmektedir (Kibici, 2012, Doğan, 2015)

Hidrotermal alterasyonun en belirgin şekilde izlendiği ve kesitlerde görüleceği üzere; 2. Zonun (seviyenin) başlangıç noktasından itibaren (7 nolu örneğin alındığı seviyeden) başlayan kırmızı, bordo, yeşil, siyah renklerde ve bunların karmaşığı olan seviyelerde traverten özelliklerinin dışında alterasyon zonunu karakterize eden tüm majör oksit ve iz elementler bulunmaktadır. Bu alterasyon seviyesinden sonra oluşan güncel ve daha genç olan travertenler genel anlamda tufa-traverten şeklindedir. Bu oluşumların birinci ve ikinci seviyeler ile hiç bir benzerliği görülmemektedir. Gerek kimyasal analiz sonuçları gerekse mikroskobik değerlendirmeleri diğerlerinden farklıdır (Şekil 5).

İnceleme alanı ve yakın çevresinde Yeniceköy dışında; *Ilıca, Göbel, Dereli, Hamamköy, Sefaköy, Abide, Simav (Eynal) ve Muratdağı* gibi lokasyonlarda da hidrotemal alterasyona uğramış alanlar görmek mümkündür (Şekil 6).



Şekil 5. Yeniceköy hidrotermal alterasyon sahasının şematik kesiti ve arazi görünüşü



Şekil 6. İnceleme alanı ve yakın çevresinde hidrotermal alterasyon alanları ***A.*** *Ilıca,* ***B.*** *Göbel,* ***C.*** *Dereli,* ***D.*** *Hamamköy,* ***E.*** *Sefaköy,* ***F.*** *Abide,* ***G.*** *Simav (Eynal),* ***H.*** *Muratdağı*

Hidrotermal alterasyon alanında örnek alımı, alanın haritalanması, jeolojik kesitlerin çizilmesi ve kimyasal analizlerinin tamamlanmasından sonra yapılan jeokimyasal çalışmalarda değişik evrelerde oluşan travertenlerde ve hidrotermal ayrışmanın oluşumunun geliştiği yerlerdeki 16 adet örneğin kimyasal analizi yapılarak major oksit, nadir toprak elementleri (REE) ve iz (trace) element değerleri (ppm olarak) diyagramları çizilmiş ve yorumları yapılmıştır (Kibici, 2012, Doğan, 2015).

Kimyasal analizler ACME (Kanada) Analitik laboratuarlarında (ICP-MS) gerçekleştirilmiştir. Major oksit analiz değerleri Çizelge 2'de, nadir toprak elementleri (REE) ve iz (trace) element değerleri ise Çizelge 3A-B'te verilmiştir. Bu verilere göre; inceleme alanının jeokimyasal olarak değerlendirilmesi aşağıda yapılmıştır (Kibici, 2012, Doğan, 2015).

Hidrotermel alterasyonun yoğun şekilde izlendiği Yeniceköy yöresindeki travertenlerin tabanında yer alan Yenice. 1, 2, 3, 4, 5 ve Yenice 6 örneklerinde **SiO_2** miktarı % 2.80 - % 36.62 arasında değişmektedir. Genel anlamda hidrotermal alterasyondan etkilenmeyen alanlarda **SiO_2** miktarı % 0.01 - % 0.51 arasındadır. **Al_2O_3** miktarına bakıldığında; aynı SiO_2 miktarlarında olduğu gibi Yeniceköy yöresinde yüksek değerlerdedir. Söz konusu alandaki bu travertenlerin tabanında yer alan Yenice.1, 2, 3, 4, 5 ve Yenice 6 örneklerinde % 0.60 - % 12.57, değerine ulaşmaktadır. **Fe_2O_3** miktarı da yüksek değerlerde olup, % 0.88 - 3.81 arasındadır. Bu miktar diğer yörelerde (Boyut - Beştaş- Uyuzhamamı ve Sefaköy'de) düşük olup, bu değerler % 0.09 ila % 2. 15 arasında değişmekte, sadece Boyut traverten ocağında (Boyut 3 nolu örnek) **Fe_2O_3** miktarı % 27,07 dir. Bunun nedeni de, bu bölgenin kısmen hidrotermal alterasyondan etkilenmiş olmasıdır. Demir içeriğine rastlanan bazı örneklerin, hematit ve limonit açısından zengin olduğu görülmüştür. **CaO** miktarı; Yenice bölgesinde % 0.89 - % 55.69, arasındadır. Tüm traverten örneklerinde % **CaO** yüksektir. CaO, travertenin ana bileşenidir. Özellikle 3. bölgede maximum düzeyde olduğu görülmüştür. **MgO** miktarı % 0.09 - % 1.44 civarındadır. **LOI** (Ateşte Zayiat) ise; % 37.15 ila % 43.68 arasında değişmektedir (Kibici, 2012, Doğan, 2015), (Şekil 7a – 7b).

Çizelge 2. Yeniceköy hidrotermal alterasyon sahasındaki örneklerin major oksit analizi sonuçları

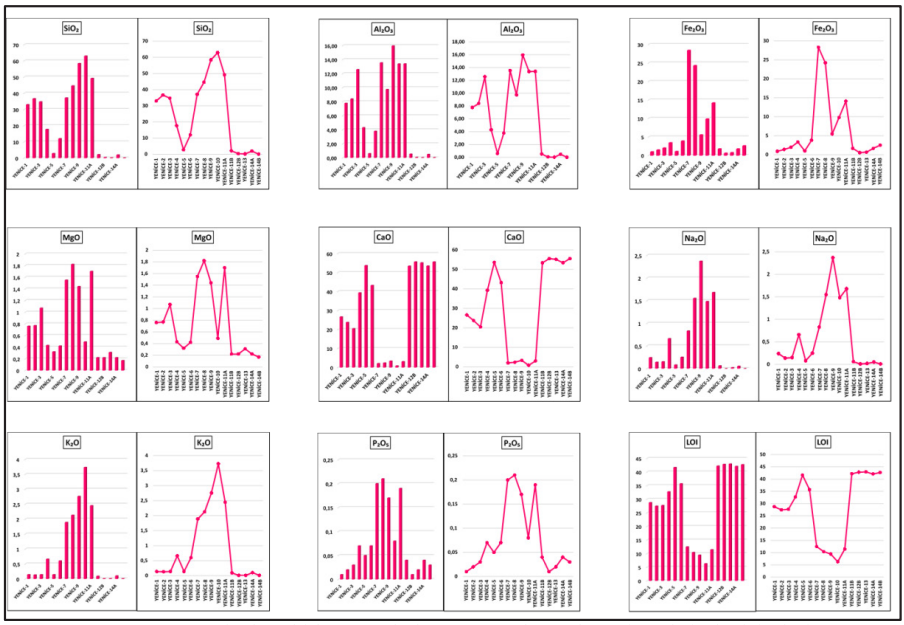
Method	4X	4X	4X	4X	4X	4X	4X	4X	4X	4X	4X	4X	4X	4X	2A Leco	2A Leco	4B	4B	4B	4B
Analyte	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	MnO	TiO_2	P_2O_5	Cr_2O_3	Ba	LOI	SUM	TOT/C	TOT/S	Ba	Be	Co	Cs
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm
MDL	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,001	0,01	-5,11	0,01	0,02	0,02	1	1	0,2	0,1
YENİCE-1	32,98	7,77	0,88	26,64	0,76	0,24	0,14	1,09	0,11	<0,01	<0,001	0,14	28,74	99,52	6,02	0,05	1552	2	2,8	18
YENİCE-2	36,62	8,39	1,39	23,73	0,77	0,14	0,13	0,87	0,12	0,02	<0,001	0,1	27,46	99,74	5,3	0,04	856	2	2,9	21,9
YENİCE-3	34,71	12,57	1,93	20,44	1,07	0,15	0,14	0,54	0,17	0,03	0,001	0,23	27,69	99,68	4,38	0,06	1912	<1	0,3	10,3
YENİCE-4	17,69	4,3	3,34	39,29	0,43	0,66	0,66	0,21	0,11	0,07	<0,001	0,07	32,72	99,56	8,69	0,11	626	10	2,8	24,2
YENİCE-5	2,8	0,6	0,99	53,65	0,32	0,08	0,14	0,13	<0,01	0,05	0,004	<0,01	41,65	100,44	11,4	0,19	38	6	0,7	2,9
YENİCE-6	11,97	3,79	3,81	43,2	0,42	0,25	0,6	0,24	0,15	0,07	0,003	0,07	35,69	100,28	9,48	0,1	689	4	1,6	44,5
YENİCE-7	37,12	13,54	28,33	2,04	1,55	0,83	1,89	0,09	0,51	0,2	0,014	0,05	12,47	98,64	0,29	0,03	639	54	8,1	143,9
YENİCE-8	44,58	9,74	24,22	2,35	1,82	1,55	2,13	0,38	0,27	0,21	0,011	0,2	10,42	97,89	0,32	0,06	2067	57	10,6	38
YENİCE-9	58,36	15,96	5,47	3,32	1,44	2,37	2,76	0,05	0,84	0,17	0,017	0,06	9,44	100,27	0,57	<0,02	559	6	8,6	97,2
YENİCE-10	62,93	13,38	9,79	0,79	0,49	1,48	3,73	0,13	0,21	0,08	0,005	0,08	6,28	99,39	0,11	<0,02	711	16	3,6	63,4
YENİCE-11A	49,16	13,39	14,12	3,06	1,7	1,68	2,45	0,41	0,59	0,19	0,015	0,07	11,43	98,27	0,52	0,04	719	24	7,6	88,6
YENİCE-11B	2,12	0,53	1,68	53,38	0,22	0,06	0,09	0,13	0,01	0,04	<0,001	<0,01	42,19	100,45	11,9	0,08	40	8	1,1	6,1
YENİCE-12B	0,35	0,06	0,52	55,59	0,22	<0,01	<0,01	0,12	<0,01	0,01	<0,001	<0,01	42,81	99,68	12	0,55	62	13	0,4	0,4
YENİCE-13	0,18	0,03	0,67	55,11	0,31	0,02	<0,01	0,09	<0,01	0,02	<0,001	<0,01	42,94	99,36	12	0,46	25	14	0,6	0,3
YENİCE-14A	1,92	0,49	1,67	53,43	0,22	0,05	0,1	0,13	<0,01	0,04	0,003	<0,01	42,07	100,12	11,8	0,08	44	14	1,7	6,4
YENİCE-14B	0,1	0,03	2,52	55,57	0,17	<0,01	<0,01	0,15	<0,01	0,03	0,003	<0,01	42,69	101,24	11,9	0,05	19	7	0,7	<0,1

Çizelge 3A. Yeniceköy hidrotermal alterasyon sahasındaki örneklerin iz (trace) ve nadir toprak elementleri (REE) analiz sonuçları

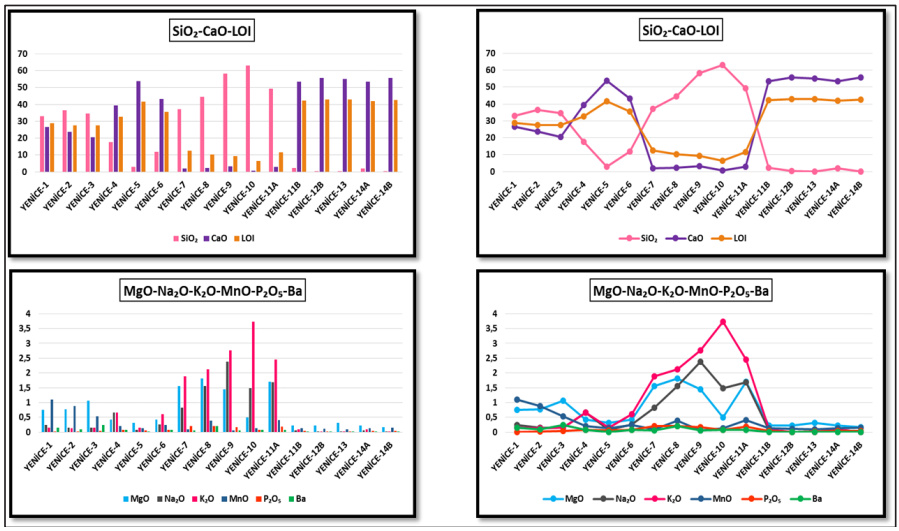
Method	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX
Analyte	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Cd	Sb	Bi	Ag	Au	Hg	Tl
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MDL	0,01	0,05	0,02	0,03	0,01	0,05	0,01	0,1	0,1	0,1	1	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,01	0,1
YENİCE-1	2,1	13,66	4,22	13,38	2,01	11,98	1,78	0,1	0,5	104,8	5	1	23,8	1	<0,1	0,2	<0,1	9,1	<0,01	<0,1
YENİCE-2	2,32	16,02	4,75	14,36	2,34	13,76	2,08	0,1	0,8	106,7	7	0,6	157,1	0,9	<0,1	0,3	<0,1	2,4	<0,01	<0,1
YENİCE-3	1,76	11,26	3,15	9,64	1,55	9,72	1,54	<0,1	2,2	71,1	7	1,6	162,3	0,6	<0,1	0,3	<0,1	0,6	<0,01	<0,1
YENİCE-4	0,36	2,12	0,59	1,76	0,27	1,97	0,32	0,7	12,2	46,4	23	10,5	1104,4	0,3	8,1	0,2	<0,1	1,8	0,02	<0,1
YENİCE-5	0,06	0,46	0,09	0,2	0,04	0,25	0,04	<0,1	3,9	8,7	9	2,8	262,4	0,1	0,7	<0,1	<0,1	1	<0,01	<0,1
YENİCE-6	0,44	2,84	0,73	2,07	0,32	2,13	0,36	0,7	13,5	34,5	32	9,8	742,5	0,4	12,2	0,3	<0,1	<0,5	0,03	<0,1
YENİCE-7	0,9	5,21	1,16	3,23	0,53	3,79	0,57	3,8	72	152,1	110	79	9874,6	0,1	42,9	1,2	<0,1	4,8	0,05	0,3
YENİCE-8	0,82	4,98	1,23	3,71	0,57	3,81	0,61	3,2	70,3	133	78	36,3	>10000	0,1	23,8	0,8	0,2	24,8	0,06	0,1
YENİCE-9	1,17	6,6	1,46	4,31	0,68	4,46	0,71	0,3	58,8	142,2	128	29,8	843,9	<0,1	0,8	1,9	0,2	4,5	0,02	0,4
YENİCE-10	0,51	2,85	0,6	1,91	0,32	1,85	0,27	2,1	63,3	48,5	44	36,4	3507,3	<0,1	19,1	1,2	<0,1	2,6	0,05	0,2
YENİCE-11A	1,11	5,99	1,55	4,41	0,7	4,49	0,68	2,4	98,3	136,2	117	38,4	>10000	<0,1	6,8	1,4	<0,1	19,6	0,02	0,3
YENİCE-11B	0,03	0,19	0,07	0,16	0,03	0,18	0,02	0,3	1,2	2,7	11	2,3	814,3	<0,1	3,8	<0,1	<0,1	1,9	<0,01	<0,1
YENİCE-12B	0,04	0,25	0,09	0,2	0,04	0,22	0,03	0,1	0,5	1,2	8	1,3	409,5	<0,1	0,3	<0,1	<0,1	1,1	<0,01	<0,1
YENİCE-13	0,03	0,23	0,07	0,18	0,03	0,13	0,02	0,1	0,4	1	5	<0,1	445,6	<0,1	0,4	<0,1	<0,1	<0,5	<0,01	<0,1
YENİCE-14A	0,04	0,28	0,07	0,26	0,03	0,19	0,03	0,4	0,2	8,8	10	1,7	800,8	<0,1	3,8	<0,1	<0,1	1	0,01	<0,1
YENİCE-14B	0,01	0,06	0,04	0,1	0,01	0,08	0,01	0,9	0,6	0,6	8	1	908,5	<0,1	5,4	<0,1	<0,1	0,7	<0,01	<0,1

Çizelge 3B. Yeniceköy hidrotermal alterasyon sahasındaki örneklerin iz (trace) ve nadir toprak elementleri (REE) analiz sonuçları

Method	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX
Method	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B
Analyte	Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MDL	0,5	0,1	0,1	0,1	1	0,5	0,1	0,2	0,1	8	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,02	0,3	0,05	0,02	0,05
YENİCE-1	8,8	3,3	10,1	11,3	2	492,1	0,6	17,1	2,4	16	3,2	111,1	176,7	79,1	98,7	9,42	36,9	6,43	1,43	10,34
YENİCE-2	9,6	3	10,7	11,1	2	461,3	0,7	19,5	2,1	16	3,8	127,4	168,3	96,4	128	12,15	41,8	7,6	1,69	11,43
YENİCE-3	14	4,5	15	8,6	3	463,3	1	29,3	3,2	14	7,3	151,6	102,5	95	142	13,61	45,3	8,23	1,6	9,08
YENİCE-4	5,7	1,9	4,9	34,1	4	449	0,4	7	1,4	31	54,3	73,5	19,5	16,3	27	2,8	10	1,67	0,37	1,86
YENİCE-5	1,2	0,5	0,5	6,1	<1	645,4	<0,1	0,8	0,4	11	4,4	17,6	2,7	2,2	4,4	0,43	1,4	0,26	0,06	0,3
YENİCE-6	5,1	1	5,3	42,6	1	369,5	0,4	7,5	0,7	33	47,4	54,7	21,8	13,2	24,4	2,59	9,3	1,92	0,43	2,45
YENİCE-7	19	4,5	19,3	136,5	6	189	1,5	28,2	3	140	363,1	189,5	27	42,3	86,6	8,07	26,9	5,58	0,87	5,17
YENİCE-8	11,1	4,5	9,5	87,3	3	275,1	0,9	14,3	3,8	75	209,2	190,4	32,1	30,2	58,2	5,87	20,9	4,18	0,77	4,65
YENİCE-9	20	7,4	24,2	159,2	12	210,3	2,3	27,6	5,2	82	22,4	267,7	37,2	47,5	90,6	9,78	31,7	6,9	1,17	6,84
YENİCE-10	15,1	2	8,7	147,3	3	128,8	0,9	17,1	1,5	67	155,4	80,3	14,5	23,3	44	4,57	16,2	3,11	0,64	2,99
YENİCE-11A	17,9	5,3	18,1	123,6	8	272,2	1,6	28	4,2	85	119,8	199,6	35,6	43,3	79,4	8,62	30,1	6,29	1,06	6,3
YENİCE-11B	1,6	0,3	0,3	6,2	<1	360,3	0,1	0,5	0,6	9	12,9	13	1,8	1,5	2,7	0,31	0,9	0,25	0,05	0,16
YENİCE-12B	<0,5	<0,1	<0,1	0,2	<1	1840,6	<0,1	<0,2	0,3	<8	1,4	0,6	3,1	0,4	0,6	0,05	<0,3	0,06	<0,02	0,17
YENİCE-13	<0,5	<0,1	<0,1	0,1	<1	1334,6	<0,1	<0,2	0,5	<8	4,1	1,5	1,9	0,2	0,3	<0,02	<0,3	<0,05	<0,02	0,12
YENİCE-14A	<0,5	0,3	0,5	6,1	<1	385	<0,1	0,9	0,8	<8	9,5	11,5	2,2	2,2	4,3	0,38	1,2	0,2	0,05	0,21
YENİCE-14B	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<1	316,7	<0,1	<0,2	0,3	<8	10,6	1,8	1,1	<0,1	0,3	<0,02	<0,3	<0,05	<0,02	<0,05



Şekil 7a. Yeniceköy hidrotermal alterasyon sahasında major oksit değişimleri



Şekil 7b. Yeniceköy hidrotermal alterasyon sahasında major oksit değerlerinin 1, 2 ve 3. seviyedeki (zondaki) değişim diyagramları

Travertenlerde ve hidrotermal alterasyon alanlarında jeokimyasal özelliklerin ortaya konulması için Sr, Si, Al, Fe, Mg, Na, Ti, K, Mn, P, Zn, Cu analizleri gerekmektedir. Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Ba, Pb elementleri volkanik kökenlidir. Hidrotermal alterasyonun merkezi durumunda olan Yeniceköy'de tüm iz element değerlerinde önemli artışlar görülmektedir.

Ba (ppm) ve **Sr** (ppm) değerleri hidrotermal alterasyonun yoğun olduğu Yeniceköy yöresinde artış göstermekte olup, işletme yapılan traverten alanları ile güncel travertenlerin oluştuğu Sefaköy ve Uyuzhamamı kesiminde çok düşük düzeylerdedir. Bu değerler, hidrotermal alterasyonu işaret etmektedir.

Aynı şekilde **Rb** (ppm) ve **As** (ppm) değerleri de Beştaş ve hidrotermal alterasyona sahip Yeniceköy'de artış göstermiş, güncel oluşumlara sahip Sefaköy, Uyuzhamamı yöresi ve işletme bulunan Boyut Mermer'de düşük değerlerde gözlenmiştir. **U** (ppm) değerinde ise, genel duruma bakıldığında çok az bir artış yaptığı gözlenmiştir (Kibici, 2012, Doğan, 2015)

Rb ve **Sr** elementleri volkaniklerin ve kireçtaşının yıkanmasıyla ortama gelmiştir. **As, W, Th, U** elementleri çevredeki volkanik kaynaktan gelen çözeltinin indirgeyici ortam koşullarında zenginleşmesi sonucu ortamda bulunmaktadır. Diğer elementler ise çevre kayalardan gelmiştir. Volkaniklerin alkali kalsik, peralümin karakterleri, yüksek **Rb, Th** ve **U** değerleri, özellikle yüksek bor içerikleri kabuksal katkıyı işaret etmektedir (Özkul vd., 2002, Özkul vd., 2013).

Özellikle Bor (**B**), Arsenik (**As**) ve Kükürt (**S**)'ün Tersiyer volkanitlerinden türeyerek sıcak sularla çökelme ortamına geldikleri ve/veya volkanik küllerin doğrudan boratlı havzada çökelmesiyle ortama taşındıkları kabul edilmektedir (Helvacı, 1986). Arsenik **(As)** miktarı 41.8 - 3407.6 ppm arasında olup, çok yüksek değerlerdedir. Bu yüksek değer, travertenlerde ve Yeniceköy yöresindeki hidrotermal alterasyon alanlarındaki Arsenik (**As**) artışı da bölgede geniş yayılım sunan ve önemli bir yatak olan Emet-Hisarcık yöresindeki kolemanit ($Ca_2B_6O_{10}.5H_2O$) yatakları ile bu yataklarda yer alan orpiment (As_2S_3) ve realgar (AsS) minerallerinin çözünmesi sonucu ortamda zenginleşmiş olabilir.

Yukarıda belirtilen bu elementlerin dışında; Emet – Hisarcık yöresi ve yakın çevresinde oluşan travertenler ile, kısmi olarak oluşan hidrotermal altersyon alanlarındaki ***ppm*** değerlerine göre, Bakır (**Cu)**, Kurşun (**Pb)**, Çinko (**Zn)**, Antimuan (**Sb)**, Altın (**Au)** , Gümüş (**Ag)** ve Civa (**Hg)**, Nikel (**Ni)**, Kobalt (**Co)**, Molibden (**Mo)** değerlerinde önemli artışlar söz konusudur (Çizelge 4).

Özellikle bazı nadir toprak elementler (REE) ve iz (trace) elementler çeşitli diyagramlara yerleştirildiğinde genel bir uyum içerisinde olduğu ve bu değerlerin artışlarında belirli bir kümeleştirme meydana getirdiği ve yüksek değerlere ulaştıkları

görülmüştür. Örneğin; (W, Zr,Y ppm), (La, Cu, Zn, Ni ppm), (Rb, V, Ce, Pb ppm), (Pr, Gd, Dy, Er, Yb ppm) gibi diyagramlarda bu sonuçlar gözlenmiştir (Şekil. 8a, b, c), (Çizelge 4, 5). Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Ba, Pb elementlerinin volkanik kaynaklı olması ve güncel travertenlerde de bunların belirli değerlerin üzerinde çıkması volkanizma sonucu oluşan kayaçların üzerinde hidrotermal alterasyon sonucu oluşumun etkin olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4. Emet – Hisarcık arasındaki traverten sahası örneklerinin karşılaştırmalı bazı iz (trace) ve nadir toprak elementleri (REE) analiz sonuçları

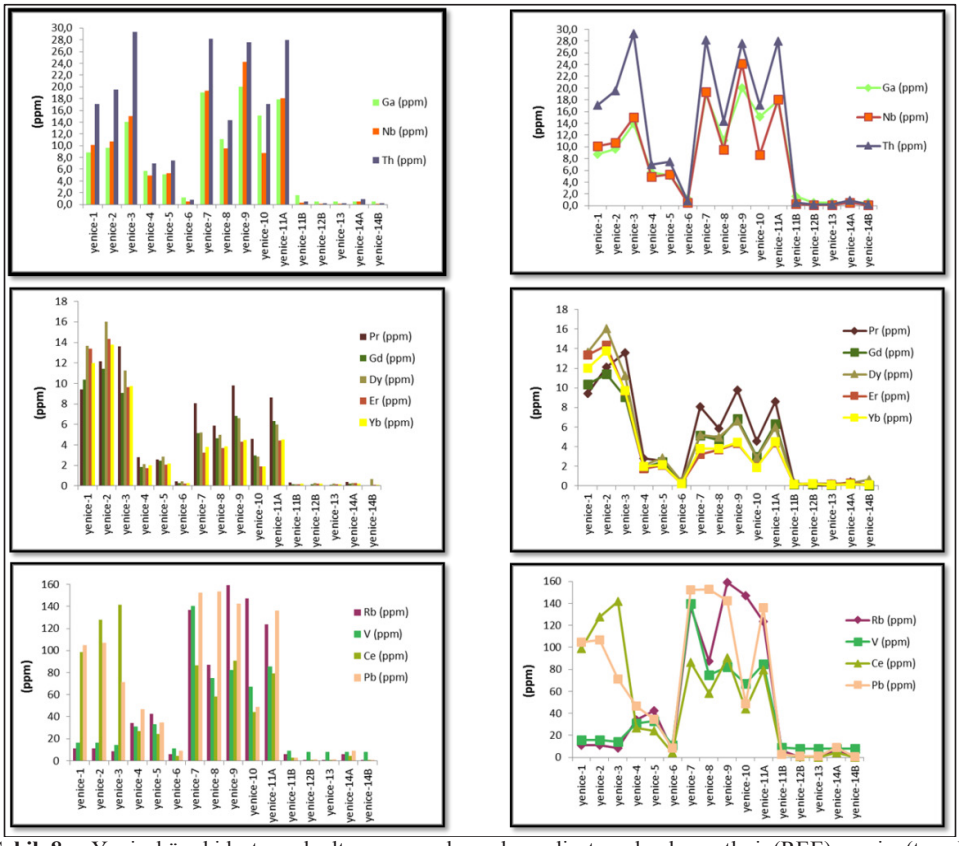
	Cu (ppm)	**Pb** (ppm)	**Zn** (ppm)	**Sb** (ppm)	**Au** (ppm)
Boyut Mermer	0,1 – 7,5	0,2 – 6,3	2 – 58	< 0,1 – 9,8	< 0,5 – 1,3
Beştaş Mermer	0,8 – 8,0	1,0 – 150,6	9 – 73	0,2 – 12,0	< 0,5 – 3,7
Yeniceköy	0,2 – 98,3	0,6 – 152,1	5 – 128	< 0,1 – 42,9	< 0,5 – 24,8
Sefaköy	1,0– 3,8	0,9 – 6,6	25 – 48	2,2 – 4,3	< 0,5 – 1,2
Uyuz Hamamı	0,2– 2,6	0,2 – 3,7	2 – 14	0,3 – 3,4	< 0,5 – 1,3

	Ba(ppm)	**Sr** (ppm)	**Rb** (ppm)	**As** (ppm)	**U** (ppm)
Boyut Mermer	4 – 253	420,7 – 812,6	< 0,1 – 41,1	43,2 - 10000	< 0,1 – 1,8
Beştaş Mermer	13 – 653	80,5 – 390,7	0,4 – 96,8	74,6 – 3407,6	1 – 1,7
Yeniceköy	19 – 2067	128,8 – 1840,6	< 0,1 – 159,2	23,8 – 10000	0,3 – 5,2
Sefaköy	26 – 102	247,1 – 639,7	3,0 – 30,0	40,9 – 109,2	< 0,1 – 0,8
Uyuz Hamamı	25 – 94	525,0 – 1070,7	< 0,1 – 19,0	35,7 – 96,9	< 0,1 – 0,4

	Ag (ppm)	**Hg** (ppm)	**Ni** (ppm)	**Co** (ppm)	**Mo** (ppm)
Boyut Mermer	0.0 - 0,1	0.00 - 0.01	< 0,1 – 12	< 0,2 - 2,6	< 0,1 – 1,7
Beştaş Mermer	< 0,1 – 0,2	< 0,01 –0,01	2,1 – 11	0,7 – 4,2	< 0,1 – 0,9
Yeniceköy	< 0,1 – 0,2	< 0,01 –0,06	< 0,1 – 38,4	0,3 – 10,6	< 0,1 – 3,8
Sefaköy	0.0 - 0,1	0,01 – 0,02	7,3 – 39,6	3,1 – 6,3	< 0,1 – 0,5
Uyuz Hamamı	< 0,1 – 0.2	< 0,01 –0,01	< 0,1– 15,4	0,3 – 2,2	< 0,1 – 0,2

Çizelge 5. Hidrotermal alterasyon sahası örneklerinin bölgelere (zonlara) göre karşılaştırmalı bazı iz (trace) ve nadir toprak elementleri (REE) analiz sonuçları

Alterasyon Bölgeleri	**Nadir Toprak Element (REE) ve İz (trace) element değerleri (ppm)**												
	Ga	**Nb**	**Pr**	**Gd**	**Dy**	**Er**	**Yb**	**Ce**	**La**	**V**	**Rb**	**Pr**	**Sm**
1. Bölge (Zon)	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++
2. Bölge (Zon)	+++	+++	++	++	++	++	++	++	++	+++	+++	++	++
3. Bölge (Zon)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Alterasyon Bölgeleri	**Nadir Toprak Element (REE) ve İz (trace) element değerleri (ppm)**												
	La	**Eu**	**Be**	**Sr**	**Cd**	**Ta**	**Bi**	**Tl**	**Hf**	**Pb**	**Cu**	**Zn**	**Ni**
1. Bölge (Zon)	+++	+++	+	++	+++	++	++	++	++	+++	+	+	+
2. Bölge (Zon)	++	++	+++	+	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
3. Bölge (Zon)	*	*	++	+++	*	*	*	*	*	*	*	*	*



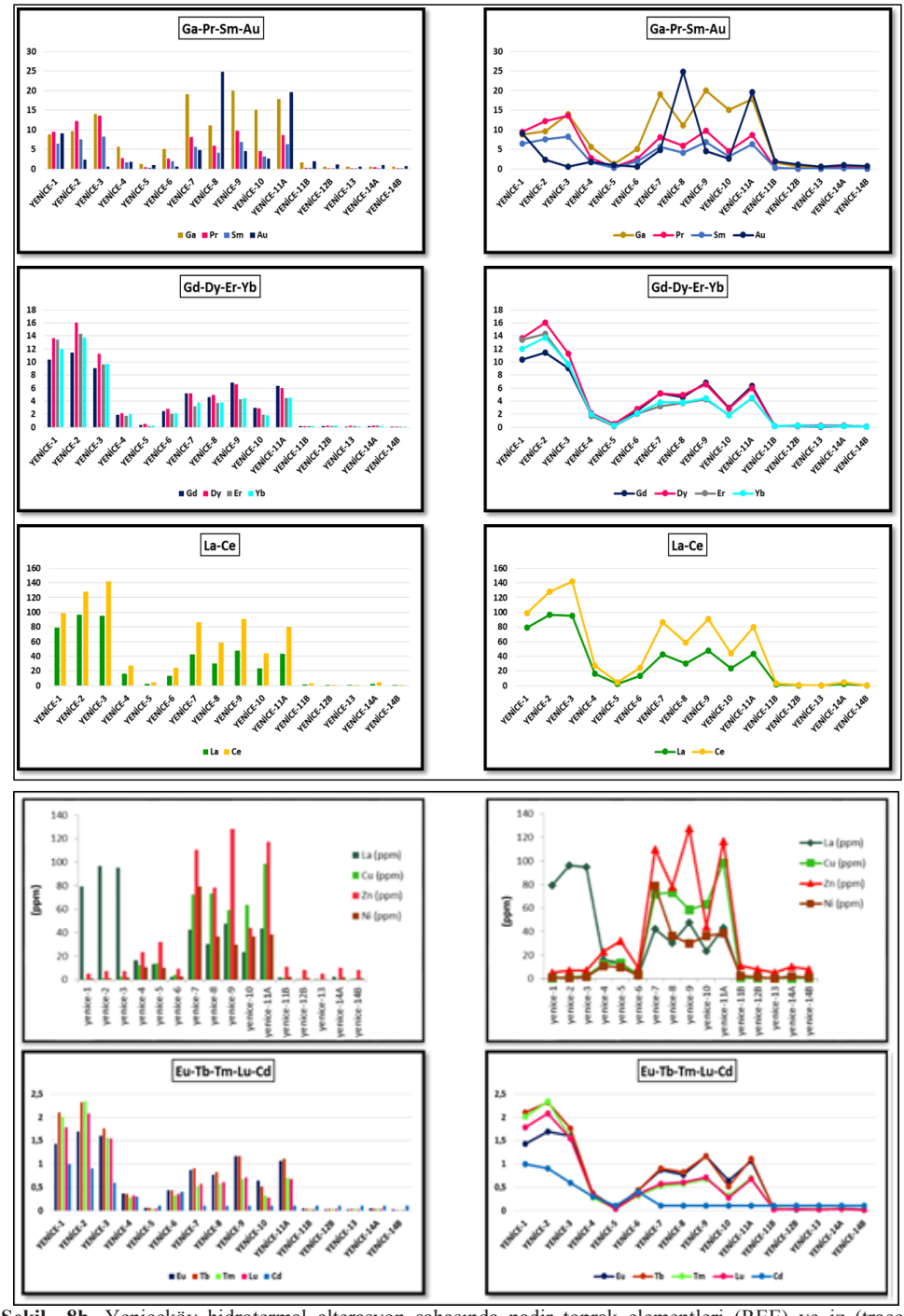
Şekil 8a. Yeniceköy hidrotermal alterasyon sahasında nadir toprak elementleri (REE) ve iz (trace) element değerlerinin 1, 2 ve 3. seviyedeki (zondaki) değişim diyagramları

SONUÇLAR

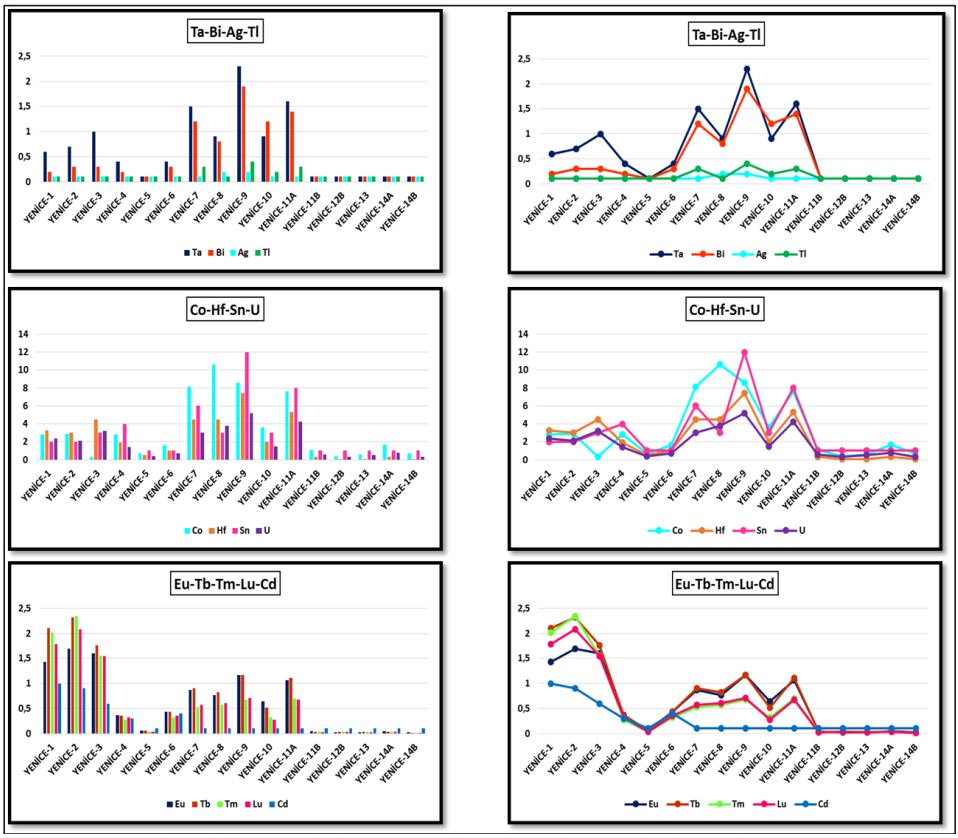
İnceleme alanında, K-G doğrultulu Emet fayı boyunca traverten ve tufa oluşumları görülmektedir. Hidrotermal alterasyon ve traverten oluşumu, Emet fayı ile oluşan çatlaklardan çıkan termal sular ile ilişkili olarak gelişir.

Hidrotermal alterasyona uğramış travertenler ile, alterasyon zonundan alınan örneklerinin XRD sonuçlarına göre kil mineralleri olarak; illit, hektorit, dikit, montmorillonit ve kaolinit belirlenmiştir.

Fe_2O_3 miktarı hidrotermal alterasyonun yoğun şekilde izlendiği Yeniceköy ve Beştaş yöresindeki travertenlerin tabanında yüksek değerler almaktadır. Fe_2O_3 değerinin yükselmesiyle travertenlerin rengi, açık sarıdan kahverengi ve kırmızıya kadar değişebilmektedir.



Şekil 8b. Yeniceköy hidrotermal alterasyon sahasında nadir toprak elementleri (REE) ve iz (trace) element değerlerinin 1, 2 ve 3. seviyedeki (zondaki) değişim diyagramları



Şekil 8c. Yeniceköy hidrotermal alterasyon sahasında nadir toprak elementleri (REE) ve iz (trace) element değerlerinin 1, 2 ve 3. seviyedeki (zondaki) değişim diyagramları

MgO değerlerinin azlığına bağlı olarak dolomit oluşumuna traverten sahalarında rastlanılmamıştır.

Ba, Rb ve Sr değerleri hidrotermal alterasyonun egemen olduğu Yeniceköy bölgesindeki alanlarda yüksek değerlere ulaşmaktadır. Özellikle travertenlerde belirlenen bu değerler, bölgedeki kireçtaşlarının çözülmesini ve havzaya karışmasını ve de hidrotermal alterasyon oluşumunun bölgede çok ciddi bir biçimde geliştiğinin önemli bir belirtisidir. Özellikle Bor (B), Arsenik (As) ve Kükürt (S) inceleme alanında yaygın olarak izlenen volkanik alanlardan sıcak sularla çökelme ortamına geldikleri kabul edilmektedir.

As, W, Th, U elementleri çevredeki volkanik kaynaktan gelen çözeltinin indirgeyici ortam koşullarında zenginleşmesi sonucu ortamda bulunmaktadır. Volkaniklerin alkali kalsik, peralümin karakterleri, yüksek Rb, Th ve U değerleri ve yüksek bor içerikleri kabuksal katkıyı işaret etmektedir.

Güncel travertenlerin dışında, bazı traverten bünyesinde ve hidrotermal alterasyon alanındaki Arsenik (As) artışı Emet-Hisarcık yöresindeki kolemanit ($Ca_2B_6O_{10}.5H_2O$) yatakları ile bu yataklarda yer alan orpiment (As_2S_3) ve realgar (AsS) minerallerinin çözünmesi sonucu ortamda zenginleşmesine bağlı olduğu ifade edilebilir. Yüksek arsenik değerleri çevredeki içme sularını da önemli derecede etkilemektedir. Öncelikli olarak bölgede içme sularına uygun alanlar (Özellikle Eğrigöz dağı ve yakın çevresi) toplu yerleşim bölgeleri için değerlendirilmelidir. Yeraltı suyu arama amaçlı önceden yapılan sondajlardan elde edilen olumlu verilere göre bu sondaj suları değerlendirilmelidir. Jeotermal alanlara yakın yerlerden çıkan suların içme suyu olarak kullanılması sakıncalıdır.

Özellikle bazı iz elementlerin diyagramlara yerleştirildiğinde genel bir uyum içerisinde olduğu ve iz elementlerin artışlarında belirli bir kümeleşme meydana getirdiği görülmüştür. Örneğin; (W, Zr, Y ppm), (La, Cu, Zn, Ni ppm), (Rb, V, Ce, Pb ppm), (Pr, Gd, Dy, Er, Yb ppm) gibi diyagramlarda bu sonuçlar gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

Atabey, E., 2003. Tufa ve Traverten, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No: 75, 106 s. Ankara.

Ayaz, M. E., 2002. Travertenlerde Gözlenen Morfolojik Yapılar ve Tabiat Varlığı Olarak Önemleri, Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A - Yerbilimleri Cilt:19, Sayı: 2, ss: 123-134, Sivas.

Doğan., N., 2015. Emet-Hisarcık (Kütahya) Yöresi Travertenlerinin Jeolojisi, Petrografisi ve Jeokimyası, DPÜ, Fen Bilimleri Ens. Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 311 sahife, Kütahya. (yayımlanmamış).

Guo, L. & Riding, R., 1998. Hot Spring Travertine Facies and Sequence Late Pleistosene, Rapolano Terme, Sedimentology, 45, 163-180, Italy.

Göncüoğlu, M. C., Rojay, B., 1992. Orta Anadolu Masifinin batı bölümünün jeolojisi, Bölüm 2: Orta Kesim TPAO, Rap. No; 3155, (yayımlanmamış).

Guo, L., 1993, Fabrics and facies of Quaternary travertines, Rapolano Terme, central Italy. PhD thesis, Universty of Wales, Cardiff, 237 pp.

Helvacı, C., 1977, Geology, mineralogy and geochemistry of the borate deposits and associated rocks at the Emel Valley, Turkey: Ph. D. dissertation, University of Nattingham, England.

Helvacı, C., 1986. Emet borat yataklarının kökeni ve jeokimyası: Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A-Yerbilimleri - C: 3, s. 1, 49-73.

Holland, H.D., Malinin, S.D., 1979. The solubility and occurence of non-ore minerals, In:H.L. Hubbard, D.A., 1985, Anoted bibliography of the Valley and Ridge travertine marl deposits of Virginia. Virginia Minerals, 31, 9-12.

Karakuş, H., 2013. Kütahya İl Sınırları İçindeki Jeotermal Alanların Jeokimyasal ve İzotopik Yöntemlerle Deneştirilmesi, Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, Proje No 2012-7. Kütahya.

Kibici, Y., 2012. Emet (Kütahya) Travertenlerinin Mineralojik, Petrografik ve Jeokimyasal Özelliklerinin Araştirilmasi ve Fizikomekanik Özellikleri İle İlişkisi, Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP, 2012-10), 136 sahife, Kütahya. (yayımlanmamış).

Koçyiğit, A., Deveci, Ş., 2005. Akşehir-Simav Fay Sistemi: GB Türkiye'de Neotektonik Rejimin Başlama Yaşı ve Depremsellik, Deprem Sempozyumu, ss:105-106, Kocaeli.

Koçyiğit, A., Bozkurt, E., Kaymakçı, N., Şaroğlu, F., 2002. 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) depreminin kaynağı ve ağır hasarın nedenleri: Akşehir Fay Zonu (Jeolojik Ön Rapor), ODTÜ Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Tektonik Araştırma Birimi, Ankara,

Kökçü, M., 2007. Melikşah Kuzeyi (Ankara-Çubuk) Pliyosen Yaşlı Yapı Taşlarının Petrografik ve Mineralojik Özellikleri, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens. Jeoloji Müh. Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, (Yayınlanmamış).

Okay, A., 2011. Tavşanlı Zonu: Anatolid-Torid bloku'nun dalma-batmaya uğramış kuzey ucu, MTA Dergisi, 142, 195-226, Ankara.

Özburan, M., 2009. Kütahya ve Çevresinin Neotektonik İncelemesi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, "Doktora tezi", Kocaeli, (Yayınlanmamış).

Özkul, C., 2008. Emet (Kütahya) Neojen Havzası Bor Prospeksiyonu: Hedef Sapmada Jeokimyasal Yöntem Geliştirme, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kütahya, (Yayınlanmamış).

Özkul, M., Alçiçek, M. C., Heybeli, H., Semiz, B., Erten, H., 2001. Denizli Sıcak su Travertenlerinin Depolanma Özellikleri ve Mermercilik Açısından Değerlendirilmesi, Türkiye III. Mermer Sempozyumu "Mersem 2001" Bildiriler Kitabı, ss: 57-72, Afyon.

Özkul, M., Varol, B., Alçiçek, M.C., 2002. Denizli Travertenlerinin Petrografik Özellikleri ve Depolanma Ortamları, MTA Dergisi, Sayı: 125, ss: 13-29, Ankara.

Özkul, M., Kele, S., Gökgöz, A., Shen, C-C., Jones, B., Baykara, M. O., Fórizs, I., Németh, T., Chang, Y-W. Alçiçek, C., 2013. Comparison of the Quaternary travertine sites in the Denizli extensional basin based on their depositional and geochemical data, Sedimentary Geology, 294, 179 – 204.

Pentecost, A., 2005. Travertine. Kluwer Academic Pub., Science & Technology, 445p.

Polat, S., 2011. Türkiye'de Traverten Oluşumu, Yayılış Alanı ve Korunması, Marmara Coğrafya Dergisi, sayı: 23, ss: 389 - 428, İstanbul.

Üstün, H., 2008. Hisarcık (Emet-Kütahya) Güneyinin Neojen Stratigrafisi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Jeoloji Müh. Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana, (Yayınlanmamış).

Yalçın, H., 1984. Emet Neojen Gölsel Baseninin Jeolojik ve Mineralojik-Petrografik İncelenmesi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Yükünç, M., 2007. Hisarcık (Kütahya) Çevresindeki Neojen Birimlerinin Stratigrafisi, Mineralojisi, Petrografisi ve Jeokimyası, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens.Yüksek Lisans Tezi, İzmir, (Yayınlanmamış).

AÇIK İŞLETMELERDE DÖKÜM ALANLARI DÜZENLEME VE AĞAÇLANDIRMA ÇALIŞMALARI: TUTLUCA MANYEZİT AÇIK İŞLETMESİ

REGULATION AND PLANTING STUDIES OF CASTING FIELDS IN OPEN PITS: TUTLUCA MAGNESITE OPEN PIT

Ece KUNDAK*, Hürriyet AKDAŞ

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Müh. Bölümü, Eskişehir, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: ecekundak@gmail.com

ÖZET: Bu tebliğ, Magnesit Anonim Şirketi'ne (MAŞ) ait Tutluca Manyezit Açık İşletmesi çevresinde oluşturulan harmanların doğaya yeniden kazandırma kapsamında yapılan düzenlemeleri ve ağaçlandırma çalışmalarını içermektedir. Bu ağaçlandırma ve düzenleme çalışmaları 1994 yılından beri sistematik olarak yapılmaktadır. Bu bölgede, bugüne kadar, planlı 43 farklı alan düzenlenerek ağaçlandırılmıştır. Son on yıldır bu faaliyet, kamu kurumlarının katılımı ile ağaçlandırma bayramına dönüştürülmüştür. Bir yandan manyezit üretim faaliyetleri devam ederken, diğer yandan da her yıl doğaya yeniden kazandırma kapsamında yapılan düzenlemeler ile otsu bitkilerin geliştiği ve doğada yaşayan canlıların yeni oluşturulan bölgelerde yaşamaya başladıkları gözlemlenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Manyezit, Açık işletme, Harman düzenleme, Ağaçlandırma, Doğaya yeniden kazandırma

ABSTRACT: *This paper covers the arrangement and planting works at created casting areas around the Tutluca Magnesite Open Pit within the context of rehabilitation to nature. This Arrangement and planting works have been done systematically since 1994. Up to now, planned 43 different areas have been planted by arrangement. For the last ten years, this activity has also been transformed into a plantation festival with the participation of public institutions. On the one hand, while the magnesite mining activities are continuing, on the other hand, it is observed that wild animals started to live and spread flora under favor of arrangements within the context of rehabilitation.*

Keywords: *Magnesite, Open pit, Casting arrangement, Planting, Rehabilitation to nature*

1. GİRİŞ

Manyezit minerali $MgCO_3$ kimyasal formülüne ve normal olarak %52,19 CO_2, %47,81 MgO içeriğine sahiptir. Refrakter malzeme üretiminin temel girdisi olması nedeniyle, önemli bir endüstriyel hammaddedir. Manyezit cevheri içerisinde manyezit mineralinin yanı sıra değişik oranlarda karbonat ve oksitler ile demir, mangan ve alüminyum silikatlar da bulunabilmektedir. Saf iken genellikle beyaz renkli olan manyezit, bünyesindeki safsızlıklara (SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, vb.) bağlı olarak sarı, kırmızımsı, gri veya kahverengi de olabilmektedir. Sertliği 3,5 – 4,5 arasında değişen manyezitin özgül ağırlığı ise 2,9 – 3,1 g/cm^3 olarak, içeriğindeki demir oranına bağlı olarak değişmektedir (Bilir ve Akdaş, 2012; Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2001).

Türkiye'deki manyezit oluşumlarının büyük oranda Kütahya, Eskişehir, Konya, Erzincan, Erzurum, Çankırı, Bursa ve Bilecik il sınırları içerisinde bulunmaktadır. Doğada iri kristaller halinde bulunanlara spatik manyezit, kriptokristalen halinde bulunanlara da jel manyezit adı verilmektedir. Türkiye'deki yataklanmaların hemen tamamı Jel tipi yataklanmalar olup, serpantinleşmiş ultrabazik kayaçlar içindeki fay zonlarında, çatlaklarda, ağsı ve blok dolgusu şeklinde görülmektedir. Ülkemizdeki manyezit oluşumlarının hemen hepsi yüksek kaliteli kabul edilen jel manyezit tipindedir (Türkiye Manyezit Envanteri, 2011; Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2001).

Ülkemizde ilk manyezit üretimine 1929 yılında başlanmış olup, 1928 – 1933 yılları arasında Eskişehir bölgesinde 40'a yakın ruhsat başvurusu yapılmıştır. Tüvenan, kostik ve sinter manyezit üretimi ise, 1961 yılında başlamıştır. Türkiye'de manyezit madenciliğinin geliştiği ilk sahalar; Eskişehir ilinin 40 km kuzey doğusunda bulunan Sepetçi, Margı ve Başören köyleri ile Eskişehir ilinin 20 – 25 km batısında bulunan Dutluca, Nemli, Yukarı-Kartal ve Ballı sahaları olup Türkiye manyezit rezervinin yaklaşık %60'ı bu bölgededir (Türkiye Manyezit Envanteri, 2011; Yıldız ve Erdoğan, 1995). Ülkemizde hem manyezit madenciliği hem de kalsine ve sinter manyezit üretimi Kütahya ve Eskişehir il sınırlarında yoğunlaşmış durumdadır. Eskişehir il sınırları içinde faaliyetini yürüten Magnesit Anonim Şirketinin (MAŞ) hem Türkiye hem de il ekonomisine katkısı oldukça önemlidir. En önemli katkılarından birisi katma değer ile

istihdam yaratması ve bir diğer önemli katkısı ise ihracat potansiyelidir. Eskişehir'de 2015 yılında 56.7 milyon dolar ihracat yapan MAŞ, 2016 yılında 71.5 milyon dolar ihracatı ile Tusas Motor Sanayii ve Alp Havacılık şirketlerinden sonra üçüncü sırada yer almıştır. Türkiye ihracat sıralamasına bakıldığında ise; MAŞ, 2015 yılında 274. sırada iken, 2016 yılında 191. sıraya yükselmiştir (TİM, 2016).

Çalışmaya konu olan Tutluca Manyezit Açık İşletmesi sahası ve ruhsatı MAŞ'ne aittir. Tutluca Manyezit Açık İşletmesinin hemen yanında ve Güneyinde, MAŞ'ne ait yönetim binası, ham manyezit stok sahaları, zenginleştirme tesisleri, üç adet dikey fırın, iki adet döner fırın ve 2017 başında devreye alınan harç tesisi bulunmaktadır. Şirketin açık ocaklarından üretilen ham manyezit, tesislerde işlenerek sinter manyezit üretilmektedir. MAŞ aynı zamanda belirlediği kalite standartlarında çevredeki manyezit üretici firmalardan yıllık ortalama 100 – 150 bin ton ham manyezit tedariki yapmaktadır. MAŞ'nin ocaklarında, yıllık olarak yaklaşık 450 – 500 bin ton ham manyezit üretmek için 3 – 3.5 milyon m^3 kazı yapılmaktadır (Bulur, 2017**)**. Üretilen sinter manyezit ve püskürtme harcı iç ve dış piyasaya pazarlanmaktadır. Şirketin Eskişehir ilinde 5 adet manyezit sahasına ait işletme ruhsatı bulunmaktadır. Bunlar; Tutluca, Koçbal, Kömürlük, Çanakkıran I ve Çanakkıran II'dir. Bu sahalardan Tutluca ve Koçbal işletme tarafından işletilirken; Kömürlük, Çanakkıran I ve Çanakkıran II işletme denetiminde bulunan alt işveren firmalar tarafından işletilmektedir. Bu sahaların tamamında 2016 yılı itibarıyla yaklaşık 10 milyon ton görünür ve 5 milyon ton muhtemel manyezit rezervi bulunduğu tahmin edilmektedir.

Çalışmaya konu olan manyezit sahası, Eskişehir ili, İnönü ilçesi, Dutluca bölgesinde yer almaktadır. Tutluca-Koçbal sahasının görünür rezervi yaklaşık 8 milyon ton tahmin edilmektedir. Tutluca manyezit açık işletmesinde yıllık yaklaşık 2.5 milyon tonluk dekapaj işlemi sonucu, ham manyezit üretimi 350 – 400 bin ton civarında olabilmektedir (Yılmaz, 2017). Her açık işletmede olduğu gibi, Tutluca manyezit açık işletmesinde de mostra madenciliği, dolayısıyla da yoğun bir dekapaj faaliyeti gerekmektedir. Bunun sonucunda değişen topoğrafya ve yeni döküm alanlarının projelendirilmesi kaçınılmazdır. Bu dekapaj faaliyetleri nedeniyle oluşturulan döküm alanlarının doğaya yeniden kazandırılma kapsamında, ağaçlandırma çalışmaları bu tebliğin özünü oluşturmaktadır.

2. TUTLUCA MANYEZİT AÇIK İŞLETMESİ

Eskişehir il merkezine yaklaşık 35 km olan Tutluca manyezit açık işletmesi üretim miktarı ve açık işletmenin büyüklüğü açısından önemli bir yer tutmaktadır. Saha genellikle, ultra bazik bir kayaç olan serpantinden oluşmaktadır. İçeriğinde CaO bulunduran hidrotermal suların serpantin kütlelerin derinlerinde ayrışmaya neden olmasıyla ortaya çıkan Mg^{++} iyonlarının bu sular aracılığı ile serpantin kütleleri içerisindeki çatlak sistemlerine yerleşmesi sonucunda $MgCO_3$ olarak yataklanmasını oluşturmaktadır. Manyezit yataklanması, serpantin kütlelerindeki çatlak sistemlerinin yapısına bağlı olarak; ya kalınlığı birkaç santimetre veya desimetre olan ağsı (Netzwerk) tipte, ya da kalınlığı birkaç metreye kadar olan blok (Stockwerk) tipte oluşmuştur. Süreklilik arz etmeyen blok tipi yataklanmaların yatay ve dikey istikametlerde ağsı tipi oluşumlara dönüştükleri gözlemlenmektedir. Şekil 1'de yeryüzünden itibaren ilk iki-üç kademeden alınan bir görüntü olup, blok ve ağsı tip yataklanmalarının tipik bir örneğidir. Bu görüntüde beyaz renkli damar ve damarcıklar manyezit oluşumlarını, gri tonlu ve koyu renkli kısımlar ise serpantini göstermektedir.

Şekil 1. Tutluca manyezit açık işletmesinde blok ve ağsı tipte yataklanma görüntüsü

Tutluca manyezit açık işletmesinin mevcut durumu olarak; Doğu-Batı yönünde uzunluğu yaklaşık olarak 1850 metre, Kuzey-Güney yönünde genişliği ise 585 metre olup, üretim faaliyetleri devam etmektedir (Yılmaz, 2017) (Şekil 2 ve 3). Tesisin ham manyezit ihtiyacının büyük bölümü bu açık işletmeden sağlanmaktadır. Bu açık işletmenin oldukça önemli bir avantajı ise, MAŞ'ne ait zenginleştirme tesislerin ve fırınların Kuzeyinde yer alması ve çok yakınında, yürüme mesafesinde olmasıdır.

Tutluca manyezit açık işletmesinde üretim faaliyetleri 10 m yüksekliğinde, en az 10 metre genişliğinde olan kademelerden yapılmaktadır. Kademelerin şev açısı

maksimum 70^0-75^0'dir. Açık işletme genel şev açısı, formasyonların durumuna göre değişik olsa da yaklaşık 40^0'dir.

Şekil 2. Tutluca manyezit açık işletmesinden Batı yönünde bir görüntü

Şekil 3. Tutluca manyezit açık işletmesinden Doğu yönünde bir görüntü.

Kademelerde genel olarak delikler şeşbeş düzeninde delinerek, patlatma ile gevşetme yapılmaktadır. Kademelerde iki farklı çaplı patlatma delikleri delinmektedir.165 mm çaplı patlatma deliklerinde; delik aralıkları 7 m ve %70 şarj edilerek, 17,4 kg/m patlayıcı miktarı kullanılmakta olup, bu deliklerin aynaya uzaklığı 3,5 metredir. 89 mm çaplı patlatma deliklerinde ise; delik aralıkları 4 m ve %60 şarj edilerek, 5 kg/m patlayıcı madde miktarı kullanılmakta ve bu delikler için aynadan uzaklığı 2 m olarak seçilmektedir (Yılmaz, 2017).

Üretim esnasında verimli toprak olarak değerlendirilebilecek yararlı kısımlar, sıyrılarak alınmakta ve ayrı bir yerde ağaçlandırma faaliyetlerinde kullanılmak üzere stoklanmaktadır. Verimli toprak alındıktan sonra alt bölümden ortaya çıkan serpantinik kayaçlar ya da cevher içeren serpantinli kayaçlar delme-patlatma marifetiyle gevşetilerek ve ekskavatörlerle kamyonlara yüklenerek, döküm alanlarına sevk edilmektedir. Eğer patlatılarak gevşetilen kısım cevher içermiyorsa doğrudan döküm

alanına, cevherleşme içeriyorsa (tüvenan cevher) ayıklama ve zenginleştirme işlemine tabi tutulmak üzere tesislere nakledilir. Zenginleştirme tesislerinde tüvenan cevher kırma ve elemeden geçirilerek, pasanın büyük kısmı alınır ve ön zenginleştirme yapılmış olur. Aynı zamanda ön zenginleştirmede iri ve ince boyutlu malzeme olarak iki farklı boyutta zenginleştirilmiş cevher elde edilir.

İri boyutlu ön zenginleştirilmiş cevher yıkama-ayıklama tesisine beslenir. Yıkama tesisinde kirlerinden ve çamurlarından arındırılan cevher triyaj bölümünde bayan çalışanlar tarafından ayıklamaya (triyaj) tabi tutulur. Buradan elde edilen ürün (ham manyezit) sinter manyezit üretimi için fırınlara verilir. İnce boyutlu ön zenginleştirilmiş cevher ise manyetik separasyon tesisine yönlendirilir. Bu tesiste iki kademeli manyetik seperatörlerden geçirilen cevher, kirliliklerden ayıklanarak, nihai ham manyezit elde edilir ve fırın bölümüne verilir.

Hem açık işletmeden doğrudan hem de cevheri alınmış atık özelliği kazanmış kısımlar, daha önceden projelendirilen döküm alanlarına nakledilir. MAŞ ait zenginleştirme tesislerinden ortaya çıkan 1 mm altındaki cevherli pasa, ayrı bir döküm alanında gelecek yıllarda ekonomik olarak değerlendirilebileceği düşüncesiyle stok yapılmaktadır. Her ne kadar flatosyon yöntemleri ile 1 mm altı manyezit elde edilse de mevcut şartlarda ekonomik olmamaktadır.

3. DÖKÜM ALANLARININ DÜZENLENMESİ ve AĞAÇLANDIRMA ÇALIŞMALARI

3.1 Döküm Alanlarının Özellikleri ve Hazırlanması

Tutluca Manyezit Açık İşletmesinden gelen pasa ve cevheri alınmış atıklar, ruhsat alanı içinde projelendirilmiş ve izni alınmış alanlara (harman) dökümü ve stoklanması yapılmaktadır. Proje dahilinde olan pasa döküm alanlarında öncelikli serpantinli olan malzeme (bitki ve ağaç için uygun olmayan pasa) dökülerek iş makineleri ile dağıtılarak ve serilerek sıkıştırılmaktadır. Harmanların şev yükseklikleri maksimum 10-15 metre ve şev açıları da 30^0-35^0 arasında olacak şekilde düzenlenir. Ağaçlandırılacak harman sahalarında, mevsimsel yağışlar nedeniyle şev kaymalarının olmaması, yağmur ve sulama suyunun alanda tutulmasına özen gösterilmektedir. Maksimum sulama veriminin sağlanabilmesi için su akışı şeve verilmeyecek şekilde arazi eğim planlaması yapılmaktadır. Bu harmanların şev duyarlılıkları MAŞ teknik personeli tarafından

özenle izlenmekte ve kontrol altında tutulmaktadır. Bu harman düzenlemesinden sonra, ocak içerisinde bulunan sedimanter kökenli ve içerisinde organik maddelerin bulunduğu kısım ile ağaçlandırma amaçlı olarak stoklanan toprak örtüsü, ağaçlandırılacak olan harmanın üstüne 70 – 100 cm kalınlıkta serilmektedir.

3.2 Doğaya Yeniden Kazandırma ve Ağaçlandırma Alanları

MAŞ üst yönetimi 1990' lı yılların başlarında amatör ve kişisel gönüllülük anlamında yönetim binalarının çevresinde çam, kavak ve gül gibi bazı dikim çalışmaları yapmıştır. Ancak bu dikim çalışmaları planlı ve organizeli olmayıp, oldukça sınırlı sayıda kalmıştır.

MAŞ'nin kapasite artışı, gelişimi ve yönetim kademelerinin çevreye olan hassasiyetin artması ile birlikte, 1994 yılından itibaren Tutluca-Koçbal ruhsat sahalarında planlı ve bilinçli doğaya kazandırma çalışmalarına başlanmıştır. Bu çalışmalar ruhsat alanı içinde ve çevresinde planlı programlı olarak, hem mevcut doğal durumu geliştirme ve hem de madencilik nedeniyle harman alanlarının doğaya yeniden kazandırma kapsamında gerçekleşmiştir. Sadece harman sahalarının ağaçlandırması değil, aynı zamanda MAŞ'nin ana giriş yolu çevresi başta olmak üzere, ruhsat alanı içinde madencilik yapılmayan alanlarda da çalışmalar yapılagelmiştir (Bulur, 2017).

Tutluca-Koçbal sahalarının bulunduğu ruhsat sahası 1548 hektardır. Bu alanın 100 hektarı Tutluca-Koçbal sahası açık ocak faaliyet alanı iken, 219 hektarlık kısmı ise harman sahasıdır. İşletme, bugüne kadar 219 hektarlık harman sahalarının 146 hektarlık kısmını ağaçlandırmıştır. 1994 yılından 2017 yılına kadar 43 farklı bölge planlı ve programlı ağaçlandırılmıştır. Bu ağaçlandırılan bölgelerin yaklaşık %75'i harman sahalarında, % 18'i yol kenarlarında ve %7'si ise işletmeye 2 km mesafedeki Nemli Köyü içinde ve etrafında gerçekleştirilmiştir (Bulur, 2017). Anlaşılacağı üzere hem madencilik faaliyetlerinin devam etmesi, hem de doğaya yeniden kazandırma çalışmaları aynı anda planlı olarak yürütülmektedir.

Harman ağaçlandırma sahalarında ağaçlar arası mesafe 4-5 m olacak şekilde makine ile ağaç çukurları açılmaktadır. Ağaçlar arası mesafe, sulama tankerlerinin rahatlıkla dikilen ağaçlara ulaşabilmesi ve bakım işlemlerinin kolayca gerçekleşebilmesi için her iki - üç sıradan sonra 6 m genişliğinde bir yol için bırakılmaktadır (Yılmaz,2017).

3.3 Ağaçlandırma Faaliyetleri

Ruhsat bölgesi ve yörenin bitki örtüsü çok seyrek baltalık meşe ve ağırlıklı olarak çıplak arazidir. Bir bölge için uygun ağaç türlerinin belirlenmesi ve yeni türlerin geliştirilmesi, toprak analiz sonuçları göz önünde bulundurularak sağlanmaktadır. Genel olarak Eskişehir çevresi için uygun ağaç türleri karaçam, sedir ve meşedir. İşletme, ağaç dikim işlemlerini Eskişehir Orman Bölge Müdürlüğü'nün bilgisi dahilinde ve koordineli gerçekleştirmektedir.

Eskişehir Orman Bölge Müdürlüğü tarafından hazırlanan Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planlarında, Dutluca bölgesinin doğal ağaç türünün genellikle meşe ve az miktarda da çam olduğu da görülmektedir. Bu bölgenin toprak analizlerine genel olarak bakıldığında ise ortalama ilk 0-30 cm derinlik için %54 kum, % 25 kil ve % 21 toz, (kumlu-killi-balçık) sonraki 30-60 cm derinlik aralığı için %54 kum, % 29 kil ve % 17 toz (kumlu-killi-balçık) ve 60-110 cm derinlik arası için ise %42 kum, % 41 kil ve % 17 toz (kil) olarak verilmektedir. pH değerleri ise 8-9 arasında değişmektedir (Akman, 2017).

Eskişehir Orman Bölge Müdürlüğü ile yapılan görüşme ve çalışmalar kapsamında, MAŞ yetkilileri karaçam dışında çeşitliliğe de önem vererek sedir, akasya mahlep, badem, sarı salkım, yaban armudu (ahlat), akçaağaç, at kestanesi gibi ağaçların da dikimini yapmışlardır.

İlk yıllar senede iki kere dikim yapılırken, son 9 senedir, her yıl Ekim ya da Kasım aylarında "ağaçlandırma bayramı" şeklinde etkinliklerle dikimler yapılmaktadır (Şekil 4). Geleneksel hale gelen bu etkinliklere Eskişehir Valiliği, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi yetkilileri ile Maden Müh. Böl. Öğretim elemanları ve Öğrencileri, Eskişehir Orman Bölge Müdürlüğü ve yetkilileri, Maden Mühendisleri Odası üyeleri, yerel-ulusal basın ve MAŞ personeli olmak üzere çok sayıda kişi katılmaktadır. Ağaç dikme bayramlarında dikilecek fidanlar ya da fideler Eskişehir Orman Fidanlığı'ndan sağlanmaktadır. Ağaç dikme etkinliğinde her türlü dikim malzemesi ile birlikte, makine ve donanım MAŞ tarafından sağlanmaktadır (Şekil 5). Bayrama katılan gruplar istediği sayıda fidan dikebilmekte, kalan fidanları ise MAŞ ağaç bakım ekibi dikmektedir. Ağaç dikilecek harmana gelen misafirlere öncelikli olarak, bir fidanın nasıl dikilmesi gerektiği üzerine uygulamalı kısa bir eğitim verildikten sonra dikime başlanmaktadır. Şekil 6 ve 7 de ağaç dikimi ve can suyunun verilmesi gösterilmektedir.

Şekil 4. 2016 yılında ağaçlandırma bayramı için harman önündeki afişler

Şekil 5. Ağaçlandırma bayramında hazır bulundurulan sulama tankerleri ve iş makinesi.

Şekil 6. Ağaç dikimi yapan Maden Müh. Böl. öğrencileri

Şekil 7. Ağaç dikimi sonrası can suyu verilmesi

Harmanlarda bu dikim etkinlikleri, başka alanlarda depolanan üst örtü tabakası ağaç dikim işlemleri sırasında harman üst yüzeylerinde ve ağaç dikim çukurlarında

kullanılmaktadır. Bugüne kadar toplam olarak 182500' ün üzerinde fidan dikimi yapılmış olup, % 99'un üzerinde başarı sağlandığı ifade edilmektedir (Yılmaz, 2017).

Her ağaç dikilen bölüme ya da harmana Şekil 8' de görüldüğü gibi, yılı ve numarası belirtilen bir tabela konulmaktadır. Bu güne kadar harmanlara ve diğer alanlara dikilen ağaçların cinsleri, sayıları ve yılları toplu halde Çizelge 1'de verilmektedir. Şekil 9, 10'da Tutluca açık işletmesi etrafındaki ağaçlandırılmış harmanların görüntüleri verilmektedir. Ayrıca MAŞ, ilave olarak 2009, 2010 ve 2016 yıllarında Beylikova sahasında 15000 ve Kömürlük sahasında da 1650 adet çeşitli türlerde fidan dikimi de gerçekleştirmiştir.

Şekil 8. Ağaçlandırma alanını belirten bir tabeladan örnek.

3.4 Ağaçlandırma Yapılan Alanların Bakım ve Takibi

Ağaç dikim işlemleri tamamlandıktan sonra ağaçlandırılan sahanın sulama, bakım ve gübreleme işleri sürekli ve düzenli olarak gerçekleştirilmektedir. Bunun için MAŞ bünyesinde doğaya yeniden kazandırma ekibi istihdam edilerek daha bilinçli bir çalışmaya geçilmiştir. Bu ekip 10 personel, 3 sulama aracı ve 2 iş makinasından oluşmaktadır (Şekil 11). Bir harman sahasının bakımı ve sulaması MAŞ tarafından 5 yıl süreyle yapılmakta ve sonrasında Orman Bölge Müdürlüğü'ne teslim edilmektedir.

Gübreleme işlemleri esnasında yapay gübreleme yerine, doğal hayvan gübresi kullanımı tercih edilmektedir. Doğal gübreleme çevre köylerden ücreti karşılığı temin edilmektedir. Bu bakım ekibinde çalışanların sayısı kış döneminde azalmakta, ancak ilkbahar, yaz ve sonbahar dönemlerinde bakım, gübreleme, sulama ve dikim işlemlerinin yoğunlaşması sebebiyle sayı artarak ihtiyaca göre ortalama 20 ye kadar çıkabilmektedir. İşletmede, ağaç dikimi dışında harman şevlerinin tohumlanması üzerine sistematik herhangi bir çalışma yapılmamaktadır. Ancak, harman yamaçlarında akıntıya ve kaymaya karşı, 2011-12 yıllarında 72400 badem çekirdeği de dikilmiştir.

Çizelge 1. Yıllar bazında dikilen fidan, türleri ve sayıları

Sıra	Yıl	Mekii	Ağaç Cinsleri	Sayısı
1	1994	kantar arkası	çam, sarısalkım	4250
2	1995	idari bina	çam, elma, kavak	750
3	2004	harman	akasya, badem, mahlep, sarısalkım	6000
4	2005	baraj pompa	çam, meşe	2000
5	2006	yol kenarı	akasya, badem, mahlep, sarısalkım, at kesta.	3800
6	2007	harman	çam	5000
7	2007	nemli yolu	çam, akasya, badem, mahlep, sarısalkım, sofora, iğde, akçaağaç, aylantus, at kesta.	4000
8	2007	köy yolu	bodur çam, sedir	4000
9	2008	köy yolu	çam, sedir	4000
10	2008	harman	çam, sedir, dişbudak, akçaağaç, alıç, mahlep, meşe, erik, kırlangıç	2170
11	2008	yol kenarı	çam	2500
12	2008	harman	çam	2500
13	2008	kalker üstü	çam	2500
14	2009	harman	çam, sedir	4000
15	2009	harman	çam	1700
16	2009	harman	çam,akasya, badem, mahlep, sarısalkım, dişbudak	2500
17	2009	harman	çam, sedir, badem	500
18	2009	harman	çam, sedir, badem	500
19	2009	bahçe	ayva, armut, ceviz, dut, kiraz, vişne, elma,	200
20	2009	yol kenarı	çam, akasya, badem, mahlep, sarısalkım, dbudak	3700
21	2009	yol kenarı	çam, akasya, badem, mahlep, sarısalkım, dbudak	1800
22	2009	Müh. binası	çam	500
23	2009	yol kenarı	çam, akasya, mahlep, sarısalkım, akçaağaç	500
24	2009	yol kenarı	çam, akasya, mahlep, sarısalkım, akçaağaç	500
25	2010	yol kenarı	çam, sedir, dişbudak, akçaağaç, alıç, mahlep, meşe,erik, kırlangıç	500
26	2010	harman	çam, sedir, dişbudak, akçaağaç, alıç, mahlep, meşe, erik, kırlangıç	1000
27	2010	harman	çam, sedir, dişbudak, akçaağaç, alıç, mahlep, meşe, erik, kırlangıç	1000
28	2010	harman	çam, sedir, dişbudak, akçaağaç, alıç, mahlep, meşe, erik, kırlangıç	1350
29	2010	yol kenarı	çam, sedir, dişbudak, akçaağaç, alıç, mahlep, meşe,erik, kırlangıç	2000
30	2011	harman	çam, sedir, dişbudak, akçaağaç, alıç, mahlep, meşe, kırlangıç, selvi	750
31	2011	harman	karaçam	200
32	2011	harman	karaçam	2000
33	2011	harman	karaçam	300
34	2011	kantar önü	karaçam	200
	2011	yamaçlar	badem çekirdeği	72400
35	2012	hurdalık altı	çam, sedir, dişbudak, akçaağaç, alıç, mahlep, sarısalkım	3500
36	2013	harman	çam, sedir, mahlep, akasya	1200
37	2013	yol kenarı	karaçam, sedir, mahlep, sarısalkım, akasya, ıhlamur, ardıç, dağ muşmulası, kadın tuzluğu	3300
38	2013	harman	karaçam, sedir, mahlep, sarısalkım, akasya, ıhlamur, ardıç,dağ muşmulası, kadın tuzluğu	1170
39	2013	harman	karaçam, sedir, mahlep, sarısalkım, akasya, ıhlamur, ardıç, dağ muşmulası, kadın tuzluğu	760
40	2014	harman	karaçam, sedir, mahlep, ıhlamur	1500
41	2014	harman	karaçam, sedir, mahlep, ıhlamur	1500
42	2015	harman	karaçam, sedir, mahlep, ıhlamur, yalancı akasya	5500
43	2016	harman	karaçam, sedir, mahlep, ıhlamur, yalancı akasya, iğde, dağ muşmulası, zerdali	6000
			TOPLAM (adet)	**166000**

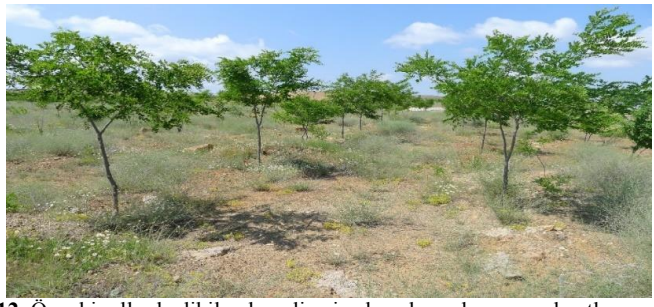
Şekil 9. Daha önceki yıllarda ağaçlandırılmış harmanlardan bir görüntü.

Şekil 10. Ağaçlandırma yapılmış harmanların drondan alınan görüntüleri

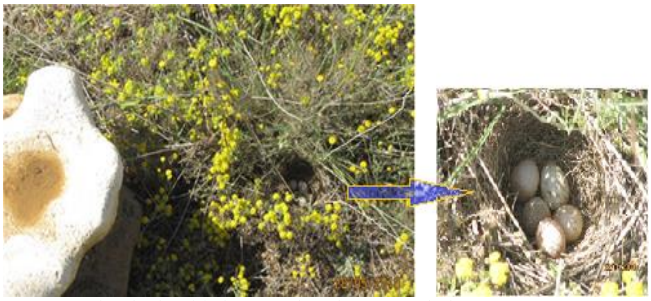
Şekil 11. Doğaya yeniden kazandırma için bakım ekibi ve çapalama faaliyeti

3.5 Ağaçlandırma Yapılan Alanlarda Doğal Yaşamın Gelişimi Bakım ve Takibi

Hem açık işletmelerde hem de zenginleştirme işlemlerinin tüm kademelerinde çevreye zararlı herhangi bir kimyasal kullanılmamaktadır. Ağaçların dikimi ile birlikte birkaç yıl içinde harmanlara otsu bitkiler de yağmur ve rüzgârların etkisi ile yaygınlaşarak gelişmektedir (Şekil 12). Bu düzenlenen harmanlarda, ağaçlar gelişip, büyürken doğal yaşam için ev sahipliği yapmaya başladığı da açık olarak gözlemlenmektedir. Ağaçlandırılan alanlarda tavşan, tilki, saka ve tarla kuşları gibi türlerin yuva yaparak barındığı görülmektedir (Şekil 13, 14).



Şekil 12. Önceki yıllarda dikilerek, gelişmiş olan akasyalar ve yerde otların gelişimi



Şekil 13. Ağaçlandırılan bir harmanda otlar arasında kuş yuvası ve yumurtaları.

Şekil 14. Önceden dikilen bir ağaç gölgesinde yabani bir tavşan.

Yabani hayvanların su ihtiyacını giderebilmeleri için harmanlar üzerinde basit bazı çukurlar oluşturularak, yabani hayvanların su ihtiyaçlarını gidermeleri de düşünülmüştür (Şekil 15). Ayrıca hem ruhsat hem de işletme alanı içerisinde ve çevresinde yaban hayvanlarının buralara gelip yerleşmesi, korunması ve yaşamalarını idame edebilmeleri için uyarı tabelaları da dikilmektedir (Şekil 16). Gerektiği zamanlarda avcılar personel tarafından uyarılmakta, gerekirse jandarmadan destek istenmektedir.

Şekil 15. Yabani hayvanlar su ihtiyaçları için düşünülen harman üzerinde bir çukur.

Şekil 16. Ağaçlandırılmış bir alanda avlanmaya karşı uyarı tabelası

3.6 Harman Üzerinde Oluşturulan Hobi Bahçesi

Yönetim binasının batı kısmındaki bir harman üzerinde ve patlayıcı madde deposunun yakınında 2-3 dönümlük bir alanda hobi bahçesi düzenlenmiştir. Bu hobi bahçesinde elma, armut, ayva, kiraz, vişne gibi meyve ağaçlarının yanı sıra, her yıl domates, biber, salatalık, patlıcan, kabak, fasulye, havuç, mısır gibi ürünler de üretilmektedir (Şekil 17).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

MAŞ ait Tutluca Manyezit Açık İşletmesi'nde bir yandan üretim faaliyetlerini sürdürürken bir yandan da üretimi tamamlanmış ve kullanılmayacak alanların doğaya

yeniden kazandırma kapsamında yapılan çalışmalar, pek çok madenci şirketlerine örnek teşkil etmesi açısından başarılı ve önemli bir uygulamadır.

Şekil 17. Harman üzerinde oluşturulmuş hobi bahçesi

MAŞ tarafından doğaya yeniden kazandırma kapsamında yapılan yatırımlar takdir edilmesi gereken bir husustur. Özellikle MAŞ üst yönetimi, bu konudaki bilinçli ve planlı çalışmaları ile hem çevre açısından hem de çalışanlarının çevreyi sevme, koruma ve geliştirme bilincine önemli katkı sağlamaktadır.

Tutluca Manyezit Açık İşletmesi, ömrünü tamamladıktan sonra içerisinde su sporları ve balıkların yetiştirilebileceği bir göl ve çevresinde de mesire alanı olarak kullanılabilen bir doğal park haline dönüştürülmesi plan dahilindedir. Faaliyetlerin tamamlanması sonrası, MAŞ bunu Doğaya Yeniden Kazandırma Projesi olarak taahhüt etmektedir.

Maden işletmeleri genel olarak orman arazisi niteliğinde olan bölgelerde faaliyet yapacağından, işletmeyi faaliyet geçirebilmek için ağaçlandırma bedeli ve arazi tahsis bedeli ödenmesi zorunludur. Doğaya yeniden kazandırma ve geliştirme kapsamında, çevre düzenlemesi ile birlikte ağaçlandırma yapan maden şirketlerinden ağaçlandırma bedellerinin alınmaması ve arazi tahsis bedellerinin makul seviyelere çekilmesi önerilir. Bu anlamda yeni yasa ve teşvik edici olarak yönetmeliklerin geliştirilmesi gerekir.

Bu işletme de ayrıca MAŞ'ne ait donanımlı bir ambulans sürekli hazır bulundurulmakta ve çevre köylerden ihtiyaç durumunda da acil müdahale için görevlendirilmektedir. Herhangi bir orman yangını durumunda MAŞ'ne ait iki adet itfaye aracı, dört adet sulama aracı ve personel derhal yangına müdahale de etmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu tebliğin hazırlanmasında bilgilerin erişilmesi ve müsaadelerinden dolayı MAŞ Genel Müdürü Ekrem BULUR'a, Maden İşletmeler şefi Maden Müh. Haydar YILMAZ'a ve MAŞ personeline, ayrıca Eskişehir Orman İşletme Müdürü Akın AKMAN'a yardımlarından dolayı teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Akman, A., Mayıs 2017, Kişisel görüşme.

Bilir, K. ve Akdaş H., 2012, Evaluation of magnesite wastes using optical sorting machine, Proceedings of the XIII. International Mineral Processing Symposium 10 – 12 October 2012, Bodrum, Turkey, 1017

Bulur, E., 2017, Kişisel görüşme.

MTA, Türkiye Manyezit Envanteri, 2011, MTA Envanter Serisi – 203, 61s.

Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2001, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Toprak Sanayii Hammaddeleri II (Rekrakter Killer ve Şiferton-Manyezit-Dolomit-Olivin-Zirkon-Disten-Sillimanit-Andaluzit) Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 107s.

TİM (Türkiye İhracatçılar Meclisi), 2016, İlk 1000 İhracatçı Araştırması 2016 yılı Araştırma Raporu.

Yıldız, R., Erdoğan, N., 1995, Manyezit ve Bazik Refrakter Malzeme Teknolojisi, Kütahya.

Yılmaz, H., 2017, Kişisel görüşme.

ŞEVLERDE ÇEVRESEL RİSK OLUŞTURAN FAKTÖRLERİN ÖNEM DERECELERİNİN BELİRLENMESİ

DETERMINING IMPORTANT GRADE OF ENVIRONMENTAL RISK FACTORS AT SLOPES

Baki BAĞRIAÇIK[1*], Hakan GÜNEYLİ[2], Süleyman KARAHAN[2]

1: Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana, TÜRKİYE

2: Çukurova Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: bbagriacik@cu.edu.tr

ÖZET: Gerek, insanlar tarafından farklı amaçlar için oluşturulan şevler gerekse de doğal olarak yer yüzünde bulunan şevler mühendislik uygulamalarında kalıcı problemler oluşturabilmektedir. Bu nedenle, şevli yüzeylerde probleme sebep olan zemin ortamının bileşimini ve mekanik davranışını bilmek önem arz etmektedir. Doğal ve yapay yamaçların risk analizleri, detaylı olarak yapılarak güvenilir sonuçlara ulaşılabilir. Bu analizlere dayalı olarak, kabul edilebilir bir risk seviyesine göre optimal teknik çözümler üretmek mümkündür. Bu alandaki araştırmalar, mevcut bilgileri gözden geçirerek bu bilgileri geliştirmek için yeni bir fırsat verir. Çalışmanın temel amacı, şev stabilite analizlerindeki problemlerin objektif bir şekilde değerlendirilmesidir. Bu nedenle, analizlerde kullanılan şev modelinde risk yaratması öngörülen ve konu ile ilgili literatüre katkı sağlayacağı düşünülen parametreler (Şev açısı, içsel sürtünme açısı, kohezyon, yeraltı suyu seviyesi) araştırılmıştır. Sonuçta, bu alandaki doğru kararları ve en iyi teknik çözümleri hazırlamanın bir ön şartı olarak, bu konuyla ilgili farkındalık yaratmaya katkıda bulunması gereken araştırma girdi parametrelerinin duyarlılığına özel önem verilmesi gerektiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şev, Risk faktörleri, Güvenlik katsayısı

ABSTRACT: *Both, natural and slopes induced by human activity, created for different purposes, permanent geotechnical problem. So, an important aspect in understanding the complexity of mechanical behavior of the soil is the knowledge of all factors that cause problem. The important research work can be a good results for the analysis of natural and man-made slopes. Based on such analysis, it is possible to make an optimal*

technical solutions with respect to an acceptable risk level. Research in this area give an new opportunity to review and improve the existing knowledge. The main objective of this study is to present the problems of slope stability. In this regard, the parameters (slope angle, internal friction angle of the soil, soil cohesion, groundwater level) which create risks at slopes and should contribute to raising awareness about this issue are investigated, As a result of this study, special emphasis is given to the sensitivity of the calculation research parameters (soil, load), as a prerequisite to make the right decisions and optimal technical solutions in this area.

Keywords: *Slope, Risk factors, Factor of safety.*

1. GİRİŞ

Yatayla belli bir açı yaparak duran yeryüzü şekillerine şev denir. Şev ortamlarında yüzey yeterli açısal düzlemde değilse yerçekimi etkisinin bileşkesi ile zeminin aşağıya doğru hareketi meydana gelir ve şev stabilitesini kaybederek çevresel bir risk durumu meydana gelir. Şevlerin çevresel risk durumlarının değerlendirilebilmesi için topografik ortamda sıklıkla karşılaşılan doğal şevlerin, kazı şevlerinin ve kontrollü sıkıştırılmış şevlerin göçmeye karşı güvenliklerinin bilinmesi gereklidir. Çevresel risk oranının belirleneceği (şev güvenliği) bir şev için, göçme mekanizmasını etkileyen tüm faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir. Bu faktörler genellikle, şevin hareketini doğuran kuvvetler ve bu kuvvetlere karşı direnen kuvvetlerin oluşturduğu faktörlerdir.

Zemin yapısının güvenliği çoğu kez güvenlik faktörü (çevresel risk faktörü) denilen bir parametre ile tanımlanır. Bu parametre; zeminin mevcut mukavemetinin, uygulanan yüklemeye oranı şeklinde ifade edilebilir ve incelenen yapının stabilitesini temsil eden bir matematiksel oran olduğundan, şev stabilite analizinde ele alınan kayma mukavemeti ve gerilmelere göre değişir.

Mühendislikte çok çeşitli güvenlik faktörü (çevresel risk faktörü) tanımları mevcuttur. Bunlar; Potansiyel kayma yüzeyi boyunca direnen kuvvetlerin kaydıran kuvvetlere oranı, bir noktada direnç gösteren momentlerin, kaydıran momentlere oranı, potansiyel kayma yüzeyi boyunca zemindeki mevcut kayma mukavemetinin ortalama kayma gerilmelerine oranı, belli bir kayma yüzeyi boyunca şevi limit denge durumuna getirebilmek için kayma mukavemeti parametrelerinin azaldığı bir faktör gibi tanımlardır. Bu tanımlara bağlı olarak bir zeminin tüm stabilitesi için;

F= direnen kuvvetler / harekete geçiren kuvvetler

şeklinde bir formül bulunmuştur. Bu denklemde, seçilen bir kayma yüzeyi boyunca yalnızca göçmede değil, aynı zamanda dengede olma durumunda da güvenlik faktörünün minimum değerinin 1.0 olması gerektiği belirtilmiştir.

1773'te Coulomb, yapmış olduğu çalışmada kayma yüzeyi kabulü ile uzun yıllar boyunca, şev stabilitesi analizlerinin alt yapısını oluşturmuştur. İlerleyen yıllarda da gerek yeryüzündeki şevlerin stabilite analizleri gerekse de bu şevlerin hareketlerine ilişkin literatürde (Bishop (1955); Spencer (1968); Spencer (1973); Maksimovic (1979); Ching ve Fredlund (1983); Fredlund (1984); Brinkgreve ve Bakker (1991); Duncan (1996); Griffiths ve Lane (1999); Cheng (2003); Hammah ve diğ. (2005); Cheng ve Lansivaara (2007)) çalışmalar bulunmaktadır. Şevlerle ilgili literatürde bulunan bir çok çalışmadaki temel amaç ise çevresel bir risk oluşmaması (yeterli güvenlik faktörü değeri) için zemin yapılarında kazılarda ve dolgularda, ekonomik ve güvenli çözümler elde etmektir. Bu konu ile ilgili şev kaynaklı çevresel risk araştırmaları, ortamdaki malzeme, çevre ve ekonomik parametrelerin detaylı araştırmasını kapsar.Artan nüfus ve teknolojik gelişmelere paralel olarak çoğalan yollar, problemli zeminler üzerinde yüksek dolgular, barajlar, büyük ve derin kazılar yapılması sorunluluğu nedeniyle, şev stabilite analizleri git gide önem kazanmaktadır.

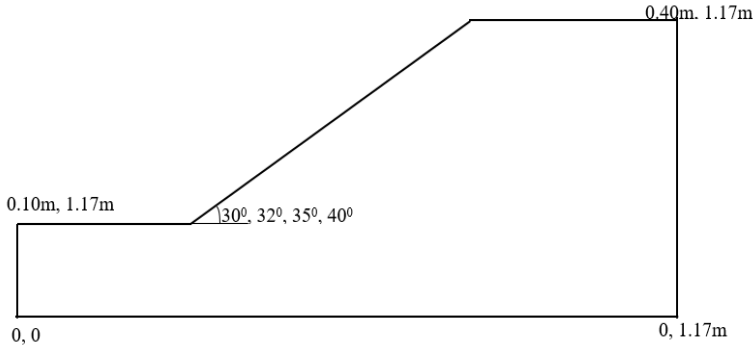
2. MALZEME VE YÖNTEM

Sonlu elamanlar yöntemi, 1956 yılında uçak gövdelerinin gerilme analizleri için geliştirilmiş ve sonraki yıllarda mühendislik problemlerinin çözümünde de kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntem, yıllar geçtikçe hızla geliştirilmiş ve günümüzde bir çok mühendislik uygulamalarının çözümünde kullanılmaya başlanmıştır. Sayısal analizler, karmaşık mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılan etkin matematiksel yöntemlerdir. Sayısal analiz yöntemleri arasında en yaygın olarak kullanılan sonlu elemanlar yöntemi, sürekli bir ortamın sonlu eleman olarak adlandırılan çeşitli geometrik alt bölgelere ayrılarak mühendislik problemlerinin çözülebildiği matematiksel yöntemlerden biridir. Sonlu elemanlar yöntemi, bir çok mühendisliğin çoğu uygulamalarında hem araştırma amaçlı, hem de problemlerin tasarımında yaygın olarak kullanılan bir sayısal analiz tekniğidir (Köksal, 1995).

Klasik şev stabilite analizlerinde, zemin kütlesi içerisindeki gerilmelerin analizinin yaklaşık olması, değişik yükleme koşulları ve geometrilerde hesabı güçleştirmektedir. Bilgisayar kullanımının, tüm alanlarda olduğu gibi mühendislikte de yaygınlaşması ile şev stabilite analizlerinde sonlu elemanlar yöntemi artan bir şekilde kullanılmaktadır.

Sonlu elemanlar yaklaşımının diğer geleneksel limit denge yöntemlerine göre avantajı, şevin göçme yüzeyinin yeri ve şekli, dilimlerin şiddeti ve yönleri ile ilgili bir kabule ihtiyaç duyulmamasıdır. Sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık şev geometrileri, farklı zemin, sınır ve yükleme koşullarında iki veya üç boyutlu olarak tüm göçme mekanizması tiplerinde uygulanabilmektedir. Şev modellenirken birçok zemin malzeme modeli kullanılarak gerçeğe yakın malzeme bünye davranışı elde edilebilmekte, zeminde oluşan gerilmeler ve deplasmanlar doğru bir şekilde hesaplanabilmektedir. Ayrıca, uzun ve kısa süreli stabilite analizlerinde, yeraltı su seviyesi bulunması, şevin geotekstil veya zemin çivisi gibi materyallerle güçlendirilmesi durumlarında da yöntem rahatlıkla kullanılabilmektedir.

Bu çalışmada, şevli alanlarda şevin göçme mekanizmasını etkileyen parametrelerin (su seviyesi, zemin cinsi, şev açısı vb.) araştırılması amacıyla literatürde sıklıkla kullanılan sonlu elemanlar yöntemiyle (Plaxis 2D) sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Şev stabilitesinin iki boyutlu düzlem şekil değiştirme problemi olarak dikkate alınmıştır. Bu nedenle, Sonlu elemanlar yönteminde (Plaxis 2D), plane strain durumu gözönüne alınarak iki boyutlu analizler gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi (Plaxis 2D) ile yapılan analizlerde kullanılan sonlu elemanlar modeli Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Analizlerde kullanılan sonlu elemanlar modeli

Bu çalışma kapsamında, literatürde yaygın olarak kullanılan elasto-tam plastik zemin davranışını modelleyebilen MC zemin modeli kullanılmıştır. MC modeli, elastisite modülü (E), poisson oranı (υ), kohezyon (c), içsel sürtünme açısı (φ) ve dilatasyon açısı (ψ) olmak üzere beş ayrı parametreyi içermektedir. Ayrıca, $E_{increment}$ ve $c_{increment}$ gibi ileri düzey parametreler de modelde yer almaktadır. Analizlerde, Plaxis 2D programında bulunan 5 farklı mesh (ağ sıkılığı) tipinden en sıkı (very fine) olan seçilerek analizler gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada, şevli alanlarda şev eğimi etkisini, zeminin içsel sürtünme açısı etkisini, zeminin kohezyon etkisini, kohezyonlu durumda yeraltı suyu seviyesi etkisini belirlemek amacıyla sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analiz sonuçları aşağıda sunulmuştur.

3.1 Şev Eğimi Etkisi

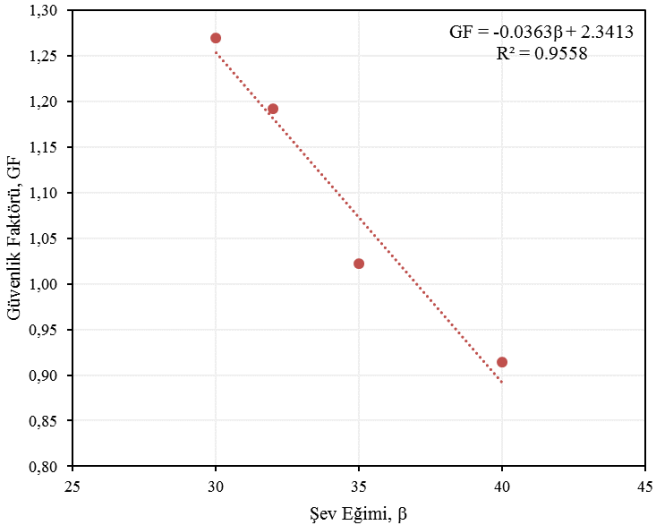
Şev eğimi etkisinin araştırabilmek amacıyla Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan zeminin model parametreleri için, kayma mukavemet açısı$\phi=35^o$, şev eğim açıları sırasıyla $\beta=30^o$, $\beta=32^o$, $\beta=35^o$, $\beta=40^o$, birim hacim ağırlığı, $\gamma=17.2$ kN/m^3, kohezyon, $c=0.01$ kN/m^2, elastisite modülü, $E=24000$ kN/m^2, poisson oranı, $\nu=0.20$ olarak belirlenmiştir. Analizler sonucunda, belirlenen güvenlik faktörleri (çevresel risk faktörü) Şekil 2 ve Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Analiz sonucu belirlenen güvenlik faktörleri

Sonlu elemanlar modeli, β	Güvenlik faktörleri
Model 1. β=30°	1.270
Model 2. β=32°	1.192
Model 3. β=35°	1.022
Model 4. β=40°	0.914

Sonuçta, şev açısının artmasına bağlı olarak, şevin göçmeye karşı güvenilirliğinin azaldığı görülmüş ve şev eğimi-güvenlik faktörü arasındaki ilişkiyi gösteren yüksek korelasyon katsayılı denklem (GF=-0.0363β+2.3413) elde edilmiştir. Şev açısının artmasına bağlı olarak belirlenen şev açısı aralığında (30^o-40^o) güvenlik

faktörlerinde % 28'e varan azalmalar meydana geldiği ve şev açısının stabilite açısından önem arz ettiği belirlenmiştir.



Şekil 2. Şev eğimine bağlı güvenlik faktörleri

3.2 Zeminin İçsel Sürtünme Açısının Etkisi

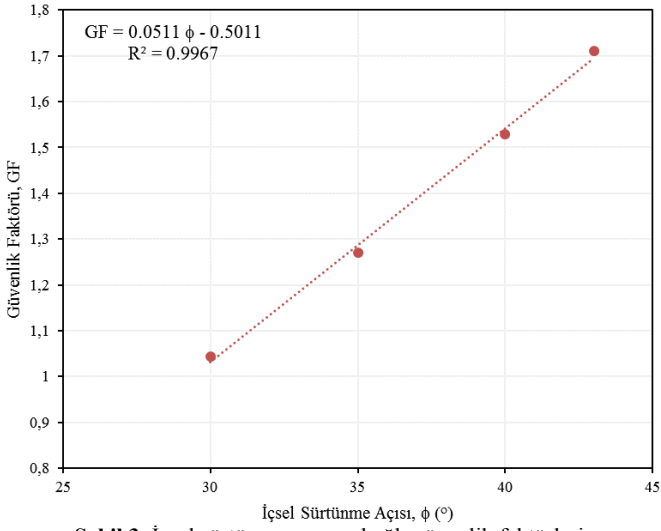
Şevi oluşturan zeminin içsel sürtünme açısının etkisini araştırabilmek amacıyla Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan zeminin model parametreleri için, kayma mukavemet açısı, $\phi=30^o$, $\phi=35^o$, $\phi=40^o$ ve $\phi=43^o$ şev eğim açıları sırasıyla $\beta=30^o$, birim hacim ağırlığı, $\gamma=17.2$ kN/m^3, kohezyon, $c=0.01$ kN/m^2, elastisite modülü, sırasıyla $E=22000$ kN/m^2, 24000 kN/m^2, 26000 kN/m^2, 28000 kN/m^2, poisson oranı, $\nu=0.20$ olarak belirlenmiştir. Analizler sonucunda, belirlenen güvenlik faktörleri (çevresel risk faktörü) Şekil 3 ve Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Analiz sonucu belirlenen güvenlik faktörleri

Sonlu elemanlar modeli, ϕ	Güvenlik faktörleri
Model 1. $\phi=30°$	1.044
Model 2. $\phi=35°$	1.270
Model 3. $\phi=40°$	1.529
Model 4. $\phi=43°$	1.711

Sonuçta, şevi oluşturan zeminin içsel sürtünme açısının artmasına bağlı olarak, şevin göçmeye karşı güvenilirliğinin arttığı görülmüş ve içsel sürtünme açısı-güvenlik faktörü

arasındaki ilişkiyi gösteren yüksek korelasyon katsayılı denklem (GF=0.0511ϕ-0.5011) elde edilmiştir. Sabit şev açısında, içsel sürtünme açısının artmasına bağlı olarak belirlenen içsel sürtünme açısı aralığında (30^o-43^o) güvenlik faktörlerinde % 39'e varan artışlar meydana geldiği ve şevi oluşturan zeminin içsel sürtünme açısının stabilite açısından önem derecesi belirlenmiştir.



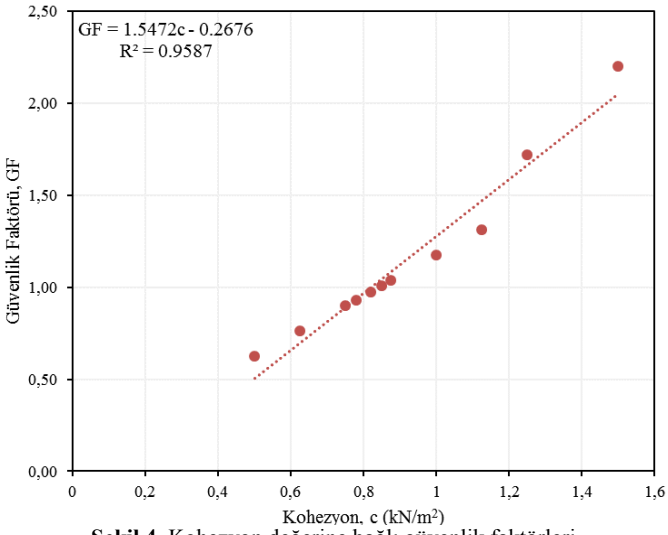
Şekil 3. İçsel sürtünme açısına bağlı güvenlik faktörleri

3.3 Zemin Kohezyonunun Etkisi

Şevi oluşturan zemin kohezyon değerinin etkisini araştırabilmek amacıyla Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan zeminin model parametreleri için, kayma mukavemet açısı, ϕ=1^o, şev eğim açıları sırasıyla β=32^o, birim hacim ağırlığı, γ=17.2 kN/m^3, kohezyon, c=0.500 kN/m^2, 0.625 kN/m^2, 0.750 kN/m^2, 0.780 kN/m^2, 0.820 kN/m^2, 0.850 kN/m^2, 0.875 kN/m^2, 1.000 kN/m^2, 1.125 kN/m^2, 1.250 kN/m^2, 1.500 kN/m^2, elastisite modülü, sırasıyla E= 24000 kN/m^2, poisson oranı, ν=0.20 olarak belirlenmiştir. Analizler sonucunda, belirlenen güvenlik faktörleri (çevresel risk faktörü) Şekil 4 ve Çizelge 3'de sunulmuştur.

Sonuçta, şevi oluşturan zemin kohezyon değerinin artmasına bağlı olarak, şevin göçmeye karşı güvenilirliğinin arttığı görülmüş ve kohezyon-güvenlik faktörü arasındaki ilişkiyi gösteren yüksek korelasyon katsayılı denklem (GF=1.5472c-0.2676) elde edilmiştir. Sabit şev açısı ve içsel sürtünme açısında, kohezyon değerinin artmasına artmasına bağlı olarak belirlenen kohezyon aralığında güvenlik faktörlerinde % 72'ye

varan artışlar meydana geldiği ve şevi oluşturan zeminin kohezyon değerinin stabiliteyi ne oranda etkilediği saptanmıştır.



Şekil 4. Kohezyon değerine bağlı güvenlik faktörleri

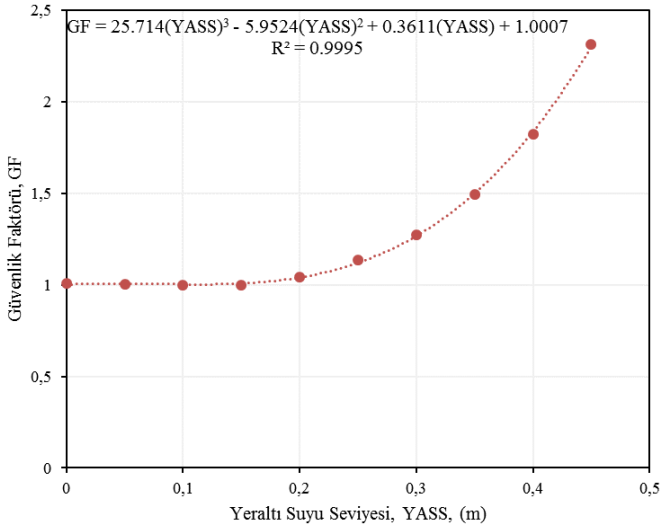
Çizelge 3. Analiz sonucu belirlenen güvenlik faktörleri

Sonlu elemanlar modeli, c (kN/m^2)	Güvenlik faktörleri
c=0.500	0.624
c=0.625	0.764
c=0.750	0.901
c=0.780	0.932
c=0.820	0.976
c=0.850	1.006
c=0.875	1.036
c=1.000	1.173
c=1.125	1.312
c=1.250	1.720
c=1.500	2.200

3.4 Yeraltı Su Seviyesinin Etkisi

Yeraltı su seviyesinin etkisini araştırabilmek amacıyla Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan zeminin model parametreleri için, kayma mukavemet açısı, ϕ=1^o, şev eğim açıları sırasıyla β=32^o, birim hacim ağırlığı, γ=17.2 kN/m^3, kohezyon, c=0.85 kN/m^2, elastisite modülü, sırasıyla E= 24000 kN/m^2, poisson oranı, ν=0.20 olarak belirlenmiştir. Analizler sonucunda, belirlenen güvenlik faktörleri (çevresel risk faktörü) Şekil 5 ve Çizelge 4'te sunulmuştur.

Sonuçta, şev tepesinden itibaren yeraltı suyu seviyesinin azaltılması durumunda belirli derinliklere (şev tepesinden itibaren 0.20 m) mesafeler kadar güvenlik faktörlerinde kayda değer bir değişim olmazken, 0.20 m'den itibaren yeraltı su seviyesinin azaltılması ile, şevin göçmeye karşı güvenilirliğinin arttığı görülmüş ve yeraltı su seviyesi-güvenlik faktörü arasındaki ilişkiyi gösteren yüksek korelasyon katsayılı denklem ($GF=25.714(YASS)^3-5.9524(YASS)^2+0.3611(YASS)+1.0007$) elde edilmiştir. Sabit şev açısı, kohezyon değeri ve içsel sürtünme açısında, yeraltı su seviyesinin şev tepesinden itibaren azaltılmasına bağlı olarak belirlenen YASS aralığında güvenlik faktörlerinde % 57ye varan artışlar meydana geldiği ve YASS değerinin stabilite açısından ne oranda önem arz ettiği belirlenmiştir.



Şekil 5. Yeraltı su seviyesine bağlı güvenlik faktörleri

Çizelge 4. Analiz sonucu belirlenen güvenlik faktörleri

Sonlu elemanlar modeli, YASS (m) Şev tepesinden itibaren mesafeler (m)	Güvenlik faktörleri
YASS=0	1.006
YASS=0.05	1.002
YASS=0.10	1.000
YASS=0.15	1.000
YASS=0.20	1.044
YASS=0.25	1.134
YASS=0.30	1.275
YASS=0.35	1.492
YASS=0.40	1.822
YASS=0.45	2.312

4. SONUÇLAR

Şevli alanlarda şev eğimi etkisini, zeminin içsel sürtünme açısı etkisini, zeminin kohezyon etkisini, kohezyonlu durumda yeraltı suyu seviyesi etkisini belirlemek amacıyla sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analiz sonuçlarına göre;

- Şev açısının artmasına bağlı olarak (30^oden 40^oye), şevin göçmeye karşı güvenilirliğinin azaldığı, güvenlik faktörlerinde % 28'e varan azalmalar meydana geldiği belirlenmiştir.
- Şevi oluşturan zeminin içsel sürtünme açısının artmasına bağlı olarak (30^oden 43^oye), sevin göçmeye karşı güvenilirliğinin arttığı, güvenlik faktörlerinde % 39'e varan artışlar meydana geldiği belirlenmiştir.
- Şevi oluşturan zemin kohezyon değerinin artmasına bağlı olarak, şevin göçmeye karşı güvenilirliğinin arttığı, güvenlik faktörlerinde % 72'ye varan artışlar meydana geldiği belirlenmiştir.
- Şev tepesinden itibaren yeraltı suyu seviyesinin azaltılması durumunda belirli derinliklere (şev tepesinden itibaren 0.20 m) mesafeler kadar güvenlik faktörlerinde kayda değer bir değişim olmazken, 0.20 m'den itibaren yeraltı su seviyesinin azaltılması ile, güvenlik faktörlerinde kayda değer bir artış meydana geldiği görülmüştür. Sabit şev açısı, kohezyon değeri ve içsel sürtünme açısında, yeraltı su seviyesinin şev tepesinden itibaren azaltılmasına bağlı olarak belirlenen YASS aralığında güvenlik faktörlerinde % 57'ye varan artışlar meydana geldiği belirlenmiştir.
- Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analizler sonucunda, tüm araştırma parametrelerinin aralarındaki ilişkileri belirleyebilmek amacıyla yüksek korelasyonlu denklemler üretilmiş ve şevin stabilitesinin korunması çevresel risk oluşmaması bakımından bu parametrelerin önem arz ettiği belirlenmiştir.
- Tüm parametreler kendi aralarında karşılaştırıldığında, belirlenen parametre aralıkları için, stabilite açısından şevi oluşturan zeminin içsel sürtünme açısı, kohezyon değerleri ve şev açısının ilk olarak değerlendirilmesi gerektiği, sonrasında ise YASS vb. etkilerin dikkat alınması gerektiği düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

Bishop, A.W., 1955. The use of slip circle in the stability analysis of slopes, Geotechnique, 5, pp. 7-17, http://dx.doi.org/10.1680/ geot.1955.5.1.7.

Brinkgreve, R.B.J., Bakker, H.L., 1991. Non-linear finite element analysis of safety factors, Proc. of the 7th Int. Conf. on Comp. Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG), Cairns, pp. 1117-1122.

Ching, R.K.H., Fredlund, D.G., 1983. Some difficulties associated with the limit equilibrium method of slices, Canadian Geotechnical Journal, pp. 661-672, http://dx.doi.org/10.1139/t83-074.

Cheng, Y.M., Lansivaara, T., Wei, W.B., 2007. Two-dimensional slope stability analysis by limit equilibrium and strength reduction methods, Computers and Geotechnics, 34, pp. 137-150, http://dx.doi.org/10.1016/j.compgeo.2006.10.011

Duncan, J.M.,1996. State of the art: limit equilibrium and finite-element analysis of slopes, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE,22, 7, 577-596.

Cheng, Y.M., 2003. Location of critical failure surface and some further studies on slope stability analysis. Computers and Geotechnics 30 (2003), pp. 255-267, http://dx.doi.org/10.1016/S0266-352X(03)00012-0.

Fredlund, D.G., 1984. State of the Art Lecture-Analytical methods for slope stability analysis, IV Int. Symposium on Landslides, Toronto.

Griffiths, D.V., Lane, P.A., 1999. Slope stability analysis by finite elements, Geotechnique, 49, 3, pp. 378-403.

Köksal, T., 1995. Sonlu Elemanlar Metodu. Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını, No:304, İstanbul.

Hammah, R., Jacoub, T., Corkum, B., Curran, J., 2005. A comparison of finite element slope stability analysis with conventional limitequilibrium investigations, Rocscience.

Maksimovic, M., 1979. Limit equilibrium for nonlinear failure envelope and arbitrary slip surface, Proc. 3rd Int. Conf. on Numerical Methods in Geomechanics, Aachen, pp. 769-777.

Spencer, E., 1968. Effect of tension on stability on embankments. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE, 94, SM5, pp.1159-1173.

Spencer, E.. 1973. Thrust line criterion in embankment stability analysis. Geotechnique, 23, pp. 85-100, http://dx.doi.org/10.1680/ geot.1973.23.1.85.

TAŞ OCAKLARI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ
QUARRIES AND ENVIRONMENTAL EFFECTS

Hüseyin KURT

Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Müh. Böl., Konya, TÜRKİYE
hkurt@selcuk.edu.tr

ÖZET: Taşocakları; mermer, kırmataş, mıcır, agrega, anrojman gibi malzemelere hammadde kaynağı oluşturmaktadır. Bu kayaçların mineralojik, petrografik, jeokimyasal ve mühendislik özellikleri kullanımları açısından önemli kriterlerdir. Gerçekleşen büyük projelerde bu taş ocaklarından her zaman yararlanılmaktadır. Bu tür malzemelere duyulan talep artan nüfusa ve yapılan projelere göre artmaktadır. Taşocağı faaliyetleri sonucu ortaya çıkan çevresel ve görsel bozulmaların yanı sıra çok yönlü olumsuz etkiler oluşabilmektedir. Bu durum taşocağı işletmeciliğinin kamuoyunca problemli bir sektör olarak nitelendirilmesine neden olmaktadır. Bunun için işletme sonrası taşocaklarını rehabilite ederek çevreye uyumlu ve faydalı hale getirmek önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Taşocakları, Üretim, Ekonomi, Rehabilitasyon

ABSTRACT: *Quarries; marble, crushed stone, gravel, aggregate, armourstone constitute a source of raw materials. Mineralogical, petrographical, geochemical and engineering features of the rocks are important criteria for use. Realized in large projects are always benefited from these quarries. Such materials to the growing population and the need to increase in comparison to the projects. Stone quarries activities as well as environmental and visual impairment as the result of multiple adverse effects may occur. This condition is caused by stone quarries operations to qualify as a problematic sector of public opinion. Mineral reserves ending locations was rehabilitated as it is in modern society to make environmentally sound and useful.*

Keywords: *Quarries, Production, Economy, Rehabilitation*

1. GİRİŞ

Bütün gelişen ve büyüyen toplumlar daha modern karayolları, otobanlar, barajlar, köprüler, hava alanları, tren yolları, limanlar, ticaret merkezleri, sanayi bölgeleri ve lüks

konutlara sahip olmak isterler. Bu gelişmişliğin alt yapısının mermer ve taşocakları ile direkt ilişkili olduğu da bilinen bir gerçektir. Bu şekilde bilinmesine rağmen mermer ve taşocakları hep olumsuz yönleriyle gündeme getirilmekte ve yukarıda geliştirilen büyük projelerin birinci derecede işletilen taşocakları ile ilgili olduğu unutulmaktadır. Yine mermer ve taşocağı işletmeleri ve dolaylı yoldan onların türevleri birçok insanın aş ve ekmek kapısı olduğu da bilinen diğer bir gerçektir.

Mermer ve taş ocak işletmelerinin ve açık ocak madenciliğinin yeryüzünün genel yapısı, bitki örtüsü, hava, yeraltı ve yerüstü suları, gürültü, toz gibi çevre elemanları üzerinde etkisinin olduğu tartışma götürmez bir gerçektir. Bu etkiler içerisindeki büyük problemlerden birisi "görsel etki" olup diğer sorunların da göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Çünkü görsel etki, aynı zamanda diğer sorunların bir göstergesidir.

Mermerler ve taşocakları diğer madenler de olduğu gibi insan sağlığını etkileyecek atmosfer şartlarında asit veya bazik ortamlarda, çevrede kalıcı bir etkisinin olduğu bilinmemektedir. Mermer ve taş ocaklarının çevreye olan etkisi göze çarpma yönünden dezavantajlıdır. Verimli tarım arazisini oluşturan ovanın içinde bakır fabrikasının kurulmuş olması veya termik santrallerde desülfürizasyon kontrol sistemlerinin olmaması gibi çevreye çok daha fazla zarar veren fakat görsel özelliği olmayan bazı sektörlerin etkileri ile kıyaslandığında çevreye daha az zararlı olduğu bir gerçektir.

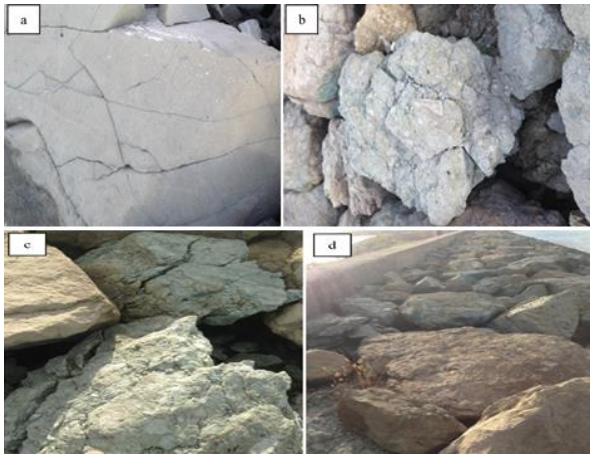
2. TAŞOCAKLARI ÇEVREYE ZARAR VERMEYECEK YERLERDE AÇILAMAZ MI?

Bazı araştırmacılara göre olumsuz etkilerinden dolayı taş ocağı işletmelerinin ormanlar ve su üretim alanları dışında, yerleşim alanlarının uzağında ve ağaçlandırılamayacak olan kayalık arazide açılması gerektiği vurgulanmaktadır. Her hangi bir fabrika herhangi bir yerde kurulabilir fakat taş veya mermer ocakları onların bulunduğu yerde açılmak zorundadır. Türkiye'de gazete okumak için her yıl yüzbinlerce ağacın kesilmesi gerekmektedir, bundan dolayı gazete çıkarılmamalıdır denebilir mi. Ocak işletmelerini ormanları yok eden bir faaliyet olarak düşünenlerin taş yerine ağaç kullanılsa idi ne kadar ormanın yok edilmesi gerektiğini de düşünmeleri gerekir. Tüm madencilik

faaliyetleri için yok olan ağaçlar, ormanların bakımı, geliştirilmesi için Orman Genel Müdürlüğünce kesilen ağaçların çok az bir kısmıdır.

Ocaklar veya işletmeler rastgele değil yapılacak işin durumuna göre ocağın konumu da ona göre seçilmektedir. Örneğin, ocaktan çıkan malzeme deniz dolgusu için mi ya da kara yolu balast malzemesi için mi kullanılacak. Her taş her yerde kullanılamayacağı gibi, uygun olan taşlarında ekonomik boyutları hesap edilerek ocaklar açılmaktadır. Dolayısıyla taş çok iyi olduğu halde yapılacak iş için ekonomik olmayabilir. Bazı yerleşim alanlarına veya yol kenarlarına açılmış ocakların durumunu bu yönüyle de çevrecilik açısından değerlendirmek gerekir. Dolayısıyla aşağıda belirtilen özellikler de dikkate alındığında ocak seçimi oldukça dikkat gerektirir.

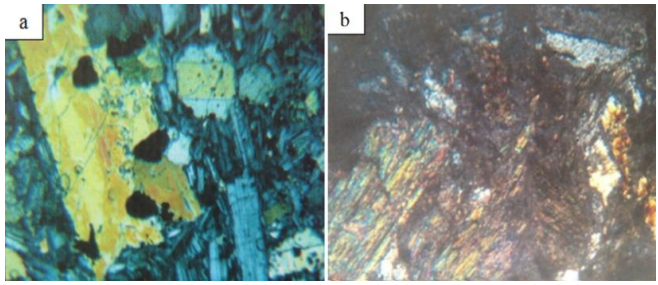
Kullanılacak kayacın yerinde gösterdiği durumlarla atmosfer ve su ortamında göstereceği davranışların bilinmesi gerekir. Kayaçlarda süreksizlik düzlemlerinin bulunmaması ve kayacın atmosferik etmenlerce ayrışmamış olması kayaçlarda aranılan önemli mühendislik özellikleridir. Kayaçların içerdiği mineraller de oluşan kaolinleşme, kloritleşme, serpantinleşme, karbonatlaşma vb. gibi alterasyonlar (Şekil 1) kayaçların kullanılacağı ortamlarda (örneğin; dalgakıran, liman, kıyı dolgusu, baraj dolgu malzemesi gibi su ortamları) etkili olur ve kayaçların mukavemetinde olumsuz etki yapar.



Şekil 1. (a): Kumtaşlarında killeşme, (b): Volkanik kayaçlarda kloritleşme (c): Ofiyolitlerde serpantinleşme, (d): Ayrışmayla kayaçlarda düşey yönde betona göre alçalma

Arazide petrografik incelemelerde her hangi bir alterasyon (bozunma) göstermeyen bazalt (Şekil 2a) liman, dalgakıran vb. tür projelerde kullanıldığında

oldukça uzun bir süre dayanımlı olurken, altere olmuş bazalt (Şekil 2b) kullanılması halinde çok kısa bir zamanda ayrışarak mukavemetini kaybedebilir.



Şekil 2. (a) Sağlam ve (b) altere olmuş (kloritleşmiş, karbonatlaşmış) bazalt örneklerinin mikroskop altındaki görüntüleri.

Ayrıca kayaçlarda nem miktarının artması kayacın direncini olumsuz yönde etkileyen diğer bir etmendir. Nem, gerilme hızını arttırarak kayacın gücünü azaltmaktadır. Birçok kayacın heterojen özellikte olması, yanlış taş seçimi, atmosferik şartlar (yağış, donma-çözülme, buharlaşma, gece-gündüz sıcaklık farkları) taşlarda eriyebilen tuzların bulunması ve organik canlı etkileri yapıtaşlarının ayrışıp bozuşmasına etki etmektedir.

3. OCAKLARIN ÇEVREYE OLUMSUZ ETKİLERİ

Mermer veya taşocaklarında çevre yapısını en çok bozan mermer veya taş kütlesinin açığa çıkarılması için yapılan dekapaj işlemleridir. Dekapaj, üretim sonucunda oluşan çukurluklar ve mermer atıklarının dökülmesinden en çok yeryüzü ve topografya etkilenmektedir. Böylece doğal taş işletmeciliğinin esasını oluşturan üretim sonucu toprak kayıpları ve buna bağlı olarak görsel kirlilik oluşabilmektedir. Yine işletme binaları, sosyal tesisleri, yollar, elektrik hatları, bölgeye çalışmak için gelenlerin oluşturduğu barınaklar çevreyi olumsuz olarak etkileyebilmektedir.

Üretim, delme-patlatma, elmas telle kesim, zincirli kollu kesme, sayalama, monalama makineleri ile yapılmaktadır. Ocakların yerleşim yerlerine yakın olması durumunda gürültü, titreşim ve özellikle de toz kirliliği açısından büyük bir önem arz etmektedir. Yine patlatma sonrasında oluşan büyük taşların kırılmasında kullanılan hidrolik kırıcıların oluşturduğu gürültü ve titreşimlerin önemli çevresel zararı olabilmektedir. Taş ocaklarının yerleşim alanları yakınında açılması ve işletilmesi yerleşim alanlarında yaşayan insanların da gürültüden zarar görmelerine sebep olmakta

veya en azından rahatsız etmektedir. Yine ocaklardaki patlatmalar taş ocağına yakın yerleşim alanlarındaki evlerin duvarlarında çatlamalara neden olabilmektedir. Delme patlatma faaliyetleri sırasında ortaya çıkan tozun büyük bölümü ocak içerisinde kalırken, ocak dışına çıkan kısım rüzgarların etkisiyle çevreye yayılabilmekte ve bazen yerleşim bölgeleri üzerinde sorun oluşturabilmektedirler. Kırma-eleme tesislerinde oluşan gürültü ve titreşimler olumsuz etki yaratabilmektedir. Ocak içi yollarda meydana gelen toz, sulama yöntemiyle en aza indirilirse de kırma eleme tesislerinde meydana gelen toza karşı mücadele daha zor olmaktadır. Nakliyat kamyonlarının oluşturduğu gürültü ve titreşimler çevresel açıdan olumsuz etki yaratabilmektedir.

Ocaklarda ortaya çıkan atıkların oluşturduğu pasa malzemelerinin döküm sahaları topografyada yükseltiler oluştururken, malzemenin boşaltıldığı yerler ise çukurluklar oluşturmaktadır ve doldurulmadan terk edilen bu tür çukurluklar kötü bir görüntü kirliliği oluşturmaktadır. Çukurlar, arazinin yeraltı suyu akışını engelleyebilmekte ve çukurlara doldurulan kirletici atıklar yeraltı sularına sızarak, içme sularını kirletebilmektedir. Yine eğimli araziye yığılan materyaller hemen veya bir süre sonra yamaç aşağı kaymakta ve aşağıdaki değerli araziyi veya dere yatağını da kullanılmaz hale getirebilmektedir.

İşletme emniyeti olmadan açılan ocaklarda yanlış tasarım ve kazı sonucu oluşan şev duraysızlığı, taş düşmesi, can ve mal kaybı gibi çevre açısından tehlikeler oluşturabilmektedir.

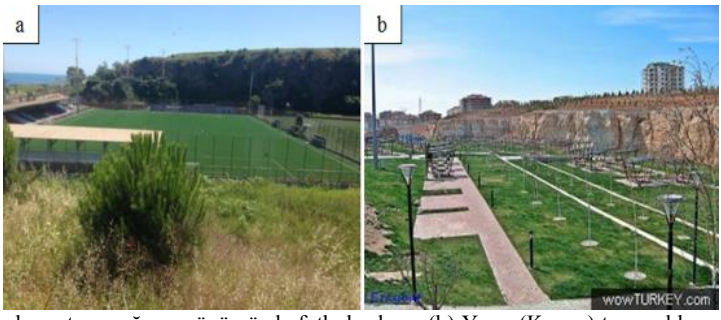
Arama çalışmaları üretime dönmeyecek ise deneme üretimi, sondaj çalışmaları ve yapılan yol açma çalışmaları sonucu terk edilen alanlar çevreyi olumsuz etkilemektedir. İşletme yapılan alanlarda ağaçların kesilmesi ile görsel olarak alanın açığa çıkması, oluşan pasa malzemesinin döküm alanlarının giderek büyümesi, basamak ve ayna açılması, şevler oluşturulması bunlarla ilgili birçok yol açılması çevreye olumsuz etki yapmaktadır. İşletme sonrası terk edilen alanlarda kesinlikle, düzenleme çalışmaları yapılarak, terk edilen alanların çevreye yararlı olacak konuma getirilmesi gerekmektedir.

4. İŞLETME SONRASI TAŞ OCAKLARINDAN FAYDALANMA

Her üretimin ve tüketimin olduğu faaliyetlerin tümünde mutlaka atık olacaktır, önemli olan gerekli çevre önlemlerini alarak faaliyetlerde üretimin istihdamın geliştirilecek

şekilde sürdürülmesidir. İşletmecilik sırasında ve sonrasında alanın geri kazanımı için uygun olabilecek seçeneklerin bilinmesi ve işletme yapılacak alanlardaki yerel halk ve sivil toplum örgütleri ile bu geri kazanım için uygun olabilecek seçeneklerin paylaşılması işletmeci firmanın doğru algılanma ve kabul görülmesi açısından çok önem taşımaktadır. Ocak işletmeciliğinin çevrede yarattığı etkileri en aza indirgemek için tüm bu faaliyetlerin başından sonuna kadar iyileştirme ve yeniden kazanma çalışmaları yapılmaktadır. Rehabilitasyon çalışmaları olarak, faaliyet sahasının yeniden iyileştirilmesi, arazi duraylılığının sağlanması, peyzaj çalışmalarının sürdürülmesi zorunluluktur. Taş ocağı işletmesi sonrası doğa tahribatları, hem görsel açıdan hem de çevre açısından sorunlara neden olmaktadır. Bozulan alanların iyileştirilmesinde ana hedef, bu alanların geri kazanımları, onarımları ya da farklı amaçlar için kullanımları, doğal ve sürdürülebilir bir çevrenin yeniden oluşmasına olanak sağlamalarıdır. İşletme sonrası ocaklar tehlike oluşturacak şekilde terk edilmemelidir.

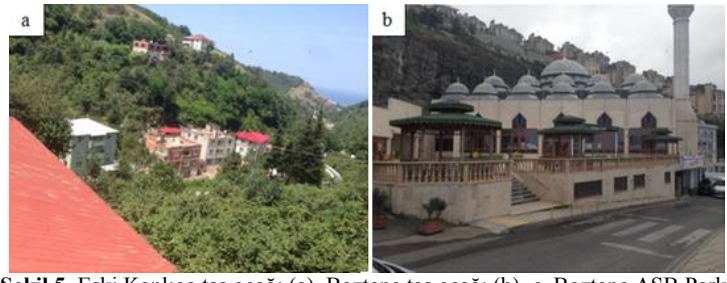
Modern ve planlı işletmecilikte işletme sonrası taş ocakları değişik şekillerde insanlığın yararlanacağı bir hale getirilmektedir. Üretimi sonlandırılmış ocaklara spor alanları, yerleşim alanları, park gezinti alanları, sosyal mekanlar, endüstri alanları, müze, restoran, doğal şelale, açık hava tiyatrosu v.b. çalışmaların yapılması yöre halkının madenciliğe farklı bir bakış açısı getirmesini sağlamaktadır. Taş ocağı işletmeciliği yapılan alanlar, ekonomik ömrünü tamamladıktan sonra Çevreye yararlı hale getirilebilir. Trabzon'da, Trabzon Limanının yapılışında işletilen taş ocağı günümüzde futbol sahası olarak hizmet vermektedir (Şekil 3a). Eskiden işletilmiş olan Konya Yazır taş ocakları, günümüzde İnsanların yararlandığı park alanları haline getirilmiştir (Şekil 3b).



Şekil 3. (a) Trabzon taş ocağının günümüzde futbol sahası, (b) Yazır (Konya) taş ocaklarının park olarak hizmet vermesi.

Trabzon'un en büyük taş ocaklarının bulunduğu Değirmendere vadisinde Deliklitaş mevki taş ocakları günümüzde yeniden tanzim edilerek Katı Atık Transfer İstasyonu ve Kömür tevzi sahası olarak hizmet vermektedir (Şekil 4). Yine Trabzon Ortahisar Beştaş (Kanlıga) taş ocağı günümüzde fındıklık, fundalık ve konut alanı olarak, Trabzon Boztepe taş ocağı cami ve park alanı olarak değerlendirilmiştir (Şekil 5). Bunlara benzer şekilde ocaklarda işlevi sona ermiş alanlar Mersin Taşucu Medmar mermer ocağında olduğu gibi orman ve meyve bahçesi (Şekil 6) vb. gibi faydalanılacak mekanlara dönüştürülmektedir.

Şekil 4. Trabzon değirmendere taş ocaklarının yerinde katı atık transfer istasyonu (a) ve kömür tevzi (b).

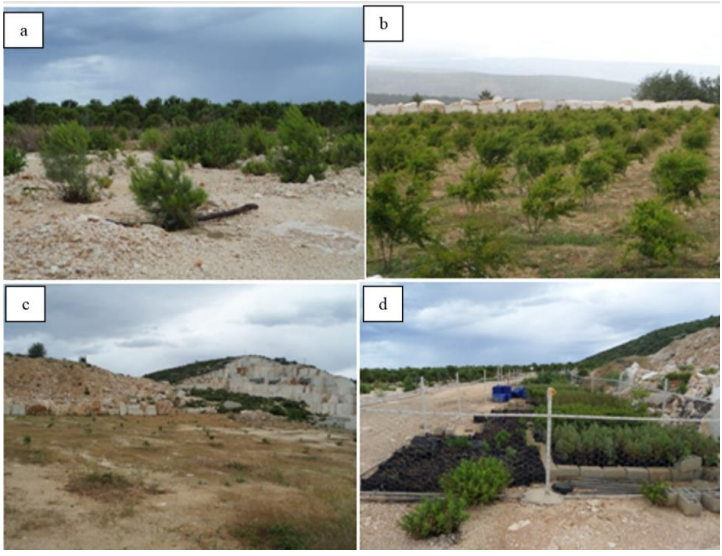


Şekil 5. Eski Kanlıga taş ocağı (a), Boztepe taş ocağı (b), c. Boztepe AŞB Parkı

5. SONUÇ

Taşocakları mühendislik özellikleri ile en önemli kırmataş, agrega, anrojman, yapı taşı, balast malzemesi v.b. hammadde kaynağıdırlar. Ülkelerin hızlı gelişimi ile gerçekleşen yapılaşma ve büyük projelerde kullanılan kaliteli ve üzün ömürlü malzemeler dolayısıyla, bu tür ocaklardan yararlanmayı her zaman zorunlu hale getirmiştir. İşletme yapılırken insanlığın ve doğanın her türlü dokusu düşünülerek üretimler yapılmalıdır. Hastalara tedavi amaçlı verilen ilaçların hepsinin de belli bir yan etkisi vardır, bu yan etkiden dolayı hiç kimse sağlığı için ilaç kullanmaktan vazgeçmez. İşletmecilik

esnasında ve sonrasında tasarımlar sürekli geliştirilmeli, kötü örnekler alınarak her türlü işletmeciliğe hayır demekten vazgeçilmelidir.



Şekil 6. (a) Fıstık Çam ormanlığı (Medmar-Taşucu), (b) Nar Bahçesi (Medmar-Taşucu), (c) Ceviz fidanlığı (Medmar-Taşucu),(d) Fide yetiştiriciliği (Medmar-Taşucu)

KAYNAKLAR

Acır, Ö. ve Kılıç, R., 2006. "Anroşmanların Kalite ve Performansının Schmitd Sertliği ve Bazı Fizikomekanik Özelliklere Göre Değerlendirilmesi: Giresun Limanı". Mühendislik Jeolojisinde Çağdaş Uygulamalar Sempozyumu Bildiriler Kitabı. 397-404. Denizli.

Akpınar, N., Kara, D., ve Ünal. E. 1993. Açık Ocak Madenciliği Sonrası Alan Kullanım Planlaması. Türkiye XIII. Madencilik Kongresi, 327-340, İstanbul.

Doğan, T., Karadoğan, A., Kahriman, A., ve Durdu, İ. 2003. İstanbul İli ve Çevresinde Bulunan Kırmataş Ocaklarına Genel Bir Bakış. Ill Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 166-178, İstanbul.

Kurt, H., Yeşilkaya, L., Ersoy, M. ve Kekeç, B., 2006. Mermer & Parlatılabilir Kayaçlar, Atlas Akademi, 278 s.

Kurt, H. ve Arık, F., 2003. Mineraloji, Atlas-Nobel Yayın Dağıtım, 254 s.

Kurt, H., 1998. Maden Mühendisleri İçin Mineraloji ve Petrografi. Uğur Matbaacılık Basımevi, Konya, 240 s.

WWW.altinmadencileri.org.tr. 2008.Madencilik sektörü ve altın madenciliği.

MACUN DOLGUNUN ÇEVRESEL ETKİLERİ: ÇBİ DENEYİMİ

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF PASTE BACKFILL: CBI PRACTISE

Bayram ERÇIKDI[1*], Ferdi CİHANGİR[1], Ayhan KESİMAL[1], Hacı DEVECİ[1], Mehmet EĞRİBOYUNOĞLU[2], Korhan YILMAZ[2]

1: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon, TÜRKİYE

2: Çayeli Bakır İşletmeleri, Madenli, Çayeli/Rize, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: bercikdi@ktu.edu.tr

ÖZET: Madencilik endüstrisinde, cevher zenginleştirme işlemleri sonucunda önemli miktarda (ülkemizde >30 milyon ton/yıl) katı atık açığa çıkmaktadır. Bu nedenle zenginleştirme projelerini, esas olarak bir "atık yönetimi" projesi olarak değerlendirmek daha uygundur. Madencilik faaliyetleri sonucu açığa çıkan cevher zenginleştirme atıklarının macun dolgu olarak yeraltı üretim boşluklarında depolanması; teknik, çevresel ve ekonomik açıdan sağladığı avantajlardan dolayı Avrupa Birliği Komisyonunca "mevcut en iyi tekniklerden" birisi olarak değerlendirilmektedir. Uygun bir atık yönetimi yöntemi olan macun dolgu kısaca cevher zenginleştirme atığı, bağlayıcı ve karışım suyundan oluşmaktadır. Özellikle Kanada ve Avustralya'da yaygın olan ve dünyada 150'den fazla işletmede kullanılan macun dolgu teknolojisi, ülkemizde 1999 yılından itibaren Çayeli Bakır İşletmeleri (ÇBİ)'de başarıyla uygulanmaktadır. Bu çalışmada, cevher zenginleştirme işlemleri sonucu açığa çıkan atıkların ortalama %50-53'ünün macun dolgu olarak yeraltı üretim boşluklarında depolandığı ÇBİ'deki macun dolgu uygulaması hakkında bilgi verilerek, uygulamada madencilik ve çevresel açıdan göz önünde bulundurulan faktörler açıklanmıştır. Ayrıca macun dolgunun yeraltı sularına etkisini değerlendirmek amacıyla 5 farklı yeraltı suyu kuyusundan macun dolgu uygulamasından önce (1996-1999) ve sonra (2000-2017) alınan su örneklerinin pH, Cu, Zn, Pb, Fe, SO_4 değerlerindeki değişim karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Macun dolgu, Sülfürlü atıklar, Atık yönetimi, Çevresel faktörler

***ABSTRACT**: In the mining industry, a substantial amount of solid waste/tailings (>30 million tonnes/year in Turkey) is generated as a result of ore processing operations.*

Therefore, mineral processing projects should also be regarded as "waste/tailings management projects". The deposition of the mineral processing tailings as paste backfill (CPB) into underground production voids offers technical, environmental and economic advantages. In this respect, CPB is regarded as one of the "best available techniques" by the European Union Commission. CPB is an engineered mixture of fine tailings, hydraulic binders and mixing water. CPB technology, which is used by more than 150 mining companies in the world particularly in Canada and Australia, has been successfully exploited by Çayeli Bakır İşletmeleri (ÇBİ) since 1999 in our country. In this study, the application of CPB in ÇBİ is introduced. Approximately 50-53% of the mineral processing tailings are disposed of into underground production openings as CPB. Mining and environmental aspects of CPB practice in ÇBİ are reviewed. Effect of CPB on underground water quality (pH, Cu, Zn, Pb, Fe and SO_4^{-2}) were evaluated considering the analyses of the water samples taken before (1996-1999) and after (2000-2017) the application of CPB from 5 different underground water wells.

Keywords: *Paste backfill, Sulphide tailings, Waste managemenet, Environmental factors*

1. GİRİŞ

Günümüzde cevher zenginleştirme işlemleri sonucu açığa çıkan atıklar genellikle i) yerüstü atık barajlarında depolanmakta, ii) derin denizlere depolanmakta veya iii) arakatlı kazı ve kes-doldur gibi üretim yöntemlerinin uygulandığı yeraltı işletmelerinde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır (Çetiner vd., 2006; Erçıkdı vd., 2012; Başçetin vd., 2017). İlk olarak 1980 yılında Almanya'nın Bad Grund madeninde kullanılan ve başarısından dolayı dünyada giderek yaygınlaşan "macun dolgu teknolojisi" tesis atıklarının yeraltı üretim boşluklarında emniyetli bir şekilde depolanmasına olanak sağlamaktadır (Landriault, 2006). Tesis atıklarının yeraltında depolanabilirliği atıkların karakterizasyonuna, atığın depolanacağı çevre koşullarına, kısa ve uzun dönemli duraylılık koşullarına ve reolojik özelliklere vb. bağlıdır.

1.1 Macun Dolgu Teknolojisi

Uygun bir atık yönetimi yöntemi olan macun dolgu, yüksek yoğunluklu cevher zenginleştirme tesis atığı (tane boyut dağılımı ve özgül ağırlığına bağlı olarak %75–85

katı oranında), dolgunun dayanım kazanımı ve duraylılığı için bağlayıcı madde ile dolgunun yeraltı üretim boşluklarına istenen kıvamda taşınması ve bağlayıcının hidratasyonunu sağlamak amacıyla ilave edilen karışım suyundan oluşmaktadır. Madencilik faaliyetleri sonucu açığa çıkan cevher zenginleştirme atıklarının macun dolgu olarak yeraltı üretim boşluklarında depolanması, hem çevresel hem de ekonomik açıdan Avrupa Birliği Komisyonunca "mevcut en iyi" teknolojilerden birisi olarak değerlendirilmektedir (European Commission, 2009). Macun dolgu teknolojisinin bazı önemli avantajları şunlardır (Karapınar, 2009; Erçıkdı vd., 2012):

- Tesis atıklarının büyük bir kısmının yeraltında depolanmasını sağlar. Böylece yerüstü atık depolama ve rehabilitasyon maliyetlerini azaltır.
- Kaya ve hidrolik dolguya kıyasla macun dolgunun taşınması ve yerleştirilmesi esnasında ayrışmanın oluşmaması, yeraltı üretim boşluklarının tamamının doldurulmasına imkan sağlamakta (porozite ve boşluk oluşumu engellenmekte) ve böylece tavan oturmalarının önüne geçilerek emniyetli çalışma koşulları oluşturulmaktadır.
- Zenginleştirme işlemleri sırasında çeşitli kimyasallar ilave edilen proses suyunun yaklaşık %90'ı tikiner ve filtreleme işlemleri esnasında geri kazanılmaktadır.
- Macun dolgunun geçirimliliğinin düşük, doygunluk derecesinin yüksek olması hem sızıntı suyu oluşumunu büyük ölçüde azaltmakta, hem de yeraltı suyunun dolgu içerisinden geçişini engellemektedir.
- Oksijenin dolgu içerisine difüzyonu ve buna bağlı olarak ortamdaki sülfürlü minerallerin oksidasyonu, dolayısıyla asit maden drenajı (AMD) oluşum riski azalmaktadır.
- Boru hattı ile yeraltına taşınması, klasik taşıma sistemlerinin (konveyör ve mobil ekipmanlar) yol açtığı problemleri (tahkimatın zarar görmesi, trafik problemi vb.) azaltmaktadır.
- Dolgu işleminin hızlı olması ve aynı çimento oranında hidrolik dolguya kıyasla daha yüksek dayanım kazanımı sağlaması madencilik işlemlerinin (ocağın döngü süresi) kısalmasını sağlar.

- Dolguya ilave edilen çimento dayanım kazanımının yanında dolgunun geçirimsizliğini ve nötralizasyon potansiyelini artırarak AMD oluşumunu engellemektedir.
- Topukların kazanımını sağlayarak verimliliği artırır, tahkimat işlevi görür, çalışanlar ve ekipmanlar için çalışma platformu oluşturur.

Yeraltı madenciliğinde, madeni alınmış üretim boşluklarını doldurmak veya tahkimat sağlamak amacıyla çimentolu macun dolgu kullanımı, özellikle Kanada ve Avustralya'da oldukça yaygındır. Macun dolgu teknolojisi, özellikle son 30 yılda büyük gelişme kaydetmiştir. Dünya genelinde kapasiteleri 12-200 m^3/saat arasında değişen yaklaşık 100 adet macun dolgu tesisinin aktif olarak çalıştığı, 30 civarında tesisin de tasarım ve kurulum aşamasında olduğu bilinmektedir (Yumlu, 2010).

Ülkemiz yeraltı madenciliğinde uygulanan dolgu sistemlerine yönelik detaylı bir çalışma yoktur; ancak, kaya dolgu sisteminin yaygın olarak uygulandığı bilinmektedir. Ülkemizde macun dolgu teknolojisi, ilk defa 1999 yılında Çayeli Bakır İşletmeleri'nde uygulanmaya başlanmış olup, halen başarılı bir şekilde devam etmektedir. Çayeli macun dolgu tesisi, ağırlıkça %82 katı oranına sahip ve saatte 45 m^3'lük macun üretme kapasitesine sahiptir. Yılda yeraltı üretim boşluklarına yerleştirilen yaklaşık 250 000 m^3 dolgunun %75'i macun dolgu yöntemi, geri kalan %25'lik kısmı ise çimentolu/çimentosuz pasa dolgu ile gerçekleştirilmektedir.

ÇBİ'de başarılı uygulamanın sonucu olarak macun dolgu teknolojisi, ülkemizde de yaygınlaşmaya başlamıştır. Kastamonu Küre yeraltı bakır işletmesi tesis atıkları yerüstü atık barajında depolanmakta, yeraltı üretim boşluklarının tahkimatı çimentolu kaya dolgu yöntemi ile sağlanmaktadır. 2012 yılında hem zenginleştirme tesisinden çıkan hem de barajda biriken atıkları yeraltı üretim boşluklarında depolamak ve açıklıkların tahkimatını sağlamak amacıyla macun dolgu tesisinin kurulumuna yönelik altyapı çalışmalarına başlanmıştır. İzmir Efemçukuru altın madeninde de tesis atıklarının %50'lik kısmının susuzlandırıldıktan (yaklaşık %10 nem içeriğinde) sonra yerüstünde, geri kalan kısmının ise macun dolgu yöntemi ile yeraltı üretim açıklıklarında depolanmaktadır.

1.2 Macun Dolgu Özellikleri

Macun dolgu tasarımında göz önüne alınması gereken en önemli etkenler; kısa ve uzun dönem mekanik performansı, akışkanlığı, ekonomisi ve çevresel etkileridir (su kalitesine vb.). Dolgunun mekanik performansı, akışkanlığı ve ekonomik özelliklerine ilişkin detaylı bilgi daha önceki çalışmalarda (Erçıkdı vd., 2009a; 2012, 2017a) sunulduğundan bu çalışmada çevresel etkisine değinilmiştir.

1.2.1 Macun dolgunun çevresel etkileri

Cevher zenginleştirme atıklarının yeraltı üretim boşluklarında macun dolgu şeklinde depolanması durumunda dolgunun yeraltı su kalitesine etkisi göz önüne alınması gereken en önemli parametrelerden birisidir. Sülfürlü minerallerin su ve oksijen varlığında oksidasyona uğraması, asit maden drenajı (AMD) oluşumuna ve atık içerisindeki ağır metallerin çözünmesine neden olarak yeraltı ve yüzey sularının kirlenmesine neden olabilmektedir (Hassani vd., 2001; Tariq ve Nehdi, 2007; Erçıkdı vd., 2009b,c; Cihangir vd., 2012, 2015). Yapılan bazı çalışmalar CaO, $Ca(OH)_2$, $CaCO_3$ ve ($CaMg(CO_3)_2$) gibi Ca içeriği yüksek endüstriyel artıkların (C sınıfı uçucu kül, mermer artığı vb.) ve kireçtaşının sülfürlü atıkların/toprakların nötralizasyonunu sağlayarak çevreye ağır metal salınımını engellediğini/azalttığı ortaya koymuştur (Xenidis vd., 2002; Genty vd., 2012; Erçıkdı vd., 2015; Tozsin vd., 2014, 2015).

Sülfürlü atıkların asit ve sülfat oluşturma potansiyelini engellemek veya azaltmak için uygulanan en yaygın yöntem, ortama alkali minerallerin (kireç, çimento vb.) ilave edilmesi ve ortamın nötralizasyon potansiyelinin arttırılmasıdır. Yeraltı üretim boşluklarına yerleştirilen macun dolgu teknolojisinin en önemli avantajı, dolgunun içerisine önemli miktarda çimento ilave edilmesi ve çimentonun hidratasyonu sonucu açığa çıkan ürünlerin (C-S-H jelleri ve $Ca(OH)_2$) atıkların nötralizasyon potansiyelini arttırmasıdır. Açığa çıkan hidratasyon ürünleri atık tanelerinin yüzeyini kaplayarak su ve oksijen varlığında sülfürlü minerallerin oksidasyonunu engellemektedir. Ayrıca dolgunun katı bir formda olması ve geçirimlilik katsayısının 10^{-7} seviyelerinde ve gözeneklerin su ile doygun olması oksijenin dolgunun içerisine difüzyonunu engellemektedir. Dolgu içerisinde serbest su miktarının çok düşük olmasına bağlı olarak, kirletici sızıntı sularının oluşumu da oldukça sınırlıdır. Bunun dışında, macun dolgu geçirgenliğinin düşük olmasından dolayı yeraltı suları dolgu içerisine kolayca

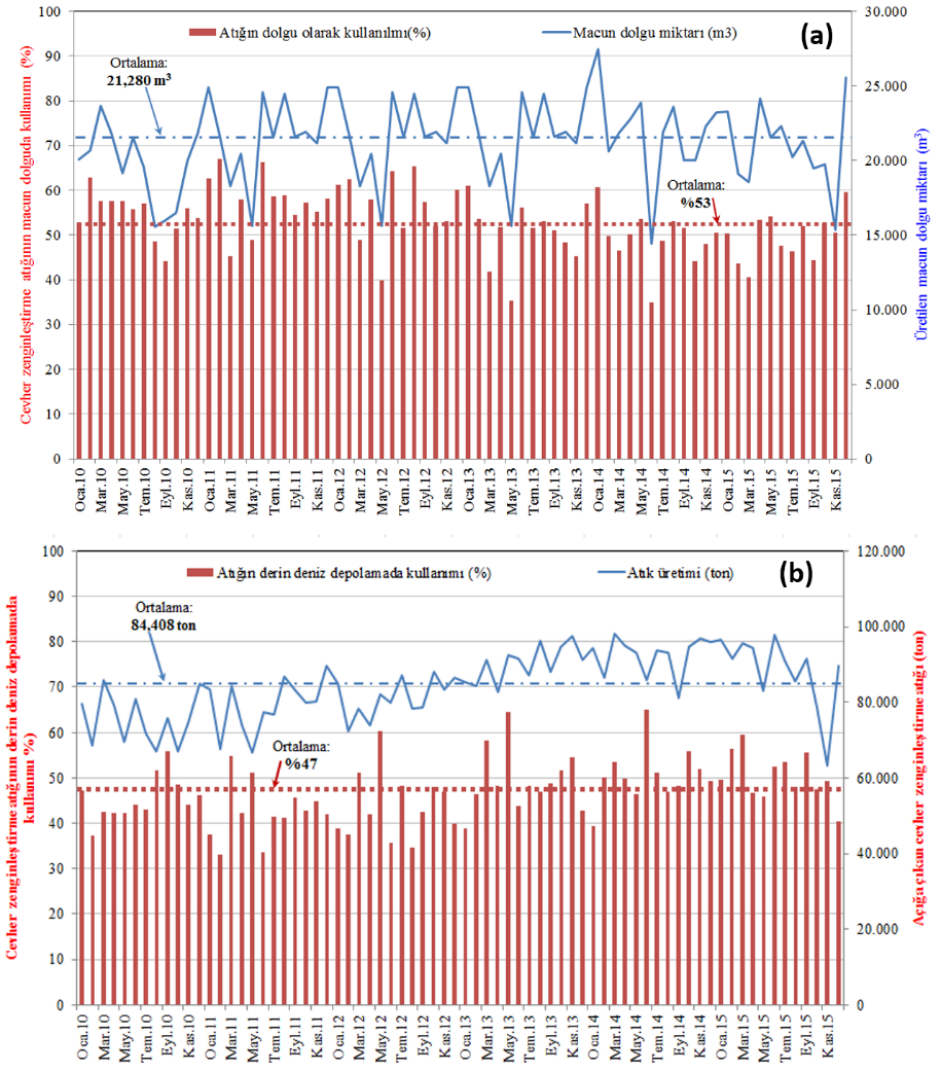
nüfuz edemez ve dolgu etrafından akar. Bunun sonucu olarak atıklardaki zararlı bileşenlerin yeraltı suyunun kalitesine etkisi en düşük seviyelerdedir. Ocağın kapanması durumunda su altında kalması ile atıkların oksitlenmesi de uzun dönemde büyük ölçüde azaltılabilir. Bu çevresel avantajlarından dolayı macun dolgu yöntemi, özellikle sülfürlü atıkların atmosferik koşullarda depolanması sonucu oluşacak potansiyel çevresel riskleri önemli ölçüde azaltmaktadır (Erçıkdı vd., 2017b).

2. ÇAYELİ BAKIR İŞLETMELERİNDE MACUN DOLGU UYGULAMASI

Çayeli bakır işletmelerinde 1999 yılından itibaren başarılı bir şekilde uygulanmakta olan ve bu nedenle TMMOB tarafından 2008 yılında '*Madencilikte Üstün Başarı Uygulama Ödülü*'ne layık görülen macun dolgu, yeraltında uygulanan üretim yönteminin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. İşletmede uygulanan macun dolgu kısaca cevher zenginleştirme sonucu açığa çıkan atık, çimento ve karışım suyundan oluşmaktadır. Herhangi bir sınıflandırmaya tabi tutulmadan (şlam vs uzaklaştırılmadan) atıkların tamamı, macun dolguda kullanılmaktadır. Ocak 2010–Kasım 2015 yılları arasında cevher zenginleştirme işlemi sonucu açığa çıkan atıkların ortalama %53'ü macun dolgu uygulamasında kullanılmış olup (Şekil 1a), geri kalan ortalama %47'lik kısım derin denize depolanmıştır (Şekil 1b). 2016 yılı macun dolgu üretimi 220.820 m^3'tür. Bu süre zarfında ayda ortalama 84.408 ton cevher zenginleştirme atığı çıkmış ve ortalama 21.280 m^3 macun dolgu üretilmiştir.

Dolgunun hazırlanmasında bağlayıcı olarak asit ve sülfat etkisine karşı dirençli, %12-20 oranında puzolan (tras vb.) içeren CEM II/A-M (P-LL) 42.5 tipi çimento kullanılmaktadır. Dolguda kullanılan çimento hem dolgunun dayanım kazanmasına katkı sağlamakta hem de alkali olmasından dolayı atıkların nötralizasyon potansiyelini arttırmaktadır. 1 m^3 macun dolgunun hazırlanmasında 80-130 kg çimento kullanılmakta olup, bu değer yılda ortalama 30.000 ton çimento tüketimine tekabül etmektedir. Dolgunun hazırlanmasında kullanılan karışım suyu ise proses (%75-80) ve musluk (%20-25) suyundan oluşmakta ve dolgu içerisinde ağırlıkça %20-25 oranında bulunmaktadır. İşletmede yeraltı üretim faaliyetleri sonucu madeni alınmış boşluklara çimentolu macun dolgu yöntemi ile 2000-2008 yılları arasında yılda ortalama 150.000 m^3, 2010-2016 yılları arasında ise yılda ortalama 250.000 m^3 dolgu yerleştirilmiştir (Çizelge 1). İşletmede macun dolgu dışında ayrıca çimentolu/çimentosuz kaya dolgu

uygulaması da yapılmaktadır. Kaya dolgu uygulaması yeraltı dolgu uygulamasının yaklaşık %25'ini, macun dolgu ise yaklaşık %75'ini teşkil etmektedir. 1999 yılından bugüne kadar yeraltı üretim boşluklarına yaklaşık 4 milyon m^3 macun dolgu depolanmıştır.



Şekil 1. Ocak 2010-Kasım 2015 yılları arasında açığa çıkan cevher zenginleştirme atığının macun dolguda **(a)** ve derin deniz depolamada **(b)** kullanımı (Yılmaz ve Yumlu, 2017)

Çizelge 1. ÇBİ'de yeraltı üretim boşluklarına yerleştirilen macun dolgu miktarı (Erçıkdı vd., 2017b)

Yıl	**2000**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
Miktar (m^3)	74.291	183.366	153.560	130.498	142.298	160.420	188.219
Yıl	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**
Miktar (m^3)	236.305	261.112	213.780	231.832	262.054	250.480	220.820

İşletmede macun dolgu maliyeti, toplam maden işletme maliyetlerinin %12-16'sını oluşturmaktadır. Sadece macun dolguda kullanılan çimento (130 kg/m^3), toplam maden işletme maliyetlerinin %10'unu teşkil etmektedir. Dolayısıyla macun dolgu işletme maliyetlerinin %55-65'ini çimento oluşturmaktadır. Ortalama %5,0-7,7 çimento oranında hazırlanan 1 m^3 macun dolgu maliyeti 11-15$ arasında değişir. ÇBİ'de dolgu uygulaması başlıca; i) topuk işlevi görerek yan cevherin üretilmesini sağlamak, ii) çalışma zemini oluşturmak, iii) tavan tahkimatı sağlamak, iv) güvenli ve emniyetli çalışma koşulları tesis etmek ve v) işletmede açığa çıkan atıkları (tesis atıkları, galeri sürümü vb. sonucu açığa çıkan atıklar) depolamak amacıyla gerçekleştirilmektedir.

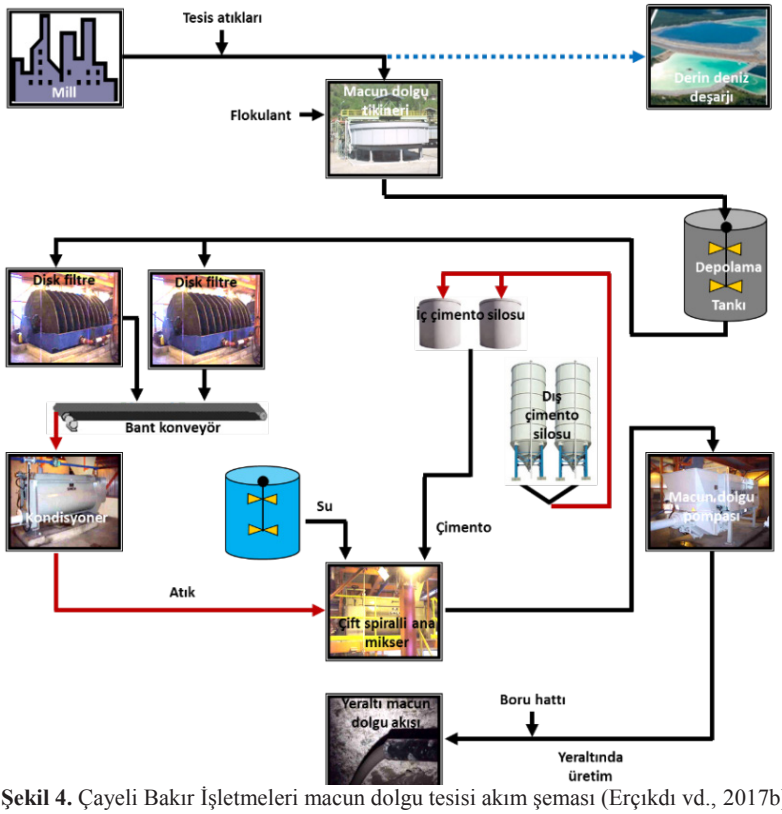
2.1 Yerüstü Macun Dolgu Tesisi

Macun dolgu tesisi, yeraltında cevheri alınan üretim boşluklarını cevher zenginleştirme tesis atığı, su ve çimento karışımdan oluşan macun dolgu ile doldurmak amacıyla kurulmuştur (Şekil 2). Macun dolgu tesisi, yaklaşık olarak ağırlıkça %72-75 katı oranına sahip ve saatte 50 m^3'lük macun üretme kapasitesinde tasarlanmıştır. Ağırlıkça %50-60 katı içeren tesis atıkları, 4" çapında borularla macun dolgu tesisine gönderilmektedir. Atıklar ilk olarak 16 m çapındaki macun dolgu tikinerinde koyulaştırılmakta ve depolama tankına nakledilmektedir. Depolama tankında homojenleştirilen atıklar iki adet vakumlu disk filtre kullanılarak susuzlaştırılmaktadır (Şekil 3). Bu işlem sonucu oluşan filtre kekinin katı içeriği ağırlıkça %80-82'dır. Daha sonra filtre kekine kondisyoner tankında su ve mikserde bağlayıcı ilave edilerek homojen bir şekilde karıştırılmakta ve hazırlanan karışım 5" çapındaki borular ve Putzmeister pompa kullanılarak yeraltı üretim boşluklarına nakledilmektedir. ÇBİ macun dolgu akım şeması Şekil 4'de verilmiştir.

Karışımın bağlayıcı içeriği, dolgunun yeraltındaki konumuna ve işlevine göre değişmektedir. Hazırlanan macun dolgu karışımlarının akışkanlığı slamp testi ile düzenli olarak ölçülmekte olup, genellikle 7,5" - 7,7" slamp (15-20 bar boru basıncı) arasında değişmektedir. Ayrıca hazırlanan macun dolgu karışımından silindir şeklindeki plastik numune kaplarına örnekler alınmakta ve yeraltı kür koşullarını yansıtacak şekilde tasarlanan özel kür odasında bekletilmektedir. Özel kür odasında 2 ve 28 gün bekletilen numunelerin tek eksenli basınç dayanımı testleri, işletmede bulunan macun dolgu laboratuvarında düzenli olarak yapılmaktadır (Şekil 5).

Şekil 2. Çayeli bakır işletmeleri macun dolgu tesisinin görünümü

Şekil 3. (a): Macun dolgu tikineri, **(b)**: susuzlaştırmada kullanılan vakumlu disk filtreler

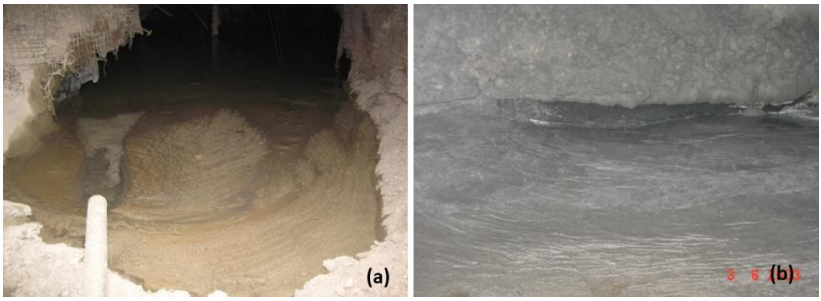


Şekil 4. Çayeli Bakır İşletmeleri macun dolgu tesisi akım şeması (Erçıkdı vd., 2017b)

Şekil 5. ÇBİ işletmelerinde dolgu kür odası ve dayanım testlerinin laboratuvarda yapılması

2.2 Macun Dolgunun Yeraltı Üretim Boşluklarına Yerleştirilmesi

Yerüstü macun dolgu tesisinde hazırlanan dolgu, boru hattı ile yeraltı üretim boşluklarına nakledilmekte ve boşluklar kontrollü bir şekilde doldurulmaktadır (Şekil 6). Üretim boşluklarına yerleştirilen dolgunun emniyetli bir şekilde kür alması ve daha iyi tahkimat sağlaması için dolgu barikatının yüksek basınçlara dayanıklı olması ve patlamaması gerekmektedir. Bu yüzden üretim odasına yerleştirilen dolgunun dışarıya süzülmesini önlemek ve inşa edilen barikatın emniyetini sağlamak için 30 cm kalınlığında bir püskürtme beton uygulanmakta ve 20 mm çapındaki ribarlar ile sağlamlaştırılmaktadır. Barikat inşası tipik olarak kalas ve suntalarla kombineli bir şekilde, ribar ve püskürtme beton ile uygulanmaktadır (Şekil 7).

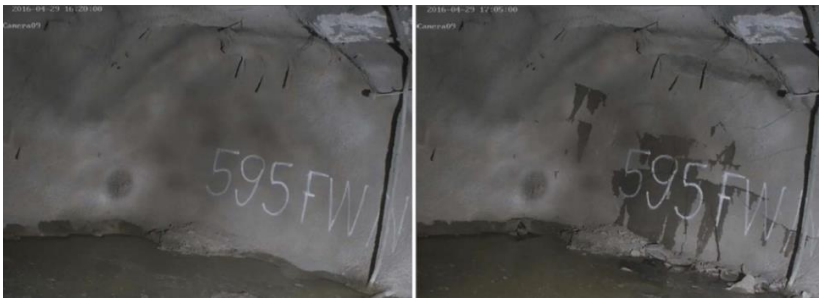


Şekil 6. (a): Macun dolgunun yeraltına boru hattı ile nakliyesi, **(b)**: zamanla katılaşması

Şekil 7. Yeraltında macun dolgu barikat inşası

Ayrıca boş üretim boşluklarına dolgu işlemi uygulanırken barikata gelen basınçlar otomasyon sistemi ile sürekli olarak takip edilmekte ve belli bir eşik değere gelince dolgu işlemi durdurulmaktadır. Ayrıca boş üretim boşluklarına dolgu işlemi uygulanırken barikata gelen basınçlar otomasyon sistemi ile sürekli olarak takip edilmekte ve belli bir eşik değere gelince dolgu işlemi durdurularak barikat yıkılması vb. önüne geçilmektedir. Örneğin Şekil 8 29.04.2016 tarihinde 595 FW adlı üretim boşluğuna macun dolgu doldurulması esnasında saat 16:20 'de barikat yüzeyinde herhangi bir ıslanma, çatlak ve kopma görülmez iken (Şekil 8a) saat 17:05'te ise barikat yüzeyinde aşırı derecede ıslanmanın görüldüğü, barikatta çatlamanın meydana geldiği ve püskürtme beton kaplamadan kopmalar olduğu görülmüştür (Şekil 8b). Barikat yüzeyinde ıslanma ilk olarak saat 16:25'de görülmüş, 20 dakika içerisinde ıslaklık artmış ve operatör 16:52'de yeraltı üretim boşluğuna macun dolgu uygulamasını durdurmuştur. Operatörün macun dolgu uygulaması yapılan üretim boşluğunun barikatını sürekli olarak izlemesi sonucu barikat patlaması sonucu potansiyel olarak oluşabilecek işgücü ve ekipman kaybı engellenmiş ve madencilik açısından verimli ve sağlıklı bir dolgu uygulaması sağlanmıştır.

Operatörün macun dolgu uygulaması yapılan üretim boşluğunun barikatını sürekli olarak izlemesi, barikat patlaması sonucu potansiyel olarak oluşabilecek can ve ekipman kaybını engellemekte ve madencilik açısından verimli ve sağlıklı bir dolgu uygulaması sağlanmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Macun dolgu barikat sağlamlığının otomasyon sistemle sürekli olarak izlenmesi

ÇBİ'de macun dolgunun yeraltı üretim boşluklarına yerleştirilmesinde bazı hususlar göz önünde bulundurulmaktadır. Macun dolgu yeraltına pompalanmadan önce ve yeraltı üretim boşluğu macun dolgu ile tam olarak doldurulduktan sonra, dolgu dağıtım sistemi (boru hattı) su ve basınçlı hava ile temizlenmektedir. Şayet boru hattı

temizlenmez ise, katı yoğunluğu yüksek bir macunun nakliyesi esnasında boru hattında çökelmeler, tıkanmalar ve aşınmalar oluşmaktadır. Dolgunun yeraltında bulunduğu yere bağlı olarak (birincil/ikincil üretim boşluğu; stope uzunluğu ve yüksekliği, 800 m'nin altında ya da üstünde bulunması vb. koşullar) işletmede istenen dayanım değeri 0.3-1.2 MPa arasında değişmektedir. Bu amaçla dolgunun istenen dayanımı kazanması için çalışma bölgelerindeki birincil üretim boşluklarına %5-7,7, ikincil ve üçüncül üretim boşluklarına ise %3,5-7,7 oranında bağlayıcı içeren macun dolgu yerleştirilmektedir. Ayrıca yeraltı üretim boşlukları iki kademede doldurulmakta ve dolgu özelliklerine bağlı olarak yakın çevrede belirli bir süre patlatmalı kazı yapılmamaktadır. Öncelikle üretim boşluğunun belli bir kısmı doldurulmakta ve 2 gün beklenildikten sonra geri kalan kısım doldurulmaktadır. Üretim boşluğunun doldurulması esnasında alt kat, üst kat ve aynı katta patlatma işlemi gerçekleştirilmemektedir. Macun dolgu ile doldurulan üretim boşluğunun hemen yanında ise en erken 14 günlük kür süresinden sonra patlatma işlemi gerçekleştirilmektedir. Böylece barikatlar üzerine gelen basınçlar ile cevher seyrelmesi ve dolgunun erken kür sürelerinde sıvılaşma riski en aza indirilmekte ve üretim çalışmalarının daha güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Macun dolgu tesisi çalışma sistemi, çimento ve su ilavesi, dolgunun yeraltına nakliyesi ve boşluklara dökülmesi, vb. sürekli olarak operatörler tarafından macun dolgu otomasyon sisteminden takip edilmektedir (Şekil 9).

Şekil 9. Macun dolgu otomasyon sistemi

2.3 ÇBİ Macun Dolgu Uygulamasının Su Kalitesine Etkisi

Çayeli bakır işletmelerinde madencilik faaliyetlerinin su kalitesine (yerüstü/yeraltı) etkisini belirlemek amacıyla düzenli olarak belirli lokasyonlardan su örnekleri alınmakta ve hem Çayeli Bakır İşletmelerinde hem de akredite laboruvarlarda periyodik

olarak analizler yapılmaktadır. Çayeli Bakır İşletmeleri laboratuvarlarında yapılan analizler 1996 yılından itibaren her ay düzenli olarak gerçekleştirilmektedir.

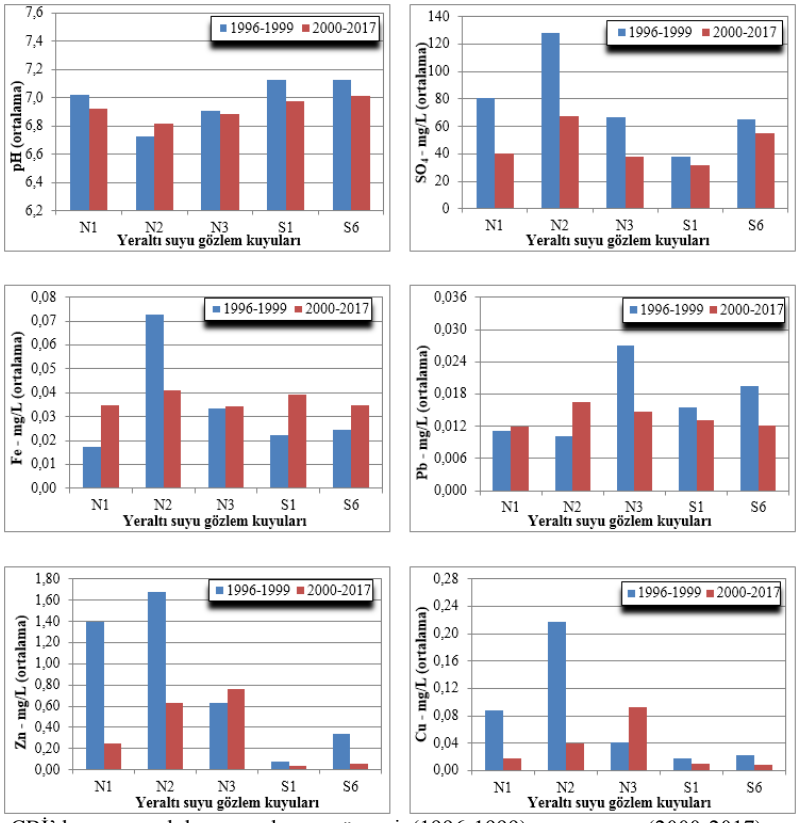
Bu çalışmada ÇBİ laboratuvarlarında macun dolgu uygulamasından önce (1996-1999) ve macun dolgu uygulamasından sonra (2000-2017 yılları arası) periyodik olarak (aylık) macun dolgu uygulamasının etki alanı içerisindeki yeraltı suyu kuyularından (N1, N2, N3, S1 ve S6) alınan su örneklerinin sınırlı sayıdaki analiz parametreleri (pH, Cu, Zn, Pb, Fe, Cd, SO_4^{-2}) değerlendirilmiştir. Böylece macun dolgu uygulaması öncesi ve sonrasında su kalitesindeki değişim incelenmiştir. Analizleri değerlendirilen yeraltı suyu kuyularının işletme sahasına göre lokasyonu Şekil 10'da plan olarak verilmiştir.

ÇBİ'de yeraltı suyu kuyularından alınan suların macun dolgu uygulaması öncesi (1996-1999) ve sonrası (2000-2017) analiz sonuçları karşılaştırılmalı olarak Şekil 11'de sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde macun dolgu uygulamasının madenin etki alanındaki yeraltı su kalitesine olumsuz bir etkisinin olmadığı görülmektedir. 2007 yılı sonrasında kuyu suyu pH'larının daha kararlı ve 6,8-7,2 arasında değiştiği gözlenmiştir.

Şekil 10. Yeraltı suyu kuyularının maden işletme sahasına göre plan görünüşü

Macun dolgu uygulaması ile birlikte kuyu sularının metal ve sülfat konsantrasyonyonlarında genel olarak bir düşme eğilimi gözlenmektedir. Örneğin N1

ve N2 kuyularında sülfat konsantrasyonu macun dolgu uygulamasıyla birlikte %50 azalmıştır. Benzer şekilde bu kuyulardaki çinko ve bakır seviyelerinde gözle görülür azalmalar (>%60) olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan N3 kuyusunda macun dolgu sonrası çinko ve bakır konsantrasyonlarının aynı seviyelerde veya nispeten daha yüksek olduğu görülmektedir. Macun dolgunun alkali karakterde olması ve piritik atıkların oksitlenmesini önemli ölçüde azaltması nedeniyle, macun dolgu kaynaklı sülfat ve metal salınımının daha yavaş ve sınırlı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 11. ÇBİ'de macun dolgu uygulaması öncesi (1996-1999) ve sonrası (2000-2017) yeraltı suyu gözlem kuyularından alınan suların özelliklerindeki değişim (Erçıkdı vd., 2017b)

3. SONUÇLAR

Cevher zenginleştirme atıklarının yaklaşık %50-55'inin yeraltı üretim boşluklarına güvenli bir şekilde depolanmasına olanak sağlayan macun dolgu, Avrupa Birliği tarafından da kabul edilmiş, en uygun atık yönetimi yöntemlerinden birisi olarak değerlendirilmektedir. Atık yönetimi maliyetlerini azaltması, proses suyunun geri

kazanımına imkan sağlaması, sülfürlü atıkların nötralizasyon potansiyelini arttırması, geçirgenliği düşük (>10-7 m/sn) çimentolu (alkali) bir ortam içerisinde emniyetli bir şekilde depolanmasını sağlaması ve bunlara bağlı olarak atıkların yeraltı suyu ve havanın etkisine maruz kalmasını (AMD oluşumunu) büyük ölçüde engellemesi/yavaşlatması gibi çevresel, teknik ve ekonomik avantajlarından dolayı macun dolgu yöntemi Kanada ve Avustralya başta olmak üzere Dünyada 150'den fazla maden işletmesinde kullanılmaktadır. Çayeli Bakır İşletmeleri'nde 1999'dan beri uygulanan yöntem son yıllarda ülkemizde de artmaktadır.

Bu çalışmada, ÇBİ işletmesinde uygulanmakta olan macun dolgu yönteminin madencilik ve çevresel açısından değerlendirmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar özetle aşağıda verilmiştir.

i. Çayeli bakır işletmelerinde 1999 yılından itibaren başarılı bir şekilde uygulanmakta olan ve bu nedenle TMMOB tarafından 2008 yılında 'Madencilikte Üstün Başarı Uygulama Ödülü'ne layık görülen macun dolgu, yeraltında uygulanan üretim yönteminin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Her yıl cevher zenginleştirme sonucu açığa çıkan atıkların yaklaşık %50-55'i macun dolgu yöntemi ile yeraltında depolanmaktadır. Yılda (son 5 yılda) ortalama 250.000 m3 macun dolgu üretilmektedir. Macun dolgunun tesiste hazırlanması, borularla yeraltına taşınması ve üretim boşluklarına yerleştirilmesi ve sonrasında (kür alma vb.) gerekli önlemler alınarak madencilik açısından bilimsel ve emniyetli bir dolgu uygulaması gerçekleştirilmektedir.
ii. Çayeli bakır işletmelerinde madencilik faaliyetlerinin su kalitesine (yerüstü/yeraltı) etkisini belirlemek amacıyla düzenli olarak belirli lokasyonlardan su örnekleri alınmakta ve hem Çayeli Bakır İşletmelerinde hem de akredite laboratuvarlarda periyodik olarak analizler yapılmaktadır. Çayeli Bakır İşletmeleri tarafından macun dolgu uygulaması öncesi (1996-1999) ve sonrası (2000-2017) yapılan su analizleri incelendiğinde, macun dolgu uygulamasının madenin etki alanındaki yeraltı su kalitesine olumsuz bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

Başçetin, A., Tüylü, S., Adıgüzel, D., Özdemir, O. 2017. Field properties and performance of surface paste disposal. Paste Tailings Management, Springer International Publishing, ISBN: 978-3-319-39682-8, pp. 145-176.

Cihangir, F., Erçıkdı, B., Kesimal, A., Turan, A., Deveci, H. 2012. Utilisation of alkali-activated blast furnace slag in paste backfill of high-sulphide mill tailings: effect of binder type and dosage. Minerals Engineering, 30: 33–43.

Cihangir, F., Ercikdi, B., Kesimal, A., Deveci, H., Erdemir, F., 2015. Paste backfill of high-sulphide mill tailings using alkali-activated blast furnace slag: effect of activator nature, concentration and slag properties. Minerals Engineering, 83: 117–127.

Çetiner, E. M., Ünver, B., Hindistan, M. A. 2006. Maden atıkları ile ilgili mevzuat: Avrupa Birliği Ve Türkiye. Madencilik, 45 (1): 23–34.

Erçıkdı, B., Kesimal, A., Cihangir, F., Deveci, H., Alp, İ., Yazıcı, M., Şahin, B., 2009a. Cevreye duyarlı macun dolgu teknolojisi: Çayeli bakır işletmelerinde örnek uygulama, 3. Madencilik ve Cevre Sempozyumu, Ankara, s. 139-152.

Erçıkdı, B., Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H., Alp, İ., 2009b. Utilization of industrial waste products as pozzolanic material in cemented paste backfill of high sulphide mill tailings. Journal of Hazardous Materials, 168 (2-3): 848-856.

Erçıkdı, B., Kesimal, A., Cihangir, F., Deveci, H., Alp, İ., 2009c. Cemented paste backfill of sulphide-rich tailings: importance of binder type and dosage. Cement & Concrete Composites, 31 (4): 268-274.

Erçıkdı B., Cihangir F., Kesimal A., Deveci H., 2012. Tesis atıklarının yönetiminde macun dolgu teknolojisi. Madencilik Türkiye, 70-75.

Erçıkdı, B., Külekçi, G., Yilmaz, T. 2015. Utilization of granulated marble wastes and waste bricks as mineral admixture in cemented paste backfill of sulphide-rich tailings. Construction and Building Materials, 93: 573–583.

Erçıkdı,, B., Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H., 2017a. practical importance of tailings for cemented paste backfill, Paste Tailings Management, Springer International Publishing, ISBN 978-3-319-39680-4, pp. 7-32.

Erçıkdı,, B., Deveci, H., Kesimal, A., Cihangir, F. 2017b. Çayeli bakır işletmeleri macun dolgu uygulamasının madencilik ve çevresel açıdan değerlendirilmesi, Döner Sermaye Projesi, 58s.

European Commission, 2009. Reference document on best available techniques for management of tailings and waste-rock in mining activities, pp. 427-435.

Genty, T., Bussiere, B., Potvin, R., Benzaazoua, M., Zagury, G.J. 2012. Dissolution of calcitic marble and dolomitic rock in high iron concentrated acid mine drainage: application to anoxic limestone drains. Environmental Earth Science, 66: 2387–2401.

Hassani, F.P., Ouellet, J., Hossein, M., 2001. Strength development in underground high sulphate paste backfill operation. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 94 (1050): 57–62.

Karapınar, N. 2009. Maden atık yönetimi: macun teknolojisi kullanımı. Madencilik, 48 (1): 31-42.

Landriault, D., 2006. They said “it will never work”- 25 years of paste backfill 1981-2006. Proceedings of 9th International Seminar on Paste and Thickened Tailings, Limerick, Ireland, pp. 277-292.

Tariq, A., Nehdi, M., 2007. Developing durable paste backfill from sulphidic tailings. Waste and Resource Management, 160 (4): 155-166.

Tozsin, G., Arol, A. İ., Oztaş, T., Kalkan, E. 2014. Using marble wastes as a soil amendment for acidic soil neutralization. Journal Of Environmental Management, 133: 374–377.

Tozsin, G., Oztaş, T., Arol, A. İ., Kalkan, E. 2015. Changes in the chemical composition of an acidic soil treated with marble quarry and marble cutting wastes. Chemosphere, 138: 664–667.

Xenidis, A., Mylona, E., Paspaliaris, I., 2002. potential use of lignite fly ash for the control of acid generation from sulphidic wastes. Waste Management, 22 (6): 631-641.

Yılmaz, E., Yumlu, M. 2017. Cayeli paste backfill system and operations. Paste Tailings Management, Springer International Publishing, ISBN 978-3-319-39680-4, pp. 235-265.

Yumlu, M., 2010. Mining with paste fill. AusIMM Cobar Mining Seminar, 26p.

KONYA'DA FAALİYET GÖSTEREN BİR KALKER MADENİNDE UYGULANAN REKLAMASYON ÇALIŞMALARI

THE RECLAMATION STUDIES APPLIED IN A LIMESTONE MINE IN KONYA

Bilgehan KEKEÇ*, Niyazi BİLİM

Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: kekec@selcuk.edu.tr

ÖZET: Ekonomik açıdan madencilik faaliyetleri son derece önemlidir. Mevcut kaynakların uygun ve optimum şekilde üretiminin sağlanması madenciliğin temel işlemlerindendir. Bu sebeple faaliyetlere başlanmadan planlamanın düzgün yapılması çok önemlidir. Üretimin tamamlanmasından sonra ise değişime uğramış olan sahanın geleceğinin planlanması da madencilik açısından hayati önem taşımaktadır.

Bu çalışma, Konya İli sınırları içerisinde, yerleşim yerlerine son derece yakın bir alanda faaliyet gösteren Konya Çimento firmasına ait bir hammadde ocağında gerçekleştirilmiştir. Bu kalker ocağında üretimin sonlanmasından itibaren yürütülmüş olan reklamasyon çalışmaları, bu araştırmanın ana içeriğini oluşturmaktadır. Ayrıca işletmenin üretimle birlikte devam eden reklamasyon çalışmaları ve reklamasyonun madencilik için önemi hakkında ayrıntılı bilgiler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Reklamasyon, Konya Çimento, Kalker ocağı.

ABSTRACT: *Mining activities are extremely important economically. Ensuring that the available resources are produced in an appropriate and optimum way is the basic process of mining. For this reason, it is very important that the planning is done properly without starting the activities. The planning of the future of the field changed after the completion of the production, is also vital for mining activites. This study was carried out in a raw material belonging to Konya Cement Company operating in an area very close to settlements within the boundaries of Konya province. The reclamation activities carried out since the end of production in this limestone quarry are the main content of this research. In addition, detailed informations was presented*

about reclamation work continuing with production and the importance of mining reclamation.

Keywords: *Reclamation, Konya Cement, Limestone quarry.*

1. GİRİŞ

Madencilik, ülke ekonomisine büyük katkı sağlayan bir sektördür. Dünyada ticareti yapılan 90 mineralin 77 tanesi ülkemizde bulunmaktadır ve bunların 60 türünün aktif olarak üretimi yapılmaktadır (Bilim, 2015). Günlük yaşantımızda kullanımından vazgeçemeyeceğimiz birçok temel gereksinime hammadde olma özelliğine sahip olan madenlerimizin teknik ve teknolojik olarak üretime katılması ekonomik canlılık için son derece kaçınılmazdır.

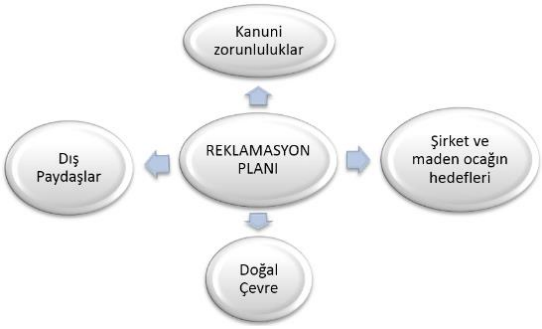
Günümüzde de madenler, günlük hayatın temelini oluşturan sanayi, endüstri ve ticarette genel olarak da ekonomi dünyasında önemli bir yer tutmuştur. Ayrıca ülkelerin gelişip kalkınmaları, ekonomik yapısı, teknolojik düzeyi ve dünya siyasetindeki yeri, maden kaynaklarının varlığı ve bu kaynakların değerlendirilişi ile ilgili görülür olmuştur (Akten vd., 2014). Üretim aşamalarında her sektörün kendine özgü üretim detayları ve riskleri mevcuttur. Günümüzde madencilik faaliyetleri sonucunda çevrenin tahribatı yönünde çoğu asılsız veya bilgisizliğe dayalı söylemler mevcuttur. Temel ihtiyaçlarımız için hammadde temininin lokomotifi durumundaki madenlerimizin üretiminin artarak devam etmesi ekonomimizin canlanması ve çalışan istihdamı açısından kaçınılmaz bir gerçektir. Günümüzde, hem kanuni zorunluluklar sebebiyle hem de maden firmalarının çevre bilinci ile üretim yapmaları nedeniyle firmalar, çevresel tedbirlerini artırmakta ve üretim sonunda değişime uğrayan alanın tekrar kullanılabilir hale getirilebilmesi için reklamasyon projelerini hayata geçirmektedir (Borand, 2012). Bu durum dünya madenciliği açısından çok memnuniyet verici bir yere gidiliyor olduğunun göstergesidir. Sadece madencilik alanında değil tüm sektörlerde de bu çevre bilincinin aşılanması daha yaşanabilir bir dünya bir zorunluluktur.

Madencilik faaliyetleri, ulusların ekonomik olarak kalkınmalarını sağladıkları, hammaddeye ve enerjiye olan ihtiyaçlarını karşıladıkları faaliyetlerdir. Bir toplum iyi bir ekonomiye, iyi bir yaşam standardına sahip olmak istiyorsa, yeraltı zenginliklerini kullanmak zorundadır. Ancak toplumlar, yer altı zenginliklerini değerlendirirken, üzerinde yaşadıkları toprakların zenginliğini de kaybetmemelidir. Madencilik ve çevre

konusundaki bu ilişki, ince bir çizgidir. Hangisini elden bırakırsanız toplumunun mutsuz olması muhtemeldir (Okyay ve Aydın, 2013).

Reklamasyon planları, sahanın kullanım şekli ve saha özellikleri ile doğrudan ilişkilidir (Harris vd., 1996). Bir reklamasyon planının geliştirilmesi ve uygulanması çeşitli faktörlerden etkilenmektedir (Şekil 1). Özellikle, planın geliştirilmesi dış etkilerden izole edilemez.

Üretimi tamamlanan bölgelerin, üretimle birlikte reklamasyon faaliyetlerinin yürütülmesi, planlama süresi ve maliyetin azaltmaktadır (Kuzu vd., 1998). Madencilik faaliyetleri tamamlanmış alanlar, gelecekte sosyal ve kültürel faaliyet alanları olarak kullanılabilmektedirler (Ramani vd., 1990; Fasla 2000; Doğan ve Kahriman, 2008).



Şekil 1. Rehabilitasyon planına etki eden faktörler.

Bu çalışmada, Konya Selçuklu ilçesi, Ankara yolu üzeri 8.km'sinde, Zafer sanayi siteleri ve yerleşim yerlerine oldukça yakın bir bölgede faaliyet gösteren bir şehir içi kalker ocağı konu olarak seçilmiştir. Bu Kalker Ocağı, 1963 yılında üretime başlamış olan Konya Çimento fabrikasına, kurulduğu tarihten bu güne kadar hammadde temininin sağlandığı maden işletmesidir. Ocağın uzun yıllardır faaliyet göstermesi neticesinde rezervi tükenmektedir. Üretimi tamamlanan bölgeler şehir içinde büyük bir alanı teşkil etmektedir. Konya Çimento firması tarafından bu alanlar 2004 yılından itibaren reklamasyon çalışmalarına başlanmıştır. Yapılan reklamasyon çalışmaları ile ülkemizde önemli bir örnek olma niteliği taşıdığı düşünülmektedir. Bu çalışmada, çalışmaya konu olan bu işletmenin reklamasyon çalışmaları ve gelinen durum sunulmaktadır.

2. REKLAMASYONUN TANIMI VE ÖNEMİ

Madencilik faaliyeti yapılan alanın madencilik sonrası kullanımı için hazırlanmasına yönelik işlemler reklamasyon olarak ifade edilmektedir. Reklamasyon, rehabilitasyon, rekreasyon ve restorasyon terimlerini de içine almaktadır. Rehabilitasyon; arazinin ekolojik ve estetik değerlerini dikkate alarak kullanım planlarının verimli hale dönüştürülmesi, Restorasyon; tahrip edilmiş alanın fiziksel durumunu değiştirip işe yararlılık ve verimliliğinin artırılması, Rekültivasyon; değiştirilmiş alanın verimli, işe yarar, temiz ve estetik olarak güzel bir görünüme sokulması amacıyla bitkilendirme işlemleri olarak tanımlanmaktadır (Şimşir vd., 2007). Reklamasyonun amacı madencilik ve diğer faaliyetlerle değiştirilmiş arazinin arzu edilen kullanım şartlarına göre yeniden düzenlenmesi işlemleri kapsamaktadır. Reklamasyon çalışmaları tıpkı madencilik faaliyetleri gibi bilimsel bir çalışmadır ve çeşitli otoriteleri içerisinde barındırmaktadır. Bilimsel temellere dayanan bu çalışmalar, ekonomik değere sahip cevherin alınmasıyla şekil değiştiren arazinin ıslahı için en uygun yöntemin belirlenmesiyle başlar, planlama, organizasyon uygulama ve kazandırma faaliyetleri ile devam etmektedir.

Reklamasyon işlemlerinin madencilik faaliyetleri konusunda insanların olumlu düşünmesine katkısı önemlidir. Nüfusun artmasına paralel olarak teknolojik gelişmeler yaşanmaktadır. Teknolojideki bu ilerleme hammadde ihtiyacını büyük ölçüde artırmaktadır. Hammadde üretiminin vazgeçilmezi olan madencilik faaliyetleri, artan taleple birlikte artmakta ve yerleşim yerleri yakınındaki rezervler de üretime katılmaktadır. Ekonomik ömrünü tamamlayan maden sahalarının tekrar çeşitli kullanım alanlarına açılması, madencilik kadar önemlidir. Madencilik faaliyetleri sonrası yapılan reklamasyon çalışmaları, halkın madencilik üzerindeki negatif düşüncelerini olumlu yöne yönlendirmektedir. Bu çalışmaya konu olan ve şehir içi bir ocak özelliği taşıyan, Konya Çimento A.Ş. hammadde ocağı çok iyi bir örnek olma özelliği taşımaktadır.

3. MADEN SAHALARINDA REHABİLİTASYON YÖNTEMLERİ

Ekonomik ömrünü tamamlayan ve üretimine son verilen madenlerin rehabilite edilerek arzu edilen kullanım alanına açılması madencilik faaliyetleri kadar önemli bir işlemdir. Bu amaçla yapılan çalışmalarda 4 yöntemden söz edilmektedir (Maden Sahaları Rehabilitasyon Eylem Planı, 2014). Çalışılan sahanın durumuna göre bu yöntemlerin bir tanesi ya da birkaç tanesi birlikte kullanılabilmektedir.

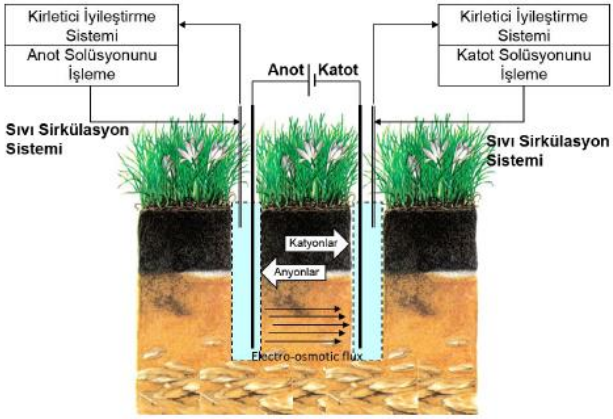
3.1 Tarımsal Örtü Toprağının Sahaya Serilmesi Yöntemi

Üretimi tamamlanmış olan açık ocak madenlerinde oluşan topoğrafik çukurların dolgu malzemesi ile doldurularak, dolgu üzerine çoğunluğu üretime başlarken yüzeyden sıyrılan ve bir döküm alanında muhafaza edilen nebati toprağın serilmesi işlemine dayanmaktadır. Etkili ve ekonomik bir yöntemdir (Şekil 2). Saha, doldurma işlemi tamamlandıktan sonra bölgenin ve toprağın yapısına bağlı olarak tarımsal alanlar, mera veya ağaçlandırma bölgesi olarak kullanıma açılabilmektedir.

Şekil 2. Tarımsal örtü toprağı ile boşlukların doldurulması yöntemi.

3.2 Elektroliz Yöntemi

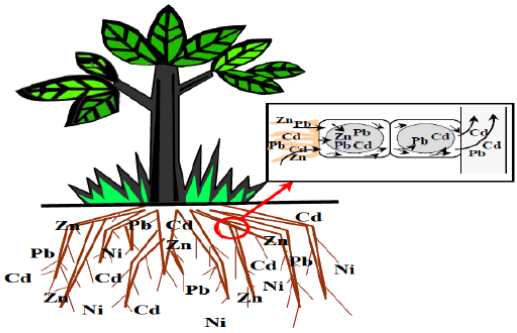
Elektroliz yöntemi; demir, nikel, bakır, kurşun, krom gibi ağır metal kalıntılarının temizlenmesi gayesiyle uygulanabilen bir yöntemdir. Zaman alan ve pahalı bir yöntemdir. Yöntem, elektrik akımı yardımıyla, bir toprak içinde bulunan ağır metallerin ayrıştırılması esasına dayanmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Elektroliz yöntemi (Maden Sahaları Rehabilitasyon Eylem Planı, 2014)

3.3 Toprakların Bitkilerle Temizlenmesi Yöntemi

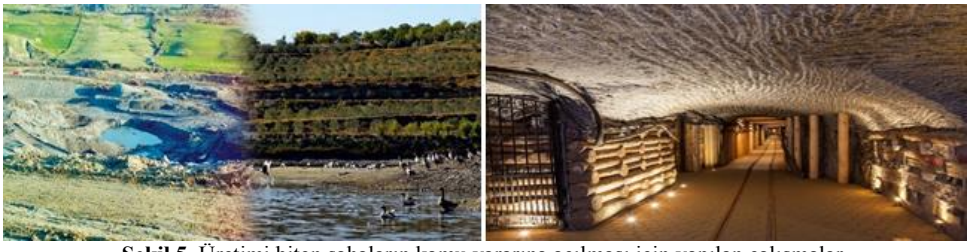
Bitkilerin kökleri yardımıyla toprakta var olan materyalleri bünyesine alma ve depolama kabiliyetlerinden faydalanılan bir yöntemdir. Üretim sonucunda ortaya çıkan pasa, maden çukurları gibi alanlarda bitkilendirme çalışmaları esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde en önemli husus uygun bitki türlerinin seçilebilmesidir (Şekil 4).



Şekil 4. Toprakların bitkilerle temizlenmesi yöntemi (Maden Sahaları Rehabilitasyon Eylem Planı, 2014)

3.4 Rehabilite Edilemeyen Sahaların Kamu Yararına Kullanılması Yöntemi

Diğer yöntemlerin uygulanmasının teknik ve ekonomik açıdan uygulanamadığı sahaların kamu yararına kullanımı için düzenlenmesini amaçlayan yöntemdir. Bu tip sahalar, projelendirilerek park ve mesire alanı, yapay gölet, yeraltı-yerüstü müzeleri olarak kullanılabilmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Üretimi biten sahaların kamu yararına açılması için yapılan çalışmalar.

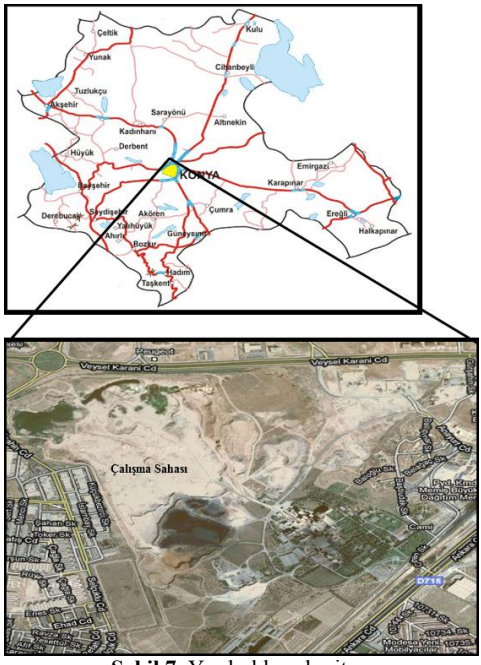
4. MATERYAL ve YÖNTEM

4.1 Çalışma Alanı

Çalışma bölgesi olan Konya Çimento A. Ş.'ye ait kalker ocağı, Konya Selçuklu İlçesi, Ankara yolu üzeri 8. km'de, yerleşim yerlerine oldukça yakın bir bölgede faaliyet gösteren bir işletme özelliği taşımaktadır. Bu işletme, 1963 yılında üretime başlamış ve bu tarihten itibaren Konya Çimento fabrikasına hammadde sağlamaktadır (Şekil 6).

Açık işletme tekniğiyle faaliyet gösteren işletmenin ocak içi görünüşü ve yakın bölgelerindeki yerleşim yerlerine ait görüntüler Şekil 7'de verilmiştir.

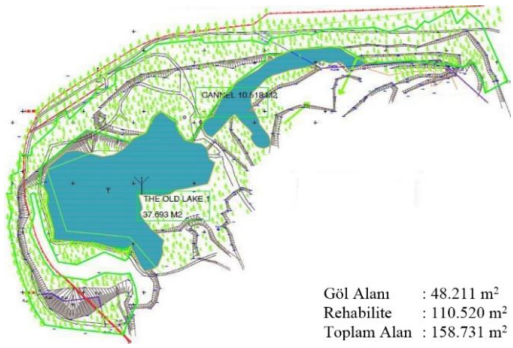
Şekil 6. Konya Çimentoya ait kalker ocağı ve yakın bölgelerindeki yerleşim yerleri



Şekil 7. Yer bulduru haritası

5. KONYA ÇİMENTO REKLAMASYON ÇALIŞMALARI

Madencilik sektöründe, çevre dostu teknoloji ve yöntemlerin kullanılması, madencilik evresinde ve sonrasında çevrenin korunmasına yönelik tedbirlerin alınması sektörün gelişimini sağlamaktadır. Konya Çimento İşletme alanındaki doğaya yeniden kazandırma çalışmaları, üretim işlemlerine paralel olarak planlanmış ve yapılmaktadır. Yapılması planlanan reklamasyon çalışmalarının projesi Şekil 8'deki gibi planlanmıştır.



Şekil 8. Konya Çimento San. A.Ş. hammadde ocağı rehabilitasyon ve peyzaj projesi

Plan doğrultusunda, ilk olarak alan üzerinden sıyrılan tarımsal toprağın düzenli olarak depolanmasının yapılması, depolanan bitkisel toprağın üretim işlemleri tamamlanmış olan alanlara düzenli olarak serilerek bu alanların rehabilitasyonunun yapılması sağlanmaktadır. Reklamasyon faaliyetleri sırasında, 23.01.2010 tarih ve 27471 sayılı "Madencilik Faaliyetleri İle Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği"ne uyulmaktadır. Arazideki doğaya yeniden kazandırma çalışmaları yönetmelik hükümlerine göre yapılmaktadır. İşletmesi devam etmekte olan bölgeler için çalışma planları, reklamasyon çalışmalarının da hedefini göz önünde bulundurarak yapılmakta ve yürütülmektedir.

Fabrika sahası etrafında halen devam etmekte olan ağaçlandırma çalışmalarıyla binlerce çam, dişbudak, çınar, sedir, akçaağaç, iğde, meşe ve badem ağacı yetiştirilerek bölge bir koru içerisinde faaliyet gösteren örnek bir tesis haline gelmiştir. Hammadde ocaklarında malzeme temininin son bulduğu bölümlerde rehabilitasyon projesi genel projeye uygun nitelikte yürütülmekte olup oluşumu sağlanan doğal göletlerin etrafında yeşil alanlar oluşturulmaktadır (Şekil 9).

Konya Çimento fabrika alanı içinde 2004 yılında uygulanmaya başlanan rehabilitasyon çalışmaları kapsamında, 110.520 m^2'lik hammadde (kalker) ocak alanında, 36.250 adet ağaç dikilmiştir. Yöreye uyum sağlayabilecek türlerden seçilerek dikilen bu farklı ağaç türlerinin sulanması amacıyla damlama sulama sistemi kurulmuştur. Tamamen var olan yüzey suları ile oluşturulmuş gölet alanları ve hem gölet suyundaki oksijen devridaiminin sağlanması hem de görsel bir güzellik sağlamak amacıyla havalandırma fıskiyeleri yerleştirilmiştir (Şekil 10). Bu sayede ocak alanında ve göl içerisinde bir ekosistem oluşturularak, farklı türde canlıların yaşama ve çoğalma olanakları amaçlanmıştır.

Bu çalışmaya konu olan ve 1954 yılında kurulan, Konya Çimento'ya ait hammadde ocağı kuruluş döneminden itibaren fabrikanın hammadde ihtiyacını karşılamaktadır. Üretimine son verilen alanlarda yapılan reklamasyon çalışmaları ile şehre görsel zenginlik katan bir alan oluşturulmaktadır. Üretimini tamamen tamamladıktan sonra halkın kullanımına açılacak olan bu alan bölgeye güzel bir mesire alanı kazandıracaktır. İçerisinde bulunan göllerde yetiştirilen balık çeşitliliği ve ekoloji korunduğu takdirde halkın güzel vakit geçirebileceği bir alan olma yolunda ilerlemektedir.

Şekil 9. Reklamasyon çalışmaları sonucunda oluşturulan yapay göl

Şekil 10. Maden ocağı içerisinde oluşturulan gölet

Ülkemizde faaliyet gösteren bütün maden işletmelerinin bu tür projelerinin harekete geçirilmesi hammadde kaynağı ve getirdiği ekonomik kazancın yanısıra topluma ve kente çeşitli yeşil alanlar kazandırmaktadır.

6. SONUÇLAR

Madenler, ülkelerin kalkınmasında ve ekonomiye olan katkıları nedeniyle önemli kaynaklar olma özelliğine sahiptir. Madencilik faaliyetleri ile üretilen hammaddeler birçok alanda kullanılan nihai ürünün ana materyalini oluşturmaktadır. Artan nüfusun

getirdiği ürün talebinin karşılanabilmesi için hammadde üretiminin devamlılığı gerekmektedir. Hammadde temini için hayati öneme sahip olan madencilik sektörünün durdurulamayacağı gibi yavaşlatılması dahi üretim gücünü zayıflatacaktır. Günümüzde, inşaat, endüstriyel ürünler, otomotiv sanayi, elektronik, telekomünikasyon ürünlerinin eldesinde ve enerji üretiminde yoğun miktarda maden ve madencilik ürünleri kullanılmaktadır.

Madencilik faaliyetleri esnasında meydana gelen atıklar, hava, su, toprak kalitesinin bozulması, görüntü ve ses kirliliği gibi etmenlerin olumsuz tesirlerinin azaltılması ekolojik dengenin korunması ve doğada meydana gelen değişimlerin önlenmesi çalışmaları planlanmakta ve sürdürülmektedir. Üretimi tamamlanan alanların güzel bir görünümüne sahip olması kadar, bu alanlardan ekonomik olarak yararlanmak gerekmektedir. Bu gereklilik hem ekonomik canlılığın ana unsurlarından olan madencilik faaliyetleri yürütülürken hem de yapılan reklamasyon çalışmalarıyla yeni tarımsal alanlar, tabiat müzeleri, kamu yararına oluşturulan göller ve çeşitli mesire alanları kazandırılmaktadır. Ayrıca, madencilik alanında eğitim veren bölümlerde okuyan öğrencilere ve sektörde çalışan gençlere sosyal sorumluluk projeleri ile çevre bilincinin aşılanması, geleceğimiz olan gençlerin daha duyarlı bir madencilik yapılmasına büyük katkıları olacaktır.

Konya Çimento A.Ş . bünyesinde faaliyet gösteren bir kalker ocağında yürütülmüş ve halen yürütülmekte olan reklamasyon çalışmaları sonucunda, birçok flora ve faunanın yaşaması için doğal bir yaşam alanı inşa edilmiştir. Reklamasyon çalışmalarının sadece ağaç dikmekten öte bir kavram olduğunun ve madencilikten önceki halinden bile daha güzel bir hale getirilebileceğinin kanıtı olan güzel bir çalışma örneğidir. Bu çalışma sonucunda, görüntü kirliliği, toz kirliliği ortadan kaldırıldığı gibi, kamu yararına açılacak olan önemli bir mesire alanı kazandırılmış olacaktır.

KAYNAKLAR

Akten, M., Babalık, A.A., Küçük, V., 2014. Mermer Ocakları Rehabilitasyonunda Kullanılabilecek Potansiyel Bitki Türleri: Isparta-Kırtepe Mermer Ocağı Örneği, Ulusal Mermer Ve Taş Ocakları Onarım Teknikleri Sempozyumu, Isparta s. 368-378.

Bilim, N., 2015. Madencilik Sektörü Lokomotif Bir Sektördür. Demir Çelik Store, Mayıs Sayısı.

Borand, M. N., 2012. Açık ve Kapalı Maden İşletmeciliğinde Çevresel Etki. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dönem Semineri, s. 63, İstanbul.

Dogan, T., Kahriman, A., 2008. Reclamation planning for coal mine in Istanbul, Agacli Region, Environ Geol, 56:109–117.

Fasla A.M.B., 2000. Reclamation planning of pits and quarries, Landscape Architecture Technical Information Series (LATIS), United States of America, Washington, 1–40.

Harris, A.P., Birch, P., Palmer, P.P., 1996. Land restoration and reclamation: principles and practice. Addison Wesley Longmann Ltd, London. ISBN: 0-582-243130.

Kuzu, C., Okten, G., Nasuf, E., 1998. Reclamation of coal mines. In: Kural, O. (ed) Coal, pp 587–600.

Okyay, V., Aydın, O., 2013. Madenlerde Saha Düzenlemesi (Rekültivsyon – Rehabilitasyon). Madencilik Türkiye, Sayı: 29, 64-78.

Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2014. Maden Sahaları Rehabilitasyon Eylem Planı, http://www.cem.gov.tr/erozyon/files/EylemPlan/madensahalari/index.html

Ramani, R.V., Sweigard, R.J., Micheal, L.C., 1990. Reclamation planning, surface mining. Society for mining, metallurgy and exploration, inc, Littleton, p. 750–769.

Şimşir, F., Pamukçu, Ç., Özfirat, M.K., 2007. Madencilikte Rekültivasyon ve Doğa Onarımı DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt: 9 Sayı: 2 s. 39-49.

EVALUATION OF YIELD FOR DIFFERENT BENCH SLOPES A MİKROMAN MINE COMPANY QUARTZ QUARRY (YATAĞAN-MUĞLA, SW TURKEY)

MİKROMAN MADENCİLİK ŞİRKETİ KUVARS OCAĞI (YATAĞAN-MUĞLA-GB TÜRKİYE) VERİMİNİN FARKLI BASAMAK EĞİMLERİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Murat GÜL[1*], Avni GÜNEY[2], Ergun KARACAN[1], Fikret KAÇAROĞLU[1], Nazmi ÇETİN[3], Nefise Rua DEMİRTAŞ[3]

1: Muğla Sıtkı Koçman University, Department of Geological Engineering, Muğla, TURKEY

2: Muğla Sıtkı Koçman University, Department of Mining Engineering, Muğla, TURKEY

3: Mikroman Maden A.Ş. Hisarardı Mahallesi Kanlılar Sokak No: 18/A Yatağan, Muğla, TURKEY

*: Corresponding author: muratgul@mu.edu.tr

ABSTRACT: The stability and yield of the quartz quarry in the albite, quartz and biotite gneiss units between Çine (Aydın)- Milas-Yatağan (Muğla, SW Turkey) for different excavation slopes were investigated, in this study. Recent slopes of quarry consist of 4-5 benches with an average height of 8 m and a 60° bench angle. Discontinuity orientation was determined for kinematic analyses of benches. Failure modes of benches and their probabilities were evaluated with the DIPS 6.0 program. Safety factor was investigated at different slope benches with Slide 5.0 program. Volumetric excavation changes that occurred at the determined slopes were investigated. Eight wells drilled in the lowest bench of each slope for groundwater level measurement. Depth to groundwater table was determined between 0.75 and 19.85 m in quarry during the measurements in May 2015. The increase in groundwater level and surface waters near quarry is thought to be a problem for excavation activities in the quarry. It is necessary to continuously monitor groundwater and surface water and dewatering for safe mine operation. Overall failure percentage (including planar slip,

wedge type failure, flexural toppling, and direct toppling) for first bench of western slope was found to be 40.55-75.79%, for second bench of western slope was 47.32-94.34%, and for second bench of eastern slope 49.34-71.33% for bench slopes between 60°-72°. It has been determined that 66° is the most suitable bench slope angle for quarry. Every 5° increase of bench slope angle can reduce the amount of excavation by 10%. That may significantly reduce operating coast and quarry waste.

Keywords: Quartz quarry, Bench excavation, Yield of quarry.

ÖZET: *Bu çalışmada, Çine (Aydın)- Milas-Yatağan (Muğla, GB Türkiye) arasında bulunan, albit, kuvars ve biyotit gnaysları içinde açılmış olan kuvars ocağı yamaç kazılarının duraylılığı ve verimi araştırılmıştır. Ocağın hâlihazırdaki yamaçları ortalama 8m yükseklikte ve 60° açılı 4-5 basamaktan oluşmaktadır. Basamakların kinematik analizi için süreksizlik yönelimleri ölçülmüştür. Basamakların yenilme tipleri ve olasılıkları DIPS 6.0 programı ile değerlendirilmiştir. Faklı basamak açılarındaki emniyet faktörü Slide 5.0 programı ile araştırılmıştır. Kazı miktarındaki hacimsel değişiklikler belirlenmiş basamak açılarında araştırılmıştır. Yeraltısuyu seviyesi belirlemeleri için en alt basamakta 8 sondaj kuyusu açılmıştır. Mayıs 2015'te yapılan ölçümlerde yeraltısuyu seviyesinin yüzeyden 0.75 ile 19.85 m aşağıda olduğu belirlenmiştir. Yeraltısuyu seviyesinin yükselimi ve ocak yakınlarındaki yüzey sularının ocak için problem yaratacağı düşünülmektedir. Emniyetli madencilik faaliyeti için, suların sürekli izlenmesi ve susuzlaştırma çalışması yapılması gerekmektedir. 60°-72° arasında değişen basamak açıları için, toplam yenilme yüzdeleri (düzlemsel kayma, kama tipi yenilme, bükülmeli devrilme ve doğrudan devrilme dahil) batı yamacı birinci basamak için % 40.55-75.79, batı yamacı ikinci basamak için % 47.32-94.34, doğu yamacı ikinci basamak için % 49.34-71.33 olarak hesaplanmıştır. En uygun basamak açısının 66° olduğuna karar verilmiştir. Basamak açılarının 5° artışında kazı miktarının % 10 azaltacaktır. Bu da ocak giderlerini ve ocak atıklarını önemli ölçüde azaltacaktır.*

Anahtar Kelimeler: *Kuvars ocağı, Basamak kazısı, Ocak verimi.*

1. INTRODUCTION

This paper is related to the quartz quarry yield of Mikroman Mine Co., which is one of the largest quartz companies in Muğla-Aydın region. At the base of mining, fundamentally two elements are of concern; safety and economics. The risk (such as pit

wall failures) will involve when the engineers have to make a decision between the safety and economics. Rock mass characteristics (including strength, orientation-spacing-roughness-frequency of joints, faults, water condition) are highly controlling the safe mining activities. Companies firstly want to stay at the safe side during operation, but also they want minimize operation cost (for example diminishing the excavation). Thus the determination of suitable bench height and slope and overall slope are critically important. For saking from additional bench with increasing bench height, and as much as possible high bench slope are significantly decrease excavation, so operation cost and also waste material, which is very important for protection of environment. For this reason, initally material and mass characteristics including engineering properties, hydrogeological conditions of the quarry area were determined. Recent bench slope-height and overall slope condition were analyzed. Then alternative bench slope-height and overall slope were taken into consideration.

2. MATERIAL AND METHODS

5 lines from the second bench, 3 lines from the first bench of the western side of the quarry; 3 lines from the second bench of eastern side of quarry were measured with line intervals of 32 to 50 m for the measurement discontinuities by Brunton geologic compass and FieldMove Clino Android application. Joint wall strength measurements were carried out by using manual and automatic Schmidt Hammers, and representative rock material samplings were done during the field study. 8 of the wells on the first step of eastern slope and 8 of the wells on the first step of western slope were drilled by company for groundwater level observation. Several core samples of rock mass were provided by company for laboratory studies.

DIPS 6.0 (Rockscience, 2014) software was used for kinematic analysis of discontinuities and different failure modes were evaluated for different bench slopes. Slide 5.0 (Rockscience, 2003) software was run in order to determine the stability of recent benches in different profiles and also used for the estimation of the stability at different bench angles in eastern slope. Index properties of rocks were determined in the Rock Mechanics and Engineering Geology Laboratory of Muğla Sıtkı Koçman University in Muğla. An analysis of bench face based on bench with and overall slope angles and estimation of excavation volume changes were performed. Drainage,

groundwater level measurements, main climatic properties, and water budget of the open pit mine site were investigated in detail. The company supplied the basic information about the geometry of slope of southern quarry.

3. MORPHOLOGY OF QUARRY

Mikroman Mine Co. is working in three different quarry areas namely southern, central and northern quarries. This study is performed in southern quarry area, which is the closest quarry to the company plant. The quarry is opened in feldspar (albite), quartz and lesser extent biotite bearing augen gneiss. At the bottom part of quarry, quartzite, which is the target, is located. Two slopes are already formed as a result of the mining activities, namely western slope and eastern slope. Each slope has four or five steps which are 8 m high, roughly 20 m long and has 60° bench slopes (Figures 1, 2, 3). The mining activities will be continuing to the eastern slope. A-A' (northernmost), C-C' (middle) and E-E' (southernmost) profiles were used in Slide 5.0 (Rockscience, 2003) program analyses (Figure 1). 8 wells (B1-B8) were drilled in front of the western bench, while 8 wells (D1-D8) were drilled in front of the western bench (Figure 1). Several line with various length were separated based on slope during the field studies, numbers presented in Figure 2 represents the location of each line, where the Schmidt hammer applied and detailed discontinuities properties were recorded.

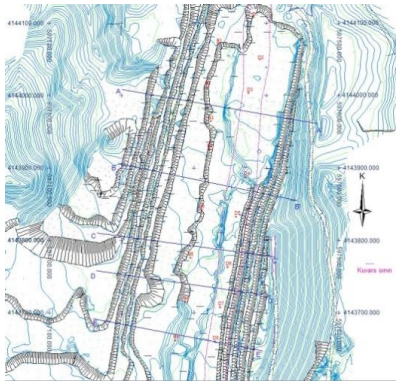


Figure 1. Topography of open pit mine and neighborhood.

4. GENERAL GEOLOGY SETTING

The studied region is located in Southern Submassif of Menderes Massif, which is the largest metamorphic core complex of Alpine Orogenic Belt (Bozkurt et al. 1995;

Bozkurt and Oberhansli 2001). The core of the submassif contains Upper Proterozoic meta sediments and various metamorphic rocks including micaschist, orthogneiss, quartzite, metagabbro (Candan et al. 2001). Precambrian gneiss, garnet-mica schist, biotite-albite schist quartzite, marble and leucogranite type rock existence reported in previous studies (MTA, Bozkurt, 2004; Koralay et al., 2012). Similarly, gneiss, schist, albite and quartzite were observed during field studies and wells data examination.

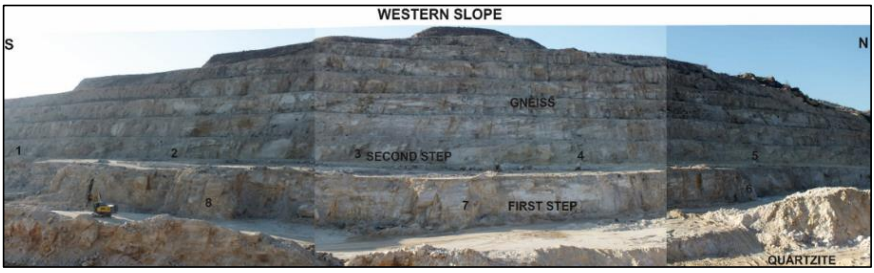


Figure 2. General view of the western slope of the southern quarry.

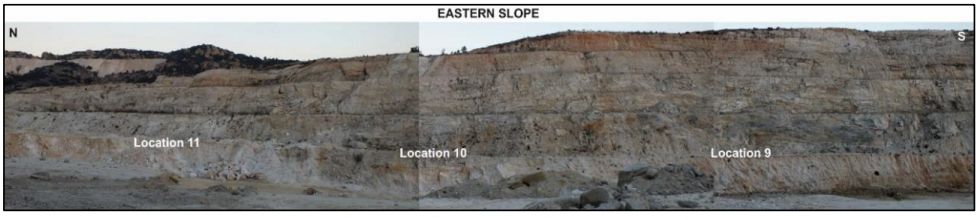


Figure 3. General view of the eastern slope of the southern quarry.

5. PHYSICO MECHANICAL PROPERTIES OF ROCK

The uniaxial compressive strength of this rock is taken as an average values of both laboratory and in-situ Schmidt Hammer test data and is found as 35 MPa. GSI values estimation is requiring an experienced person. Sönmez et al. (2003), proposed Surface Condition Rating (SCR) and Structure Rating for the determination of GSI values. SCR values for the samples were determined considering; rough-slightly rough joint (4), slightly weathered rock (5), and hard filling with less than 5 mm thickness (3). Hence, total SCR value was determined as 12. Structure Rating (SR) was calculated by the following Equation 1.

Structure Rating (SR) =(- 17,5 * ln Jv) + 79.8 (1)

Jv = joint/m^3, based on roughly 2 joint / m along the line, gives Jv = 7/m^3, and SR is 45.7. From SCR and SR, GSI value was found to be 50. This GSI value, m_i constant

values is 28 for gneiss, and disturbance factor was taken as 1.0 for open quarry with good blasting characteristics from table of RocLab 1.0 (Rockscience, 2002). Hence, as a result of the assumptions, the cohesion "c" of gneiss is 1.322 MPa, and internal friction angle (Φ) was determined as 24.46 by means of RocLab 1.0 (Rockscience, 2002) application, but used as 25 in DIPS 6.0 (Rockscience, 2014) program.

Uniaxial compressive strength of quartzite was estimated by the program depending on an empirical strength characteristic, as 75 MPa. GSI value of the quartzite was found to be 50. m_i constant value was 20 and disturbance factor was taken as 1.0 for open quarry with good blasting characteristics. So, as a result of application of RocLab 1.0 (Rockscience, 2002) program, the cohesion and internal friction angle of quartzite were determined as 2.476 MPa and 21.92, respectively. N type Schmidt Hammer Rebound Values and estimated uniaxial compressive strength value is presented in Table 1. Table 2 presents the laboratory results. In-situ compressive strength of rock is lower than the laboratory values owing to the joints, alteration and/or weathering effects (Table 2).

Table 1. Schmidt hardness values obtained in the field and estimated in-situ compressive strength values.

Location number from Figs. 1 and 2	Average Schmidt hardness value (RN)	Field estimated compressive strength of rock (MPa) UCS=2.208 e 0.067Rn(N) (Katz et al., 2000)
1	40	32
2	45	45
3	46	48
4	50	63
5	50	63
6	45	45
7	46	48
8	44	42
9	36	25
10	30	16
11	27	13
Average	41.7	40
Standart Deviation	7.7	17

6. HYDROGEOLOGICAL PROPERTIES OF THE QUARRY

Field and office studies were carried out to determine surface water and groundwater properties in Mikroman Mine Co. (Yatağan) and its vicinity. Drainage basins (main basin and subbasin) covering the study area was delineated, drainage network drawn, and groundwater levels in South Quarry were measured in small diameter observation wells.

Table 2. Laboratory results of certain physico-mechanical experiments.

Depth of core sample (m)	Code of core sample	Dry unit weight (ave., gr/cm3)	Saturated unit weight (ave., gr/cm3)	Apparent porosity (ave., %)	Water absorption by mass (ave., %)	Water absorption by volume (ave., %)	Uniaxial compressive strength (UCS) (ave., MPa)	Contents and Rock Class
56.00-56.25	DH2015-1	2.49	2.52	2.34	1.13	2.34	50.5	Gneiss, Albite 60 %, Quartz 20 %, Biotite 20 %, irregular banding
59.90-60.15	DH2015-1	2.6	2.63	1.79	0.82	1.79	48.3	Gneiss, Albite 40 %, Quartz 40 %, Biotite 20 %, irregular banding
65.00-65.15	DH2015-1	2.6	2.63	2.49	1.21	2.49	18.54	Gneiss, Albite 60 %, Quartz 40 %, trace amount biotite, irregular banding.
66.40-66.6	DH2015-1	2.68	2.72	3.03	1.38	3.03	16.33	Gneiss, Albite 60 %, Quartz 40 %, trace amount biotite, irregular banding.
63.40-63.65	DH2015-3	2.63	2.64	0.99	0.46	0.99	34.56	Albite-Quartz-Biotite Schist, locally gneissic banding
38.50-38.8	DH2015-4A	2.63	2.64	0.99	0.46	0.99	46.8	Quartz-Albite-Biotite Schist, Albite 40 %, Quartz 50 %, Biotite 10 %,
42.05-42.25	DH2015-4A	2.6	2.62	1.12	0.51	1.12	42.27	Albite-Quartz-Biotite Schist,
44.50-44.85	DH2015-4A	2.61	2.62	1.16	0.54	1.16	48.9	Gneiss, Albite 65 %, Quartz 35 %, trace amount biotite, irregular banding.
59.05-59.25	DH2015-5	2.56	2.58	1.53	0.7	1.53	41.9	Gneiss, Albite 80 %, Quartz 20
100.40-100.65	DH2015-6	2.54	2.56	1.17	0.56	1.17	32.6	Gneiss, Albite 90 %, Quartz 10
104.70-104.9	DH2015-6	2.56	2.58	1.42	0.68	1.42	44.2	Albite-Quartz Schist, Albite, Quartz
69.70-69.9	DH2015-11	2.53	2.59	5.45	2.42	5.45	18	Gneiss, Albite 70 %, Biotite 30 %
30.15-30.35	DH2015-12	2.8	2.84	2.39	1.18	2.39	18.04	Gneiss, Albite 45 %, Quartz 45, Biotite 10%
38.70-38.9	DH2015-12	2.73	2.76	1.78	0.82	1.78	36.22	Gneiss, Albite 40 %, Quartz 50, Biotite 10%
63.00-63.2	DH2015-15	2.62	2.64	1.5	0.76	1.5	35.38	Gneiss, Albite 70 %, Quartz 30 %
OVERALL SLAKE DURABILITY INDEX VALUE (OUT OF FIVE SAMPLES AFTER 2ND CYCLES): Id2(%)=50 CLASSIFIED AS A LOW STRENGTH								

6.1 Drainage Basin and Stream Network

Mikroman Quartz Mine area and its vicinity is drained by Kışla stream and its tributaries. Kışla stream is an intermittent stream that is dry in summer and autumn, and flowing in winter and spring. There was no flow in this stream during the field study. In the Kışla stream bed local stagnant waters were observed. The main drainage basin was delineated using 1/25000 scaled topographic map for cross-sections selected on Kışla stream at Çobanlar district. Within this main basin a subbasin was delineated taking a cross-section on the stream at the boundary of the South and North quarries (Figure 4). The area of the main drainage basin is 3.5 km^2. The subbasin covers the north part of the main basin, and has an area of 2.0 km^2.

6.2 Precipitation, Temperature, Evapotranspiration and Water Budget

The closest meteorology station to the study area is Yatağan Meteorology Station (YMS) which is operated by Turkish State Meteorological Service. Mean monthly precipitation and temperature data of the YMS for 1980-2012 periods (33 years) were used for meteorological evaluation and evapotranspiration and runoff determination (Table 3). Mean annual precipitation is 632 mm. Maximum and minimum mean monthly precipitation occurs in December (117.1 mm) and in August (4.4 mm), respectively. Mean annual temperature is 16.4 ^oC. Minimum mean monthly temperature is in December (6.8 ^oC), and maximum mean monthly temperature is in July (27.8 ^oC).

Monthly potential evapotranspiration (ET_p) were estimated (Table 4) using YMS data by an empirical equation developed by Thornthwaite (1948). Thornthwaite equation is based mainly on mean monthly temperature and number of daylight hours (Shaw, 1994; Davie, 2008).

The input items into a basin (or a particular area) are essentially precipitation (P) and subsurface inflow (G_i). The water output items are evapotranspiration (ET_a) and subsurface outflow (G_o), groundwater recharge (G_r), and as surface runoff (streamflow, R). The general water balance equation for a basin can be written as

$$P + G_i = ET_a + G_0 + G_r + R \quad (2)$$

If there is no subsurface inflow (G_i) and outflow, water balance equation simplifies to

$$P = ET_a + G_r + R \quad (3)$$

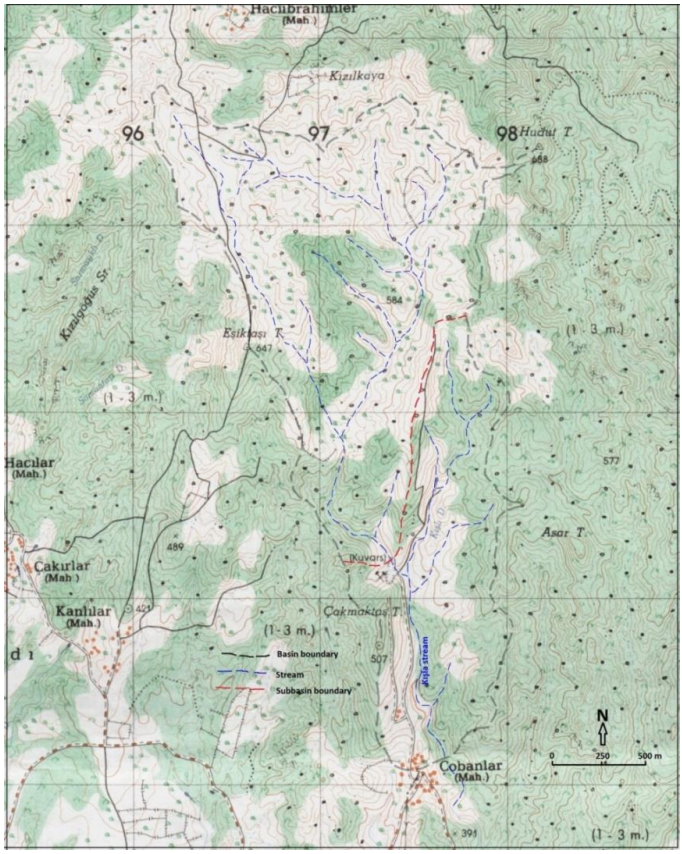


Figure 4. Drainage basin and stream network

A water budget (balance) was prepared using monthly precipitation data (P) (Table 3) and estimated monthly potential evapotranspiration (ET_p) values (Table 4) of the YMS. The water budget (balance) based on YMS data is given in Table 5. Soil moisture capacity in water budget calculation is accepted as 100 mm. Water budgets of the main basin and subbasin were calculated (Table 6 and 7) using the values in Table 5 and areas of the main basin (3.5 km^2) and subbasin (2 km^2). The budget calculation results are given as m^3 in Table 6 and 7.

Annual (yearly) precipitation (P) falling onto main basin is $2212x10^3$ m^3. $1253x10^3$ m^3 of this amount returns to the atmosphere as evapotranspiration (actual evapotranspiration, ET_a). The remaining part of the precipitation constitutes rainfall excess ($R+G_r$), and equals to $959x10^3$ m^3 (Table 6). A great portion of the rainfall excess is discharged as surface runoff (streamflow, R) by means of Kışla stream, and remaining small part infiltrates into the rocks and recharges groundwater (G_r).

Table 3. Meteorological data of the Yatağan Meteorology Station (YMS)

Latitude :37 Longitude: 28 Altitude: 365 m Observation duration (years): 33													
17886-YATAGAN 1980 - 2012													
Parameter	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Year
Mean Temperature (°C)	6.8	7.4	10.1	14.1	19.1	24.5	27.8	27.3	22.7	17.2	11.6	8.2	16.4
Maximum Mean Temperature (°C)	12.1	12.8	16.4	20.9	26.6	32.1	35.6	35.8	31.5	25.4	18.4	13.2	
Minimum Mean Temperature (°C)	2.3	2.5	4.3	7.7	11.3	15.7	18.8	18.5	14.4	10.3	6.2	4.0	
Mean Precipitation (mm)	105	89	73	47	33	14	9	4	14	39	88	117	632
Maximum Precipitation (mm)	67.4	66.2	62.1	64.7	74.0	31.8	40.0	29.8	62.3	107.4	88.1	89.5	

Table 4. Monthly potential evapotranspiration (ETp)

Parameter	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Year
Mean Temperature (°C)	6.8	7.4	10.1	14.1	19.1	24.5	27.8	27.3	22.7	17.2	11.6	8.2	16.4
Possible sunshine hours for Yatağan (latitude 37° N) (hour)	9.9	10.9	11.9	13.2	14.2	14.7	14.5	13.6	12.4	11.3	10.2	9.6	
Monthly adjustment factor related to hours of daylight (N_m)	0.83	0.91	0.99	1.1	1.18	1.23	1.21	1.13	1.03	0.94	0.85	0.80	78.7
Monthly heat index (i)	1.25	1.81	2.95	4.80	7.61	11.09	13.66	13.19	9.98	6.57	3.63	2.15	
Potential evapotranspiration (ET_p) (mm)	11	13	28	64	137	248	323	288	178	86	32	14	1422

Table 5. Water budget (balance) based on YMS data

Parameter	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Year
Mean precipitation (P) (mm)	105	89	73	47	33	14	9	4	14	39	88	117	632
Potential evapotranspiration (ET_p) (mm)	11	13	28	64	137	248	323	288	178	86	32	14	1422
Actual evapotranspiration (ET_a) (mm)	11	13	28	64	116	14	9	4	14	39	32	14	358
Soil moisture utilization (SMU) (mm)	0	0	0	17	83	0	0	0	0	0	0	0	100
Soil moisture deficit (SMD) (mm)	0	0	0	0	22	233	314	284	164	47	0	0	1064
Soil moisture accreation (SMA) (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56	44	100
Rainfall excess ($R+G_r$) (mm)	94	76	45	0	0	0	0	0	0	0	0	59	274

Table 6. Water budget of the main basin (values in 1000 m^3)

Parameter	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Year
Mean precipitation (P) (1000 m^3)	367.5	311.5	255.5	164.5	115.5	49.0	31.5	14.0	49.0	136.5	308.0	409.5	2212.0
Potential evapotranspiration (ET_p) (1000 m^3)	38.5	45.5	98.0	224.0	479.5	868.0	1130.5	1008.0	623.0	301.0	112.0	49.0	4977.0
Actual evapotranspiration (ET_a) (1000 m^3)	38.5	45.5	98.0	224	406.0	49.0	31.5	14.0	49.0	136.5	112.0	49.0	1253.0
Soil moisture utilization (SMU) (1000 m^3)	0.0	0.0	0.0	59.5	290.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	350.0
Soil moisture deficit (SMD) (1000 m^3)	0.0	0.0	00.0	0.0	770.0	815.5	1099.0	994.0	574.0	164.5	0.0	0.0	3724.0
Soil moisture accreation (SMA) (1000 m^3)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	196.0	154.0	350.0
Rainfall excess (R+G_r) (1000 m^3)	329.0	266.0	157.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	206.5	959.0

Table 7. Water budget of the subbasin (values in 1000 m^3)

Parameter	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Year
Mean precipitation (P) (1000 m^3)	210.0	178.0	146.0	94.0	66.0	28.0	18.0	8.0	28.0	78.0	176.0	234.0	1264.0
Potential evapotranspiration (ET_p) (1000 m^3)	22.0	26.0	56.0	128.0	274.0	496.0	646.0	576.0	356.0	172.0	64.0	28.0	2844.0
Actual evapotranspiration (ET_a) (1000 m^3)	22.0	26.0	56.0	128.0	232.0	28.0	18.0	8.0	28.0	78.0	64.0	28.0	716.0
Soil moisture utilization (SMU) (1000 m^3)	0.0	0.0	0.0	34.0	166.0	0.0	0.0	0,0	0.0	0.0	0.0	0.0	200.0
Soil moisture deficit (SMD) (1000 m^3)	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	466	628.0	568.0	328.0	94.0	0.0	0.0	2128.0
Soil moisture accreation (SMA) (1000 m^3)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	112.0	88.0	200.0
Rainfall excess (R+G_r) (1000 m^3)	188.0	152.0	90.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	118.0	548.0

In water budget of subbasin (Table 7) precipitation (P), evapotranspiration (actual evapotranspiration, ET_a) and rainfall excess ($R+G_r$) are $1264x10^3$ m^3, $716x10^3$ m^3, and $548x10^3$ m^3, respectively. The surface runoff (streamflow) generated in the subbasin flows in the stream bed which passes between North and South quartz quarries.

6.3 Groundwater

Groundwater levels in South Quarry were measured (on 25 December 2015) in small diameter observation wells in order to determine groundwater conditions in the quarry. A water level dipper was used to measure depth to groundwater table in observation wells (Figure 5). The measurements of the water levels were carried out in two rows of wells in the quarry. The coordinates, well head altitudes and groundwater levels are given in Table 8. The locations of the observation wells are depicted in Figure 6.

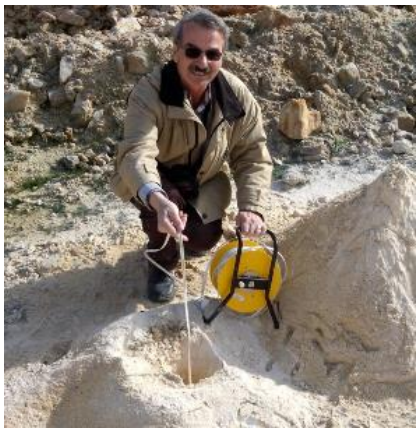


Figure 5. Groundwater level measurement in observation well

The groundwater table altitude in eastern wells (D1..D8) ranges between 410.66 m and 427.36 m (Table 8). In western wells (B1..B8) it differs from 412.52 m to 420.35 m. The depth to groundwater table ranges between 0.75 m and 19.85 m. In Eastern Wells the depth to groundwater table from ground surface shows increase and decrease from the north to the south (Figure 6). The depth to groundwater table continuously increases in Western Wells in south direction. The groundwater table altitude in observation wells decreases towards the south of the quarry which indicates that groundwater table is inclined in south direction.

Table 8. The coordinates, well head altitudes and groundwater levels of the observation wells

Well number	Y	X	Well head altitude, Z (m)	Depth to groundwater table (m)	Groundwater table altitude (m)
Eastern wells					
D1	597382.76	4144108.02	428.76	1.40	427.36
D2	597391.28	4144049.10	429.39	4.50	424.89
D3	597375.15	4144003.85	425.50	4.40	421.10
D4	597371.29	4143886.83	422.64	1.45	421.19
D5	597358.07	4143832.31	421.63	0.75	420.88
D6	597346.41	4143762.90	421.07	4.20	416.87
D7	597336.15	4143707.51	419.49	1.65	417.84
D8	597328.88	4143660.29	417.95	2.90	415.05
D9	597327.19	4143586.28	416.91	6.25	410.66
Western wells					
B1	597333.68	4144071.26	424.85	4.50	420.35
B2	597317.92	4144010.40	424.78	4.95	419.83
B3	597323.43	4143964.41	424.47	4.75	419.72
B4	597321.33	4143924.83	423.79	6.70	417.09
B5	597311.33	4143841.47	423.85	7.30	416.55
B6	597295.04	4143776.01	424.39	8.10	416.59
B7	597288.07	4143714.46	424.03	7.80	416.23
B8	597274.16	4143661.66	423.77	11.25	412.52
B9	597272.39	4143566.21	422.97	19.85	413.12
Coordinates: UTM6-ED50					

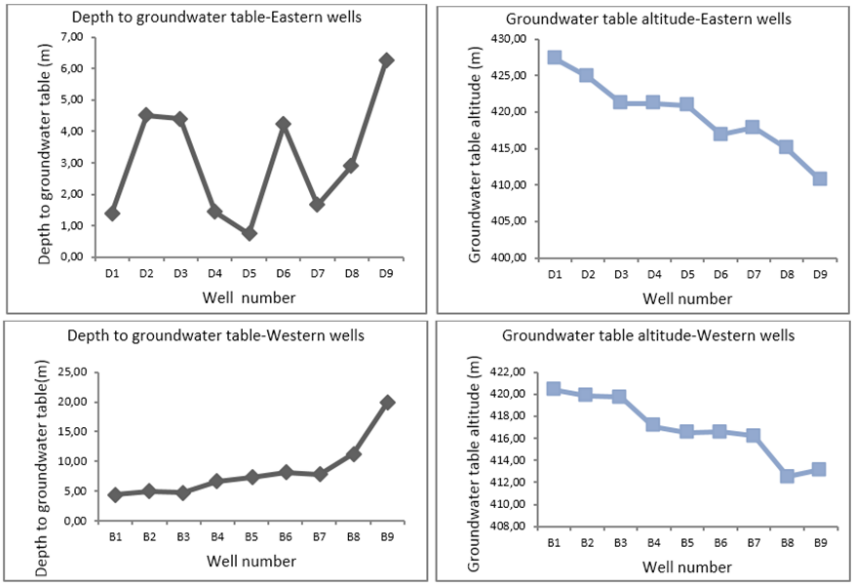


Figure 6. Groundwater levels in the observation wells

7. KINEMATIC ANALYSIS OF BENCHES

Spacing of all joints was measured in all lines, their maximum, minimum, average and standard deviations were presented in tables (Tables 9-11). According to the classification of spacing dimensions, the average value of joint spacing of the rock mass

was classified as a moderate spacing and wide spacing. Also joint frequency of the rock mass was calculated in-situ; average of joint frequency of rock masses is 1.5 fracture/m (Tables 9-11). According to joint frequency, medium-sized blocks are anticipated in gneiss. Joint fracture number, joint frequency calculations have been made only unfavorable joints set, which threat to stability of the slope.

Table 9. Orientation of joint sets, statistical evaluation of joint spacing, joint frequency of second bench of western slope

	Western Slope Second Bench from South to North							
	Location 1		Location 3		Location 4		Location 5	
Joint Set Number	**1**	**2**	**1**	**2**	**1**	**2**	**1**	**2**
Measurement Number	22	17	82	11	64	12	63	15
Orientation of Joints	75/122	86/53	85/205	69/284	88/25	11/264	82/207	13/255
Maximum Spacing (cm)	65.00	150.00	190.00	80.00	340.00	90.00	250.00	122.00
Minimum Spacing (cm)	18.00	30.00	3.00	15.00	2.00	10.00	3.00	36.00
Average Spacing (cm)	39.83	65.83	32.31	45.67	50.52	53.46	64.63	67.38
Standart Deviation	15.63	28.24	32.48	16.73	64.10	25.77	54.33	31.66
Joint Fracture Number / Line length (m)	52/32		88/45	18/6	88/45	96/45	77/51	
Joint Frequency (joints/m)	1.625		1.956	3	1.956	2.133	1.51	

Table 10. Orientation of joint sets, statistical evaluation of joint spacing, joint frequency of first bench of western slope

	Western Slope First Bench from South to North					
	Location 8		Location 7		Location 6	
Joint Set Number	**1**	**2**	**1**	**2**	**1**	**2**
Measurement Number	34	15	35	10	33	13
Orientation of Joints						
Maximum Spacing (cm)	120	150	200	200	130	150
Minimum Spacing (cm)	8.00	15.00	6.00	30.00	7.00	30.00
Average Spacing (cm)	41.29	40.81	53.50	99.09	48.85	82.00
Standart Deviation	28.23	34.74	46.50	54.12	33.07	37.38
Joint Fracture Number / Line length (m)	25 / 60		110 / 60		85 / 50	
Joint Frequency (joints/m)	0.417		1.83		1.7	

Different failure types (including planar sliding, wedge type failure, toppling and rotational slide) can be observed in slopes and can be evaluate with DIPS 6.0 (Rockscience, 2014). Planar sliding, wedge type failure, toppling were determined during the field studies. DIPS 6.0 program requres entering the all discontinuities, general slope, and friction angle of rock mass for kinematic analyses. One of the example of DIPS 6.0 application presented in Figure 7. All DIPS 6.0 application results for actual bench with different bench slope are presented in Tables 12-14. Table 15 shows the results for second-upper bench of eastern slope for bench slopes 60°-72°.

Table 11. Orientation of joint sets, statistical evaluation of joint spacing, joint frequency of second bench of eastern slope.

	Eastern Slope Second Bench from South to North					
	Location 9		Location 10		Location 11	
Joint Set Number	**1**	**2**	**1**	**2**	**1**	**2**
Measurement Number	26	14	34	11	33	11
Orientation of Joints Dip/Dip angle	81°/192°	74°/106°	82°/98°	83°/11°	90°/275°	83°/195°
Maximum Spacing (cm)	110	50	136	40	110	60
Minimum Spacing (cm)	15.00	30.00	12.00	7.00	10.00	15.00
Average Spacing (cm)	52.67	38.20	39.06	19.82	52.56	32.55
Standart Deviation	22.91	5.06	22.39	9.96	23.80	14.74
Joint Fracture Number / Line length (m)	98 / 50		92 / 50		82 / 50	
Joint Frequency (joints/m)	1.96		1.84		1.64	

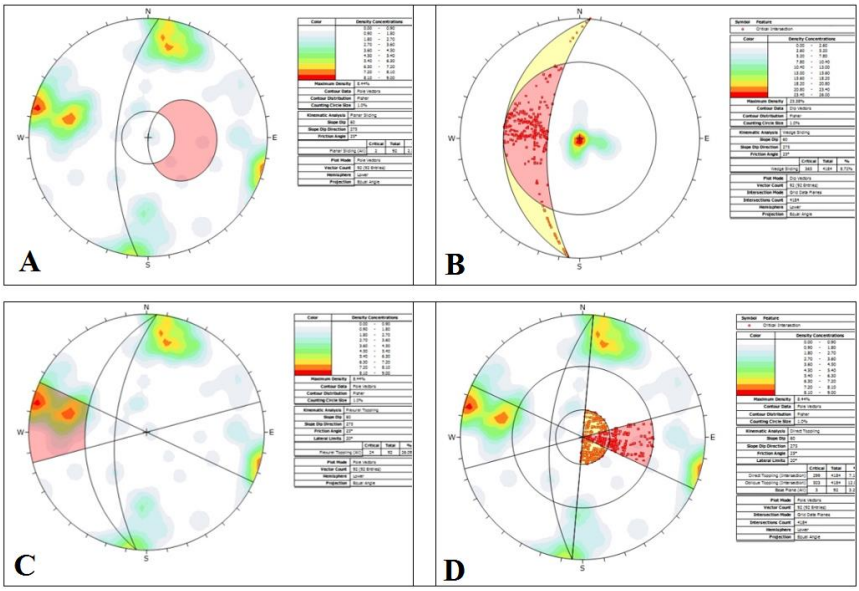


Figure 7. DIPS 6.0 (Rockscience, 2014) program results for line measured in location 9 for 60° in second-upper step of eastern slope A) Planar Sliding, B) wedge type failure, C) Flexural Toppling, D) Direct Toppling.

Wedge type failure and direct toppling due to intersection of joints have been determined as a main failure types for second-upper bench of western slope. However, locally planar sliding is important in Location 1. Depend on 10° increasing of bench face angle cause to increase of roughly 5-10% increasing of those failures (Table 12, Figure 8). First-lower bench shows a different character, general trend is not observed in this step like second bench. All type failures have percentages higher than 10% in southern side, while wedge type (higher than south) and direct toppling came forward in northern side of this bench. Overall risk is higher than the second bench (Tables 12-13).

Table 12. DIPS 6.0 (Rockscience, 2014) application results for actual second-upper bench of western slope.

		WESTERN SLOPE UPPER LEVEL FROM SOUTH TO NORTH																	
		LOCATION 1						LOCATION 2			LOCATION 3			LOCATION 4			LOCATION 5		
N		52						32			56			42			52		
Failure type/slope angle/slope direction		60°/41°	65°	70°	60°/100°	65°	70°	60°/117°	65°	70°	60°/123°	65°	70°	60°/102°	65°	70°	60°/106°	65°	70°
PLANAR SLIDING (%)		5,77	9,62	11,54	11,54	17,31	23,08	6,25	6,25	6,25	0,00	0,00	0,00	4,76	4,76	7,14	5,77	5,77	5,77
WEDGE TYPE FAILURE (%)		16,45	23,17	26,04	18,26	25,58	34,34	16,13	17,74	19,35	16,05	18,32	21,31	20,33	23,34	27,41	17,50	18,93	21,19
FLEXURAL TOPPLING (%)		7,69	7,69	7,69	0,00	0,00	0,00	3,13	3,13	3,13	3,57	5,36	5,36	9,52	9,52	9,52	7,69	9,62	9,62
DIRECT TOPPLING (%)	DIRECT TOPP. (INTERSECTION)	0,23	2,26	3,85	4,45	4,60	6,04	22,38	27,02	29,03	12,41	14,55	16,44	10,34	10,34	10,80	18,93	22,55	23,45
	OBLIQUE TOPP. (INTERSECTION)	2,94	2,94	2,94	0,53	0,53	0,53	4,64	4,64	4,64	10,20	10,20	10,20	7,32	7,32	7,32	8,07	8,07	8,07
	BASE PLANE (ALL)	7,69	7,69	7,69	5,77	5,77	15,38	3,13	3,13	3,13	0,00	0,00	0,00	7,14	7,14	7,14	7,69	7,69	7,69
TOTAL		40,77	53,37	59,75	40,55	53,79	79,37	55,66	61,91	65,53	42,23	48,43	53,31	59,41	62,42	69,33	65,65	72,63	75,79

Table 13. DIPS 6.0 (Rockscience, 2014) application results for first-lower (actual) bench of western slope.

		WESTERN SLOPE LOWER LEVEL FROM SOUTH TO NORTH								
		LOCATION 8			LOCATION 7			LOCATION 6		
N		138			89			68		
Failure type/slope angle		60°	65°	70°	60°	65°	70°	60°	65°	70°
PLANAR SLIDING (%)		8,70	13,73	15,94	2,25	3,37	6,74	4,41	4,41	4,41
WEDGE TYPE FAILURE (%)		13,70	17,45	20,28	14,63	18,77	23,19	23,45	26,97	30,79
FLEXURAL TOPPLING (%)		23,19	26,81	28,99	13,48	14,61	15,73	1,47	1,47	1,47
DIRECT TOPPLING (%)	DIRECT TOPP. (INTERSECTION)	9,35	9,85	9,85	7,87	8,71	8,96	20,55	22,27	23,80
	OBLIQUE TOPP. (INTERSECTION)	6,24	6,24	6,24	9,09	9,09	9,09	13,22	13,22	13,22
	BASE PLANE (ALL)	9,42	12,32	13,04	0,00	0,00	0,00	2,94	2,94	2,94
TOTAL		70,60	86,40	94,34	47,32	54,55	63,71	66,04	71,28	76,63

Table 14. DIPS 6.0 (Rockscience, 2014) application results for second-upper bench of eastern slope.

		EASTERN SLOPE UPPER LEVEL FROM SOUTH TO NORTH								
		LOCATION 9			LOCATION 10			LOCATION 11		
N		92			76			82		
Failure type/slope angle		60°	65°	70°	60°	65°	70°	60°	65°	70°
PLANAR SLIDING (%)		2,17	4,35	5,43	2,63	3,95	3,95	2,44	4,88	7,32
WEDGE TYPE FAILURE (%)		8,72	10,18	11,52	13,33	17,12	19,54	12,59	14,70	19,67
FLEXURAL TOPPLING (%)		26,09	28,26	28,26	17,11	18,42	19,74	8,54	8,54	9,76
DIRECT TOPPLING (%)	DIRECT TOPP. (INTERSECTION)	7,15	8,15	9,75	7,16	7,61	7,75	7,65	9,25	10,99
	OBLIQUE TOPP. (INTERSECTION)	12,02	12,02	12,02	10,63	10,63	10,63	9,58	9,58	9,58
	BASE PLANE (ALL)	3,26	4,35	4,35	1,32	2,63	2,63	8,54	8,54	12,20
TOTAL		59,41	67,31	71,33	52,18	60,36	64,24	49,34	55,49	69,52

Table 15. Additional DIPS 6.0 (Rockscience, 2014) application results for second-upper bench of eastern slope.

		EASTERN SLOPE UPPER LEVEL FROM SOUTH TO NORTH																							
		LOCATION 9								LOCATION 10								LOCATION 11							
N		92								76								82							
Failure type/slope angle		60°	62°	64°	65°	66°	68°	70°	72°	60°	62°	64°	65°	66°	68°	70°	72°	60°	62°	64°	65°	66°	68°	70°	72°
PLANAR SLIDING (%)		2,17	3,26	4,35	4,35	4,35	4,35	5,43	5,43	2,63	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	5,26	2,44	2,44	4,88	4,88	4,88	7,32	7,32	10,98
WEDGE TYPE FAILURE (%)		8,72	9,32	9,99	10,18	10,42	10,92	11,52	12,36	13,33	15,79	16,67	17,12	17,75	18,7	19,54	20,81	12,59	13,28	14,25	14,70	15,06	17,59	19,67	22,2
FLEXURAL TOPPLING (%)		26,09	26,09	26,09	28,26	28,26	28,26	28,26	28,26	17,11	17,11	18,42	18,42	18,42	19,74	19,74	19,74	8,54	8,54	8,54	8,54	9,76	9,76	9,76	9,76
DIRECT TOPPLING (%)	DIRECT TOPP. (INTERSECTION)	7,15	7,91	8,08	8,15	8,29	8,72	9,75	10,23	7,16	7,4	7,54	7,61	7,65	7,75	7,75	7,82	7,65	7,89	8,22	9,25	9,49	9,7	10,99	11,27
	OBLIQUE TOPP. (INTERSECTION)	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63	9,58	9,58	9,58	9,58	9,58	9,58	9,58	9,58
	BASE PLANE (ALL)	3,26	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	1,32	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	8,54	8,54	8,54	8,54	8,54	9,76	12,20	12,2
TOTAL		59,41	62,95	64,88	67,31	67,69	68,62	71,33	72,65	52,18	57,51	59,84	60,36	61,03	63,40	64,24	66,89	49,34	50,27	54,01	55,49	57,31	63,71	69,52	75,99

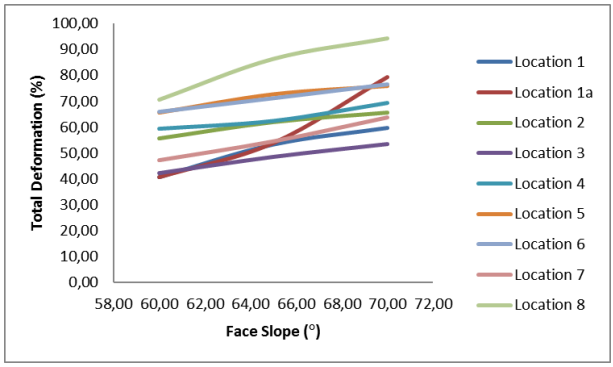


Figure 8. Total deformation variation of western slope at different bench face angle.

Wedge type failure, Flexural toppling and direct toppling type failure risks are higher than 10 % (Tables 14-15). Depend on 12° increasing of bench face angle cause to increase of roughly 13-26 % increasing of those failures (Tables 14-15, Figure 9). If we look at the maximum deformation increasing line is Location 11 in northern side. Total deformation risk increases from 1 to 4% between the 60° and 66°. After that the total deformation ratio increases to 6% between 68° and 72°. So based on those deformation increases, 66° may be proposed as a suitable bench face angle for open pit mine design in eastern slope.

8. SLIDE 5.0 (ROCKSCIENCE, 2003) PROGRAM RESULTS

8.1 Slide 5.0 (Rockscience, 2003) Program Results for Actual Slope

Slide 5.0 (Rockscience, 2003) is software program, prepared by RocScience Company, for analyzing the slope stability. The eastern and western slopes of the A-A', C-C' and E-E' profiles were evaluated based on recent slope morphology (Figure 10). So, 6 different slopes were analyzed based on recent condition. But only two of them figures presented in this text. Morphology of each profile was drawn based on company data. Then quartzite boundary is assumed at the bottom of profiles (dry unit weight: 25.6 kN/m3; saturated unit weight: 25.84 kN/m3), other properties assumed based on Hoek-Brown assumptions, GSI, rock mass strength, m_i constant values are directly calculated from program. Dry and saturated unit weights of quartzite were calculated from the average values of laboratory sample that include more than 40% quartz. No pure quartzite sample was detected in laboratory sample. Rest of the samples results were taken into consideration for gneiss characteristics. Disturbance factor was taken as a 1

due to good blasting production. Water level was assumed in dry condition, and then draws based on surface topography and well applications in last step; however, they are not certain underground water boundary. The region is located in first degree seismic cone of Turkey; thus horizontal seismic loading is assumed as 0.2. Then auto grid system was chosen and interpretation part of program was worked based on Bishop and Janbu slices methods. Least safety factor is automatically calculated by program.

Average overall slope angle of western side of A profile (36.5°) estimated lowest safety factor is 4.198 (Figure 10). Average overall slope angle of eastern side of A profile (36.1°) estimated lowest safety factor is 6.862 (Figure 11).

8.2 Slide 5.0 (Rockscience, 2003) Program Results For Eastern Slopes At Different Bench Angles (60°-62°-64°-66°-68°-70°-72°)

The targeted quartz ore is located at the bottom part of eastern slope. Thus further excavation activities will continue from this side. Thus additional Slide 5.0 (Rockscience, 2003) program application were done for this side. Program limitations, quartz band is ended at 380 m level, at least 20 m base level is taken, then subsequent step angle are taken into consideration, with slope height 8m, step width is 5m, underground water level must have lowered to base level, assumed water level is drawn in each profile, for worst condition dry and saturated unit weights are taken as 25.9 kN/m^3 based on laboratory application. Generalized Hoek-Brown criteria are taken for GSI, m_i, and other factors, Seismic load is 0.2 horizontal based on ideas seismic expert. 50*50 auto grid is applied for analysis. The safety factors are changing between 3.477 and 3.261. According to kinematic analyses, the safety factor at the bench angle at 66° is 3.419 (Figure 12). So, this safety factor value is suitable for open pit design. During excavation of benches, ground water level must be lowered to under the operation bench by suitable drainage system applied.

9. ANALYSIS OF BENCH FACE ANGLES BASED ON BENCH WIDTH AND OVERALL SLOPE ANGLES AND ESTIMATION OF EXCAVATION VOLUME CHANGE

Bench slope changes and also overall slope changes can be directly related to waste quantity in quarry. High bench slope, high overall slope supply and narrow bench and short bench height may lead to less waste, less stripping ratios and decrease the cost.

Higher slope angle may lead less topographical disturbance, this is also decrease the remediation cost. Decreasing of topographical disturbance and waste are desirable thing for environmentally friendly mining application.

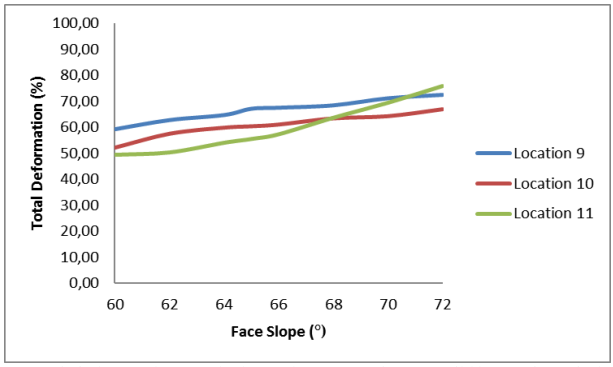


Figure 9. Total deformation variation of eastern slope at different bench face angle.

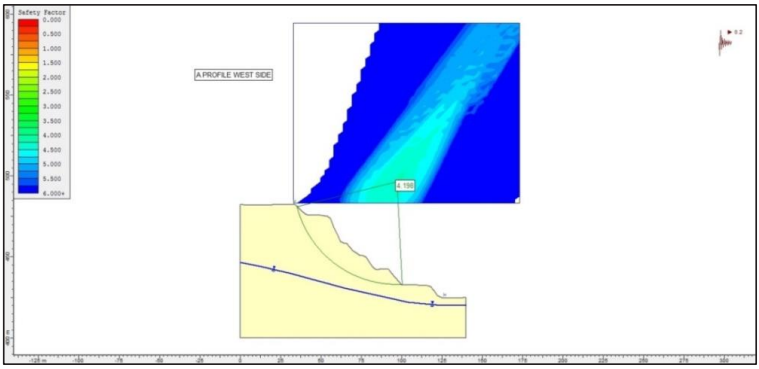


Figure 10. Slide 5.0 (Rockscience, 2003) program results for actual stability of western slope of A-A'profile.

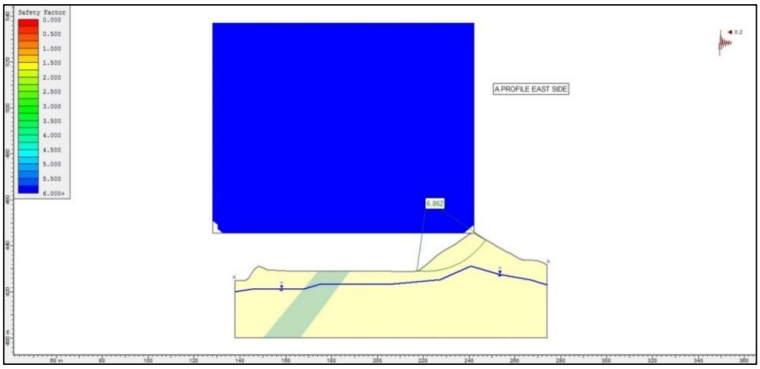


Figure 11. Slide 5.0 (Rockscience, 2003) program results for actual stability of eastern slope of A-A'profile.

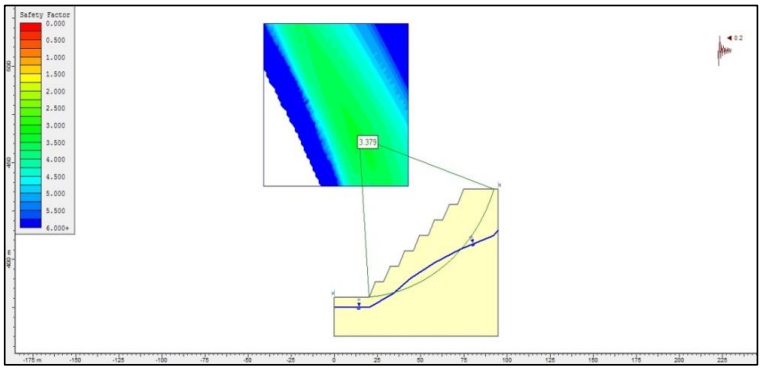


Figure 12. Slide 5.0 (Rockscience, 2003) program results for theoretical stability of eastern slope at bench angle 66°.

For determination excavation volume change, bench height was taken as 8 m, bench width was assumed to change between 4 m to 10 m, and bench face angle was change between 55° and 75° (between 60° and 70°, bench face angle increased 1° for detaily analysis Table 16). Recently Mikroman Mine Co. Applied roughly 60° bench slope. Based on deformation characteristic 66° is determined safe bench slope. Moreover the company use very wide bench width. A 5° decrease in overall slope angle for an intermediate size open pit truck and shovel mine would result in about a 20% increase in costs. The company for economic mine application must take into consideration for future application. However, higher bench angles are also increasing some stability problems. Sudden stress release due to dense tectonics and excavation may lead to big risk for safety of operators and mine quarry. Continuous monitoring of slope, to observe field changes, to take some deformation measurement and additional observation techniques must be applied by experienced engineers.

10. CONCLUSION

Bench slope angles are regularly subject to considerable changes owing to the alterations in the state of stress and consequently geological structure of the rock mass resulted from dynamic forces acting during uncontrolled blasting and fragmentation operation although it was considered in the calculations of stable rock slopes. A sound comprehensive Pit Slope Management Program is the only way the “risk” environment that is open pit mining may be effectively managed. Corporate economic concerns will obviously influence decision making. Change in slope angle which can be related directly to waste tonnages and stripping ratios. For example, a 5° decrease in overall

Table 16. Variation of bench face angle (θ) with overall slope angle (Ø) and the change in excavation volume (ΔV) for several bench widths (BW) and a constant bench height (BH) of 8 m.

	BW= 4m (Bench Width) BH= 8 m (Bench Height)		BW= 5 m BH= 8 m		BW= 6 m BH= 8 m		BW= 7 m BH= 8 m		BW= 8 m BH= 8 m		BW= 9 m BH= 8 m		BW= 10 m BH= 8 m	
θ, ^{0} Bench Face Angle	Ø , ^{0} Overal Slope Angle	ΔV, % Excavat Volum Change (-)	Ø , ^{0} Overal Slope Angle	ΔV, % Excavat Volume Change (-)	Ø , ^{0} Overal Slope Angle	ΔV, % Excavat Volume Change (-)	Ø , ^{0} Overal Slope Angle	ΔV, % Excavat Volume Change (-)	Ø , ^{0} Overall Slope Angle	ΔV, % Excavat Volume Change (-)	Ø , ^{0} Overall Slope Angle	ΔV, % Excavat Volume Change (-)	Ø , ^{0} Overal Slope Angle	ΔV, % Excavat Volume Change (-)
55	39.8	10	37.0	10	34.6	9	32.4	8	30.5	8	28.7	8	27.1	7
60	42.9		39.8		37.0		34.5		32.4		30.4		28.7	
61	43.5	2	40.3	1.8	37.5	1.8	35.0	1.6	32.8	1.6	30.8	1.6	29.0	1.4
62	44.1	2	40.9	1.8	38.0	1.8	35.4	1.6	33.2	1.6	31.2	1.6	29.3	1.4
63	44.7	2	41.4	1.8	38.5	1.8	36.0	1.6	33.6	1.6	31.6	1.6	29.6	1.4
64	45.4	2	41.9	1.8	39	1.8	36.4	1.6	34.2	1.6	32.0	1.6	30.0	1.4
65	46.0	2	42.5	1.8	39.5	1.8	36.8	1.6	34.6	1.6	32.3	1.6	30.3	1.4
66	46.6	2	43.0	1.8	40.0	1.8	37.2	1.6	35.0	1.6	32.7	1.6	30.6	1.4
67	47.2	2	43.6	1.8	40.4	1.8	37.6	1.6	35.3	1.6	33.1	1.6	31.0	1.4
68	47.9	2	44.5	1.8	41.0	1.8	38.1	1.6	35.6	1.6	33.5	1.6	31.3	1.4
69	48.5	2	44.9	1.8	41.5	1.8	38.5	1.6	36.1	1.6	33.8	1.6	31.6	1.4
70	49.2	2	45.3	1.8	41.9	1.8	39.0	1.6	36.5	1.6	34.1	1.5	31.9	1.4
75	52.5	10	48.2	10	44.5	9	41.2	8	38.3	8	35.7	7	33.4	6

$$\text{Ø (deg)} = \text{Arctan}\left(\frac{BH(\tan\theta)}{BW(\tan\theta) + BH}\right)$$

$$\Delta V(\%) = 100\left(1 - \frac{\tan \text{Ø old}}{\tan \text{Ø}}\right)$$

slope angle for an intermediate size open pit truck and shovel mine would result in about a 20% increase in costs. Suitable bench face angle for open pit mine design in eastern slope may be suggested as 66° (recently applied roughly 60°) based on total deformation increasing. Higher bench angles may trigger risk of sudden stress release due to intense regional tectonic activities and excavation. Continuous monitoring is required for saking from unfavorable conditions.

The surface runoff generated in the subbasin and transported by the western tributary of the Kışla stream which passes between North and South quartz quarries may cause drainage problem when further excavation is made and the base level of South quarry is lowered. This water may be drained outside the subbasin by means of an appropriate method (e.g. constructing a diversion tunnel).

The depth to groundwater table in South quarry, measured on 25 December 2015, ranges between 0.75 m and 19.85 m. In future when the quarry is deepened for mining the quartz, groundwater may arise as a problem. The groundwater level in the quarry will need to be lowered applying dewatering process in order to continue safe mining operations.

REFERENCES

Bozkurt, E., 2004. Granitoid rocks of the southern Menderes Massif (southwestern Turkey): field evidence for Tertiary magmatism in an extensional shear zone. International Journal Earth Science 93:52-71.

Bozkurt, E., Oberhansli, R., 2001. Menderes Massif (western Turkey): structural, metamorphic and magmatic evolution- a synthesis. International Journal Earth Science 89: 679-882.

Bozkurt, E., Winchester, J.A., Park, R.G., 1995. Geochemistry and tectonic signifance of augen gneisses from the southern Menderes Massif (West Turkey). Geological Magazine 132:287-301.

Candan, O., Dora, Ö., Oberhansli, R., Çetinkaplan, M., Partzsch, J.H., Warkus, F.C., Dürr, S., 2001. Pan-African high-pressure metamorphism in the Precambrian basement of the Menderes Massif, western Anatolia, Turkey. International Journal Earth Science 89: 793-811.

Davie, T., 2008, Fundamentals of Hydrology (Second Ed.). Rutledge, 200 p.

DIPS 6.0 Rocscience Inc. 2014

Katz, O., Recher, Z., Roegiers, J-C., 2000. Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 37, 723-728.

Koralay, O.E., Candan, O., Chen, F., Akal, C., Oberhansli, R., Satır, M., Dora, O.Ö., 2012. Pan-African magmatism in the Menderes Massif: geochronological data from leuco tourmaline orthogneisses in western Turkey. International Journal Earth Science 101: 2055-2081.

RocLab 1.0 Rocscience Inc. 2002, RocLab Version 1.0 - Rock Mass Strength Analysis using the Generalized Hoek-Brown failure criterion. www.rocscience.com, Toronto, Ontario, Canada.

Shaw, E.M., 1994, Hydrology in Practice (Third Ed.). Taylor &Francis, 613 p.

Slide 5.0 Rocscience Inc. 2003, Slide Version 5.0 - 2D Limit Equilibrium Slope Stability Analysis. www.rocscience.com, Toronto, Ontario, Canada.

Sönmez, H., Gökceoğlu, C., Ulusay, R., 2003. An application of fuzzy sets to the Geological Strength Index (GSI) system used in rock engineering. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 16, 251–269.

Thornthwaite, C.W. ,1948, An approach towards a rational classification of climate. Geog. Rev., 38, 55–94.

PATLATMA KAYNAKLI ÇEVRESEL ETKİLER VE ÖNLENMESİ İÇİN ALINMASI GEREKEN TEDBİRLER

BLASTING INDUCED ENVIRONMENTAL EFFECTS AND REQUIRED PRECAUTIONS FOR PREVENTION OF THEM

Niyazi BİLİM*, Bilgehan KEKEÇ

Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: bilim@selcuk.edu.tr

ÖZET: Günümüzde maden cevherinin yerkabuğundan koparılması için en fazla uygulanan ve tercih edilen iki yöntem bulunmaktadır. Bunlar "delme-patlatma" ve "mekanize kazı" yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Delme-patlatma yönteminin birçok avantajları olmasına rağmen titreşim, gürültü, hava şoku, toz, kaya fırlaması, yakın bölgedeki yapılara zarar verme gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Fakat kontrollü patlatma teknikleri uygulandığı taktirde bu riskler en düşük düzeye çekilebilmektedir. Patlatmanın çevreye verebileceği bu olumsuz etkilerin derecelerini ölçebilmek ve tahmin edebilmek, oluşabilecek olumsuzluklara önceden tedbir alması fırsatı verebilmektedir. Bu nedenle çevreye olan etki derecelerinin ölçülmesi ve elde edilen bu verilere göre tahmin metotlarının oluşturulması sayesinde günümüzde çevreye minimum zarar verebilecek patlatma tasarımları yapılabilmektedir. Ayrıca patlatma kaynaklı çevresel etkilerin ölçüm cihazları ile izlenmesi sayesinde doğabilecek olan hukuki sorunların ve hatalı şikâyetlerin önüne de geçilmektedir. Bu çalışmada, günümüzde patlatma kaynaklı oluşabilecek olan çevresel etkiler hakkında bilgiler verilerek bu çevresel etkileri en düşük düzeye indirebilmek için alınması gereken tedbirlerden bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel etki, Delme-patlatma, Kaya fırlaması, Hava şoku, Titreşim

ABSTRACT: *Nowdays, there are two most preferred methods using for excavation the ore from the earth's crust. These are called as "drilling-blasting" and "mechanized excavation" methods. Although the drilling-blasting method has many advantages, it has disadvantages such as vibration, noise, air pressure, dust, flyrock, damage to the*

nearby area. However, if controlled blasting techniques are applied, these risks can be minimized. Measuring and estimating the magnitude of the negative effects of the explosion on the environment can allow for precautionary measures to be taken. For this reason, by measuring the impacts on the environment and by using estimation methods, it is possible to make blasting designs which can cause minimum harm to the environment. In addition, due to the monitoring of the environmental effects caused by the blasting with the measuring devices, legal problems and faulty complaints can be prevented. This study provides information about the environmental impacts that may occur sourced blasting today and precautions to be taken to minimize these environmental impacts be presented.

Keywords: *Enviromental effect, Drilling-blasting, Flyrock, Air pressure, Vibration*

1. GİRİŞ

Patlatma faaliyeti, madencilik ve benzeri kazı faaliyetlerinin ana unsurlarından birini oluşturmaktadır. Kazı faaliyetlerinde maliyet açısından en ekonomik yöntem genellikle patlatmalı kazı faaliyetleridir. Son yıllarda, nüfusun artmasıyla birlikte hammadde ihtiyacı da büyük ölçüde artmıştır.

Kayaların patlayıcılar kullanılarak yerkabuğundan koparılarak cevher üretimi günümüzde açık ve kapalı maden işletmeleri, tüneller, yol inşaatları gibi birçok alanda vazgeçilmez bir kazı yöntemidir. Kaya patlatması sırasında patlayıcının kimyasal enerjisini şok enerjisine ve gaz enerjisine dönüştüren bir kimyasal reaksiyon meydana gelir. Enerjinin yaklaşık %20'sinin kayanın kırılmasına harcandığı, geri kalanının ise atık enerjisi şeklinde ortaya çıktığı kabul edilmektedir (Dhekne, 2015). Atık enerjisi sismik enerji, gürültü, ısı ve ışık biçiminde ortaya çıkar. Kontrolsüz patlatmalar ayrıca toz, duman ve kaya fırlaması gibi çevresel sorunlara da neden olabilmektedir.

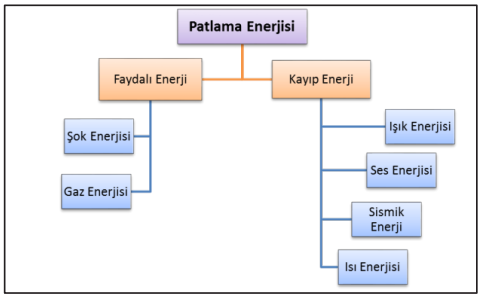
Gerekli olan hammadde ihtiyacını karşılamak için madencilik faaliyetleri yerleşim bölgelerine, tarihi ve kültürel bölgelere yakınlaşmaktadır. Patlatmalı kazı yöntemiyle üretim yapan bu tip işletmeler patlatma neticesinde oluşan çevresel etkilere karşı tedbir almak durumundadır. Aksi takdirde gürültü kirliliği ve istenmeyen sarsıntılar oluşturan işletmeler, özellikle patlatma kaynaklı sismik hareketlerden kaynaklanan şikâyetlerin önünü alamayacaklardır. Patlatma konusunda duyarsız işletmelerin madencilik sektörüne özellikle, pozitif kamuoyu oluşturma konusunda

verdiği zarar, bazı durumlarda küçümsenmeyecek kadar büyük olabilmektedir. Dolayısıyla, madencilik ve benzeri kazıların çevreye zarar vermeden gerçekleştirilmesi önemli bir mühendislik problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Planlı bir şekilde yapılan patlatma faaliyetleri şirket yararına olacağı gibi patlatmanın olumsuz etkilerini de en aza indirecektir.

Maden ocaklarında kazı işlemlerini kolaylaştırmak amacıyla patlatma teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Yükleme ekipmanlarıyla kolayca kazılamayan doğal kayaçlar (örtü tabakası veya cevherler) yerinde patlatılarak gevşetilir ve yüklemeye uygun hale getirilir. Patlatmalı kazı faaliyetlerinin kullanıldığı işletmelerde, kayaç içerisine patlayıcı maddelerin yerleştirilmesi amacıyla deliklerin açılması gerekmektedir. Bunlara patlatma delikleri denilmektedir.

2. PATLATMANIN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Patlatma esnasında çeşitli enerji tipleri açığa çıkar. Bunlar faydalı enerjiler ve kayıp enerjiler olmak üzere iki ana başlık altında toplanır. Bu enerji çeşitleri Şekil 1'de gösterilmektedir. Faydalı enerjiler yapılan patlatmanın amacını oluşturan yani kayacın gevşetilip kazılabilirliğini kolaylaştırma işini gerçekleştiren enerjilerdir. Kayıp enerjiler ise amaca herhangi bir katkısı olmayan ısı, ışık, ses, titreşim gibi çevresel etkileri oluşturan enerji tipleridir.



Şekil 1. Patlatma neticesinde açığa çıkan enerji türleri

İyi bir patlatmadan beklenen en önemli unsurlardan birisi de atımın çevresel etkiler bakımından emniyetli olmasıdır (Kahriman, 1995). Dolayısıyla, madencilik ve benzeri kazıların çevreye zarar vermeden gerçekleştirilmesi önemli bir mühendislik problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Planlı bir şekilde yapılan patlatma faaliyetleri işletme yararına olacağı gibi patlatmanın olumsuz etkilerini de en aza indirecektir.

Başta madencilik sektörü olmak üzere patlatmalı kazı faaliyetleri neticesinde oluşan çevresel etkiler sıkça karşılaşılan ve tartışılan problemlerdir. Patlatma sonucunda oluşan çevresel etkiler, eğer gerekli önlemler alınmamış ve iyi bir patlatma tasarımı yapılmamışsa, patlatmanın yapıldığı bölgede önemli ölçüde hasarlara sebep olabilmektedir. Bu sebeple, patlatma faaliyetlerinin yürütüldüğü bölgelere yakın yerleşim alanlarında yaşayan insanlar, meskenlerinin patlatma kaynaklı yer sarsıntılarından dolayı hasar gördüğünü iddia etmekte ve bunu dava konusu yaparak işletmelerden tazminat talebinde bulunabilmektedirler (Kekeç, 2010; Kılıç ve Kahraman, 2016). Bu tür şikâyetler başlıca;

- ✓ Psikolojik şikâyetler: Bulunduğu bölgeye yakın bir yerde patlatma faaliyetleri ile kazı yapıldığını bilen bir kişi, yapılan faaliyet ne kadar zararsız olsa da psikolojik olarak etkilenebilmektedir.
- ✓ Bilgisizlikten kaynaklanan şikâyetler: Patlatmadan kaynaklanan titreşimler ve hava şoku değerleri ölçülebilen değerler olup kontrol altında tutulabilmektedir. Yapılan patlatmaların bu etkileri her ne kadar kabul edilebilir sınırlar içerisinde de olsa çeşitli nedenlerden dolayı oluşan hasarların (zemin oturması, yaşlanma, heyelan) patlatma faaliyetlerine atıf edildiği görülmektedir.
- ✓ Kötü niyetli şikâyetler: Bazı şikâyetler belirli bir menfaat sağlamak amacıyla yapılabilmektedir. Şikâyeti yapan kimseler patlatma faaliyetleri neticesinde maddi hasara uğradıklarını iddia ederek işletmelerden tazminat alabilmektedirler.
- ✓ Haklı Şikâyetler: Düzenli olarak faaliyet göstermeyen bazı işletmeler patlatma faaliyetlerini uygun olmayan koşullarda yapabilmekte ve teknolojik olmayan ateşleme elemanları ile büyük miktarlarda patlayıcıları tek seferde ateşleyebilmektedir. Özellikle galeri tarzı patlatmalar ve yüksek miktardaki patlayıcı maddelerin aynı anda ateşlenmesi çevresel etkilere neden olabilmektedir.

2.1. Yer Sarsıntıları

Kayaç içerisinde delinen patlatma delikleri şarj edilip, ateşlendiği zaman kayıp enerji grubunda yer alan titreşim dalgaları oluşmaktadır. Bu dalgalar farklı parçacık hızlarına sahiptir ve malzeme içinde farklı dalga hızlarında yol alırlar. Dalgalar etkileri ve hissedilebilmeleri açısından farklı özelliklere sahiptirler. Yersarsıntıları, sahip oldukları enerji düzeylerinden dolayı yapılara hasar verebilmektedir. Bu enerji düzeyleri birkaç

parametreye bağlı olarak ölçülebilmektedir. Bu parametreler; deplasman (zemin yer değiştirmesi) (mm), sarsıntının hızı (m/s), sarsıntının ivmesi (m/s^2) ve frekans (Hz) parametreleridir (Bilgin ve Çakmak 2006).

Ocak patlatmalarından kaynaklanan yer hareketleri, kısa süreli (gelip-geçici) ve düzensiz yer hareketleridir. Zemindeki parçacığın hareket hızına sarsıntı (titreşim) hızı denilmektedir. Titreşim hızı sıfırdan başlar, giderek en yüksek değerine ulaşır ve sönümlenir. Ayrıca patlatma yapılan kaya kütlesinde formasyon özellikleri ve yapısal özellikler de sarsıntı üzerinde etkili olmaktadır (Yücel, 2008).

Patlatma ile oluşan sarsıntılar taşıdıkları enerji düzeyinde hasara neden olmakla beraber, binaların yapım tekniği, boyutları ve üzerine oturdukları zemin özellikleri de hasar oluşumunda etkili olmaktadır (Siskind ve ark., 1980). Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarını incelerken zeminde ilerleyen dalga türleri dikkat edilmesi gereken bir konudur. Çünkü farklı dalga türleri binalar üzerine farklı kuvvetlerde etkide bulunmaktadır.

Patlatma bölgesine yakın yerlerde bulunan yapılar, daha çok patlatma tasarımı, delik düzeni, bir seferde ateşlenen patlayıcı miktarı ve gecikme süresinden etkilenir. Ancak patlatma bölgesinden uzaklarda, sarsıntının özellikleri ve niteliği daha çok yersarsıntısı dalgasının iletildiği kayaç ve zemin ortamı özelliklerinden etkilenmektedir (Siskind ve ark., 1980).

Yersarsıntısı ile ilgili ülkemizdeki mevzuat ise "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği" dir. Bu yönetmelik uyarınca; yapılardaki çevresel titreşim kriterleri yönetmelikte aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

Madde 29

(1) Çeşitli titreşim kaynaklarının sebep olacağı çevresel titreşimin kontrol altına alınmasına ilişkin esaslar aşağıda belirtilmiştir:

a) Maden ve taş ocakları ile benzeri faaliyette bulunulan alanlardaki patlatmaların çevredeki çok hassas ve hassas kullanımlarda oluşturduğu zemin titreşim seviyesi Çizelge 1'de verilen sınır değerleri aşamaz.

2.2. Hava Şoku (Gürültü)

Hava basıncı; atmosferdeki havanın basınçlı bir yol alması olayıdır. Patlama sonucu ortaya çıkan ve istenmeyen sonuçlardan biridir. Hava şoku, patlama ile oluşan hava

basınç dalgaları olup, yüksek gürültü yaratması, yapılarda sarsıntıya yol açması hatta camların kırılmasına ve hasarlara yol açması nedeniyle çeşitli sonuçlara yol açabilir. Patlatma tarafından üretilen hava basıncın çoğu duyma sınırının altında bir frekansa sahiptir (20 Hz). Duyulabilir ve duyulmayan hava şoku, zemindeki yapıların ve yerin titreşmesine yol açabilir. Genellikle insanlar, hava şokunu titreşime nazaran daha fazla hissettiği için, kişiler tarafından yapılan şikâyetlerin en sıkça karşılananıdır. Şok dalgaları çoğunlukla insanlarda psikolojik rahatsızlıklara neden olmakta, patlatmanın kendilerine zarar vereceği endişesi duymaktadırlar. Atmosferde yol alarak binalara ulaşan şok dalgaları, camlarda titreşimine yol açmakta insanlarda patlatmanın çok şiddetli olduğu kanısını uyandırmaktadır. Fakat bazen hava şoku dalgaları gerçekten şiddetli olabilmekte ve binalarda hasarlara yol açabilmektedir. En sık karşılaşılan durumlar cam kırılması ve ince sıva çatlaklarının oluşmasıdır. Hava şokunun çevresel etkileri Çizelge 2'de sunulmaktadır.

Çizelge 1. Maden ve taş ocakları ile benzeri alanlarda patlama nedeniyle oluşacak titreşimlerin en yakın çok hassas kullanım alanının dışında yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri

Titreşim Frekansı (Hz)	İzin Verilen En Yüksek Titreşim Hızı (Tepe Değeri mm/s)
1	5
4-10	19
30-100	50

(1 Hz- 4 Hz arasında 5 mm/s'den 19 mm/s'ye; 10 Hz- 30 Hz arasında 19 mm/s'den 50 mm/s'ye , logaritmik çizilen grafikte doğrusal olarak yükselmektedir)

Çizelge 2. Hava şoku seviyelerinin çevresel etkisi (Hüdaverdi ve ark., 2005).

Ses Şiddeti, (dB)	Ses Basıncı, (Psi)	Oluşabilecek risk
180	3,0	Binalarda hasar
170	0,95	Pencere camlarının çoğu kırılır
160	0,30	
150	0,095	Bazı pencerece camı kırılmları
140	0,030	Ani ses için maksimum seyive
128	0,0070	Emniyetli seviye
120	0,0030	Rahatsız edici sürekli ses 15 dakika süreli şok dalgaları halinde şikayetler
110	0,0095	
100	0,00030	
90	0,000095	8 saatlik sürekli seste rahatsız olma
80	0,000030	

Hava şokunun nedeni patlatma enerjisini kaçmasından kaynaklanmaktadır. Hava şokunun birinci nedeni kaya basınç dalgası ile ilişkilidir. Bu dalganın genliği normalde hava basınç dalgasının genliğinden daha küçüktür bunun nedeni yük aralığının

yetersizliği, açığa çıkan gaz basıncı ve sıkılamanın yarattığı basınçla oluşan dalgaların genliğinin en yüksek olanlardan olmasıdır. Buda sıkılamanın yetersizliğinden kaynaklanır. Ana sebepleri sıkılamanın iyi yapılamaması ve süreksizliklerden enerjinin kaçmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca deliğe fazla patlayıcı koymak, yetersiz dilim kalınlığı, havanın ısısı, binalar ve ağaçlar, kuvvetli rüzgârlar ve toprakla örtülmemiş infilaklı fitil uygulaması da diğer sebeplerdir.

2.2.1. Hava şokuna etki eden parametreler

Hava şokuna etki eden parametreler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Patlatma geometrisi
- Patlatıcının tipi ve miktarı
- Sıkılama
- Gecikmeli kapsül kullanma
- Formasyonun fiziko-mekanik özellikleri
- Patlatmanın yönü
- Meteorolojik koşullar

Patlama Dizaynı (geometrisi): Dilim kalınlığı, aşırı hava şoku ve gürültüye sebep olan önemli bir faktördür. Büyük dilim kalınlığı, zemin titreşimlerini arttırır, çünkü patlayıcının enerjisi kayayı kırmak için yetersizdir ve bu nedenle sismik enerjiye dönüştürülür. Dilim kalınlığı çok küçükse, patlayıcının enerjisi, kaya fırlamalarına neden gaz enerjisine geçen bir enerjiyle parçalamaktadır. Deliklerin aralıkları ve gecikme süreleri diğer önemli faktörlerdir. Boşluk yetersizse ve bitişik delikler arasındaki gecikme süresi boyunca ses dalgası tarafından geçen mesafeden daha düşükse, o zaman çok güçlü hava şokları oluşabilmektedir (Bhandari 1997).

2.3. Titreşim ve Hava Şokunun Ölçümü

Patlatma kaynaklı titreşimlerin kayıt edilmesinde patlatma sismografları kullanılmaktadır. Kullanılan sismografın ana prensibi, deprem kaynaklı yer sarsıntılarının kaydedildiği bir sismografın çalışma prensibi ile benzeşmektedir. Sismografa bağlı jeofonlar, kuruldukları bölgedeki parçacık hızını düşey, yatay ve boyuna olmak üzere üç yönde ölçme kabiliyetine sahiptir.

Yapılan ölçüm ve kayıt sonrası, elde edilen verilerin analizi için PC yazılımları kullanılar analiz yapmak mümkündür. Programa dahil edilmiş uluslararası standartlara (USBM; OSMR; DIN; Swiss Mining Standart; British Standart vd.) bağlı kalınarak patlatmanın çevresel etkilerinin kontrolü sağlanabilmektedir.

Ses dalgaları bir tür basınç dalgası şeklinde yayılır. Patlatma sismograları yardımı ile patlatma sonucu oluşan hava şokunun, Linear "L" veya, "A" ağırlıklı skala kullanılmasına göre farklı mikrofonlar kullanarak sırası ile "fiziksel yapılar" veya "insan kulağı" üzerindeki etkilerinin ölçülmesi mümkün olmaktadır (Kuzu, web).

2.4. Kaya Fırlaması

Normal patlatma bölgesinin dışına fırlayan kaya fırlamalarına aşırı derecede oluşan kaya fırlamaları olarak nitelendirilir. Bu durum birçok iş kazalarına neden olabileceğinden dolayı hiç de istenilmeyen bir durumdur. Kaya fırlamaları, patlatılacak dilim kalınlığı için gereğinden çok fazla patlayıcı kullanıldığında, sıkılama yeterli olmadığında veya patlatma enerjisinin bir zayıflık düzleminden (süreksizlik) kaçabileceği durumlarda gerçekleşir (Şekil 2). Açık işletmelerde patlatma kaynaklı meydana gelen ölümlü iş kazalarının %40'ı ve ciddi yaralanmaları kazaların % 20'si kaya fırlamaları sonucu gerçekleşmektedir. başka bir ifade ile patlama kaynaklı iş kazalarının %40-60'ı kaya fırlamaları nedeniyle meydana gelmektedir (Misra, 2003; Dhekne, 2015).

Şekil 2. Açık işletmelerde oluşan kaya fırlamalarının mekanizması (Dhekne, 2015).

2.4.1. Kaya fırlamalarının nedenleri

Kaya fırlamaları genellikle patlatma enerjisi ile patlatılacak kayaların jeomekanik özelliklerinin yanlış eşleştirilmesinden kaynaklanmaktadır. Aşağıda genel hatları ile kaya fırlamalarına neden olan parametreler sıralanmıştır.

- Basamak genişliğinin yanlış seçilmesi

- Patlatma deliklerinin gereğinden fazla patlayıcı ile doldurulması
- Sıkılmanın gereği gibi yapılmaması
- Kaya kütlesi içerisindeki süreksizlikler fazlalığı
- Gecikmeli patlatmanın tercih edilmemesi
- Patlatma dizaynının yanlış seçilmesi

Kaya fırlamalarının önlemek için alınması gereken tedbirler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Atımdan sonra güvenli yerde 1 dakika kalarak herhangi bir kaya fırlamasının yol açacağı zarardan korunmak doğru bir alışkanlıktır. Atımın yakınına gitmeden önce, atım sonrası saha durumu dikkatlice incelenmelidir (Kahraman ve Kılıç, 2016).
- Tüm taş savrulması ortadan kalksa dahi gevşek kaya tehlikesi olduğu asla akıldan çıkarılmamalıdır.
- Dilim kalınlığı patlayıcı miktarına uygun seçilmelidir.
- Kırık ve çatlaklardan (süreksizliklerden) patlayıcıların delik dışına kaçabileceği düşüncesiyle, patlayıcılar deliklere yerleştirilirken miktarları hassas bir şekilde kontrol edilmelidir.
- Kırık ve çatlaklar, çamurumsu zayıf tabakalar, zayıflık düzlemleri mümkün olduğunca sıkılama malzemesi ile kapatılmalıdır.
- Gecikmeli patlatma yapılarak, yeterli gecikme zamanları kullanılmalıdır.
- Nonel kapsüller tercih edilmelidir.
- Kum çuvalları, konveyör bantları ve tel örgüler gibi susturucu düzenlemeleri tercih edilmelidir.

2.5. Madenlerde toz oluşumu

Ana kayadan kazıcı yükleyici veya patlatma faaliyetleri sonucunda koparılan parçaların kırılmaları ve ezilmeleri sırasında oluşan aynı özelliği taşıyan küçük parçacıklar toz olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3). Toz, genel anlamda çapı 1 mm'den küçük, hava içinde asılı kalabilen veya zamanla çökelen katı taneciklerdir (Fişne ve Ökten, 2002).

2.5.1. Toz kaynakları

Madenlerde genel olarak toz oluşumuna sepeb olan kaynaklar aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

- Delik delme işleri,
- Patlatmalı kazı faaliyetleri,
- Ateşlemeden sonra gevşetilen malzemenin yüklenmesi ve boşaltılması,
- Kırma işleri,
- Yüksek tavan basıncı ile aynanın veya topukların parçalanması,
- Her türlü kazı işlemleri
- Göçükler,
- İşçi hareketleri,
- Nakliyat.

Şekil 3. Patlatma kaynaklı toz oluşumu

2.5.2. Madenlerde tozla mücadele

Tozlar çalışanlar üzerinde birçok deri ve solunum hastalıklarına, makine teçhizat üzerinde aşınma, sıyrılma, gibi olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Bu nedenle, toz oluşumunu mümkün olduğu kadar önlemek gerekmektedir. Ancak oluşumu engellenemeyen tozların ortamdan uzaklaştırılması gerekmektedir. Ortamdan uzaklaştırılamayan tozlar zarar etkilerine göre;

- Fibrojenik tozlar
- Kanserojen tozlar
- Toksik tozlar
- Radyoaktif tozlar
- Alerjiye neden olan tozlar
- İnert tozlar

olarak sınıflandırılabilmektedir. Tedbir alınmadığı takdirde, madencilik toz sorununun ve toza bağlı hastalıkların en fazla yaşandığı iş koludur. Bu nedenle toz ile mücadele edilmelidir.

2.5.3. Tozla mücadele ve korunma yöntemleri

Tozla en etkin mücadele şekli tozun kaynağında önlenmektir. Eğer toz oluşumu kaynağında engellenemiyorsa, ortama yayılmadan uzaklaştırılması gerekmektedir. Madencilikte tozla mücadele edebilmek için aşağıdaki uygulamalar yaygın olarak kullanılmaktadır.

1. Sulu delik delme,
2. Aynaların sulanması,
3. Su barajlı ateşlemeler,
4. Tozun suyla bastırılması
5. Uygun havalandırma
6. Tuzlu su serpme yöntemi,
7. Kişisel koruyucu donanımlar

Su ile tozun bastırılması etkili ve güvenli olduğundan sulu yöntemler yoğun olarak tercih edilmektedir.

3. SONUÇLAR

Madencilik rezervleri açısından ülkemiz önemli bir konuma sahiptir. Dünyada yaygın olarak kullanılan 90 çeşit mineralin 77 tanesi ülkemiz maden envanterinde bulunmakta ve bunların 60 çeşidi aktif olarak üretilmektedir. Madencilik sektörü ülke ekonomisi bakımından oldukça önemli bir sektördür. Gerek ekonomiye katkısı gerekse de istihdam olanakları ile lokomotif bir sektördür. Artan talep ve teknolojik gelişmeler üretim miktarlarının da artırılması yolunu açmıştır. Üretim için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Delme patlatma yöntemi ile yapılan kazı ve üretim faaliyetleri bu yöntemlerden bir tanesidir ve bilinen en etkin ve ekonomik yöntem olma özelliği taşımaktadır. Patlatmalı kazı faaliyetleri ekonomik olma özelliğinin yanı sıra bazı dezavantajları da bünyesinde bulundurmaktadır. Bu dezavantajların kontrolü ve ekarte işlemleri de madencilik faaliyetleri içerisinde bir bütündür. Üretim ve tasarım amaçlı yapılan patlatmalar neticesinde çeşitli çevresel etkiler oluşmaktadır. Bu çevresel etkilerin bertaraf edilmesi için çeşitli yöntem ve teknikler uygulanmaktadır. Çevresel etkilerin bertaraf edilmesi büyük ölçüde doğru tasarım ve alanında uzman yetişmiş uzman kişilerin varlığı ile mümkündür. Faaliyetlerin sürekli izlenmesi, ölçümü, analiz

edilmesi, ulusal ve uluslararası standartlara uygunluğu sağlanmalı ve gerekli ise yeni tasarımlar yapılarak olası tehditler ortadan kaldırılmalıdır.

Patlamaların çevresel etkilerini en düşük düzeye çekebilmek için öncelikle alınması gereken tedbirlerin iyi bilinmesi ve buna göre bir patlatma tasarımının yapılması ve uygulanması gerekmektedir. İyi ve ekonomik bir patlatma ancak çevresel etkilerin minimuma çekildiği bir patlatma ile sağlanabilir.

KAYNAKLAR

Bhandari, S., 1997 Engineering Rock Blasting Operations. A.A. Balkema Publishers, Rotterdam.

Dhekne, P.Y., 2015. Environmental Impacts of Rock Blasting and Their Mitigation. International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences (IJCEBS) Volume 3, Issue 1 (2015) ISSN 2320–4087, 46-50.

Kahraman , E., Kılıç, A.M., 2016. Madenlerde Delme Patlatma İşlemlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Önlemleri. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016) Çukurova University, Congress Center, October 26-28, 2016, Adana / Turkey, 2968-2976.

Mishra, A. K., 2003. Air Blast and Fly Rock – Avoidable Hazards of Blasting, Mining Engineer's Journal, Volume:4, No:12, 11-18.

Tamrock, (1984), Handbook of Surface Drilling and Blasting, *Painofaktorit,* Finland

Hüdaverdi, T., Kuzu, C., 2005. Ankara Madencilik Faaliyetlerinde Patlatma Kaynaklı Çevresel Etkilerin Ölçülmesi ve Analizi, Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Ankara

Yücel, H. L., 2008, Konya Çimento Fabrikası Kireçtaşı Ocağındaki Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Değerlendirilmesi, *Y. Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* s.161

Bilgin, H.A., Çakmak, B.B. 2006. Konya Çimento Hammadde Ocağı Patlatma Çevresel Etki Etüdü Sonuç Raporu, *ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü*, Ankara. s.43

Siskind, D.E., Stagg, M.S., Koop J.W., Dowding, C.H., 1980, Structure Response And Damage Produced By Graund Vibration From Surface Mind Blasting, *RI 8507, Bureo Of Mines*, p.74

Kahriman, A., 1995, *Sivas* Ulaş Yöresi Sölestit Cevheri ve Yankayaçları için Optimum Patlatma Koşullarının Araştırılması ve Kayaç Özellikleri ile İlişkilendirilmesi, *Doktora Tezi*, *Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Sivas

Fişne, A., Ökten, G., 2002. Açık İşletme Taşima Yollarinda Nakliyat Kaynakli Toz Oluşumu ve Toz Bastirma Yöntemleri, Türkiye 13. Kömur Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak Türkiye

Kılıç, A. M., Kahraman, E., 2016. Patlatmadan Kaynaklı Çevresel Etkilerin İncelenmesi ve Uygulamaya İlişkin Bir Örnek, 8.Uluslararası Kırmataş Sempozyumu, Kütahya Türkiye

Kekeç, B., 2010. Patlatma Kaynaklı titreşimlerin bazı kaya madde ve kütle özelliklerine göre irdelenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi 213s.

Kuzu, C., http://web.itu.edu.tr/~kuzu/pro/part1.html

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ MADEN İŞLETMELERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ AMACI İLE KULLANIMI; MERMER OCAK İŞLETMESİ ÖRNEĞİ

USAGE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR DETERMINING THE ENVIRONMENTAL EFFECTS OF MINING FACILITIES; A CASE STUDY OF MARBLE QUARRY

Mete KUN*, Berk ÖZCAN

Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: mete.kun@deu.edu.tr

ÖZET: Gelişen bilgisayar teknolojisiyle birlikte, özellikle bilgisayar destekli maden tasarım teknikleri, yüksek verimle maden üretimini sağlamak adına, tasarım ve modelleme analizlerinin yapımında artarak kullanılmaktadır. Böylece bir madenin yapılması gereken tüm hesaplamaları ve bunlara bağlı olarak oluşan plan, kesit vb. çizimler daha hassas yapılabilmektedir. Ayrıca bu yazılımlar sayesinde, verilerde değişiklik olması durumda düzeltmeler ve/veya eklemeler çok kısa sürede yapılabilmektedir. Fizibilite, plan, proje ve hesaplarının yapılabilmesi için geliştirilen, aynı zamanda çok hassas çalışan üç boyutlu (3B) maden planlama ve yönetim programlarının en büyük zorluğu, sahaya ait verilerin yeterli miktarda ve hassasiyetle program içine aktarılamaması veya yeterli sayıda ve yoğunlukta verinin toplanması için gereken uzun süreler olarak belirlenmiştir.

Günümüzde karşılaşılan bu zorlukların daha kolay çözümlenmesi için, madenin ilk planlama aşamasından, rehabilitasyon aşamasına kadar geçen sürede, özellikle açık ocak verilerinin ortaya konulmasının yanı sıra, reklamasyon çalışmaları için gerekli olan pasaların miktar ve alanlarının belirlenmesinde, yazılımlara daha çok ve hatasız veri sağlayan insansız hava araçları (İHA) kullanılmaktadır. Bu bağlamda hazırlanan çalışmada İHA' ların madencilik alanında kullanımı ile ilgili bilgiler, örnek bir mermer ocağı üzerinden verilecektir.

Anahtar Kelimeler: İnsansız hava aracı, Çevresel etki belirleme, Mermer ocağı

ABSTRACT: *Along with the development of computer technology, computer-aided mine design techniques are increasingly being used in the design and modeling analyzes to ensure high efficiency mine production. Thus, all the calculations that need to be done for a mine, and the plans, sections and drawings that are created depending on them, can be made more precise. In addition, thanks to these softwares, corrections and / or attachments can be made in a very short time if there is a change in the data. The greatest difficulty of three-dimensional (3D) mine planning and management programs developed for the feasibility, plans, projects and related calculations is that the mine site data can not be transferred into the program with sufficient quantities and precision, or the long periods required for collection of sufficient number and density of data respectively.*

In order to solve these difficulties nowadays, unmanned aerial vehicles (UAV) are used to provide more accurate and error free data to the software, especially during the period from the initial planning stage to the rehabilitation phase for determining the amount and areas of the burdens required for mine reclamation. In this study, information on the usage of UAV in the field of mining will be given on a sample marble quarry.

Keywords: *Unmanned aerial vehicle, Determination of environmental effect, Marble quarry*

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi madencilik yatırımları, önceden planlanması gereken uzun vadeli, büyük sermaye gerektiren ve riskli yatırım kalemlerinden oluşur. Dolayısıyla ideal işletme ömrü ve üretim kapasiteleri tasarlanması, yapılacak fizibilite çalışmaları açısından oldukça önemlidir. Açık işletme planlamalarında, işletmenin derinleşmesiyle birlikte artan nakliye giderlerine ek olarak, kayacın jeomekanik parametreleri, şev duraylılığı ve iş güvenliği unsurları, üretim maliyetini etkileyen diğer önemli parametrelerdir. Bu nedenle bir maden sahasının da ki cevherleşmenin tam ve net olarak ortaya konulması, sahanın üretim şeklinden başlayarak, nihai ürün eldesine kadar giden tüm süreçleri etkilemektedir. İşletme öncesi fizibilite çalışmalarında tüm bu parametrelerin göz önüne alınması ve birim cevher maliyetinin birçok değişkene göre optimize edilmesi

gerekmektedir. Bu durum, sahalarda ancak analitik, ampirik ve nümerik modelleme çalışmalarının birlikte yapılması ile sağlanabilmektedir.

Günümüzde bilgisayar destekli maden tasarım teknikleri, maden mühendisi tarafından, cevher yataklarının optimum cevher üretimini sağlamak amacıyla, yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu sayede, normalde birçok hesaplama ve bunlara bağlı olarak oluşturulan harita, plan, kesit vb. gibi çizimler çok daha hassasiyetle yapılabilir hale gelmiştir. Ayrıca ilgili parametrelerin değişmesi durumunda, aynı işlemlerin çok daha kısa sürede tekrarının yapılmasını sağlamaktadır.

Açık işletme yoğunluklu çalışılan madencilik sektörümüzde, plan, fizibilite, proje ve hesapların yapılabilmesi için geliştirilen ve günümüzde neredeyse hatasız denebilecek hassasiyette çalışan 3B dizayn proglamların en büyük zorluğu saha bilgilerinin yeterli miktarda programa aktarılamaması ya da aktarımı için bazen hafta ya da aylar süren ölçüm ve düzenleme işlemlerinin yapılması gerekliliğidir. Bu durum işletmelerin hem planlama aşamalarını sekteye uğratmakta hem de ek maliyet ve süre bazında belirlenen plandan sapmalara yol açmaktadır. Ayrıca ölçümlerin bitiminde, programa veri aktarılması sırasında gözlenen bir hata, sahanın bazen tüm ölçümlerini yeniden yapılmasına kadar gitmekte ve bu durum hazırlanan iş planlarını aksatarak, optimizasyon ve iş organizasyonunu negatif yönde etkilemektedir.

Yukarıda kısaca önemine değinilen organizasyon kolaylıkları, verilerdeki güvenilirlik ve hızla tekrarlanabilirlik özelliklerinden dolayı, madencilikte ister açık ocak ister tesis planlaması ya da saha rezervlerinin hesaplanması gibi daha bir çok konuda hızlı ve kesin ölçüm sonuçları ve analizleri yapabilen, kullanılacak 3B programlara veri sağlanması konusunda dünyada ve ülkemizdeki birçok sektörlerde oldukça yaygın kullanılan havadan görüntüleme araçlarının, ilgili madencilik yazılımları ile düzenlenerek aktif olarak kullanılması sağlanabilmektedir. İnsansız hava araçlarının madencilikte aktif olarak kullanımı ile; sahalarının rezerv tespitleri, üretim planları, stok durum çizelgeleri vb.. çalışma parametreleri ile sahaların rehabilitasyonu için gerekli olan şev ve basamak parametreleri, yeniden doğaya kazandırılmaları işlemlerinin detayları ile tüm bu işlemlerin kontrolü için gerekli olan veriler alınıp, kolaylıkla işlenebilir hale gelmektedir.

2. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ KISA TARİHÇESİ VE SINIFLANDIRILMASI

İsim olarak insansız hava aracı (İHA), içinde insan bulunmadan uçabilen ve havada kontrol edilebilen tüm hava araçları kapsamaktadır. İHA terimine bilgisayar bilimlerinde ve yapay zekayla ilgilenen çevrelerce; uzaktan pilotlu araç (remotly piloted vehicle), uzaktan çalıştırılan hava aracı (remotely operated aircraft), uzaktan kumandalı helikopter (remote controlled helicopter), insansız hava aracı sistemi (unmanned vehicle system), model helikopter (model helicopter) gibi çeşitli isimler verilmiştir. İHA' lar ilk olarak askeri amaçlı olarak ortaya çıkmış olup, özellikle de II. dünya savaşından sonra bazı ülkelerin düşman veya yüksek riskli alanlara fark edilmeden girebilen ve dönebilen, insansız hava araçlarına ihtiyaç duyması İHA' ların gelişimini başlatan en temel unsurlardan biri olmuştur (Eck, 2001). Ancak İHA'ların sanal ölçüm almada kullanılması ilk olarak 1979 da bir İHA ile havadan fotoğraflama yöntemi kullanılarak ilk uygulama gerçekleşmiştir. Uygulamada 1:1000 ölçekli fotoğraflar alınmıştır. İHA'nın hızı uygun fotoğraf almak için gereğinden fazla hızlı olduğundan yeterli sonuç alınamamıştır. Uçuş sonrasında araç içine daha gelişmiş navigasyon sistemi eklenmiştir. Bu sayede 150 metre yükseklikte 40 km/saat hızıyla yapılan denemelerde başarılı fotoğraflar alınmıştır. Bu başarı İHA'ların kullanım alanını genişletmeye başlamıştır. İhtiyaçlar dahilinde araçların daha az titreşimli uçması, daha iyi manevra yapabilmesi ve özellikle hatasız ve hassas veri toplayabilmesi adına havada sabit durması gerektiğinden 80' li yılların başında Wester-Ebbinghaus ilk helikopter modellerini geliştirmiştir (Eisenbeiss,2004).

Uzaktan kumandalı ve model helikopterler, insansız hava araçları sistemleri uluslarası kurumu (UVS) tarafından boyutlarına, dayanıklılığına, gidebildiği mesafeye ve uçuş yüksekliğine göre mini, kısa, orta mesafe İHA'lar olarak sınıflandırılmıştır. Pegasus gibi İHA'lar uzun dayanımlı İHA olarak tanımlanmıştır (Everaerts vd, 2004). UVS tarafından yapılan ve uzun dayanımlı İHA'ları tek kategoride alan sınıflandırma Çizelge.1'de verilmiştir.

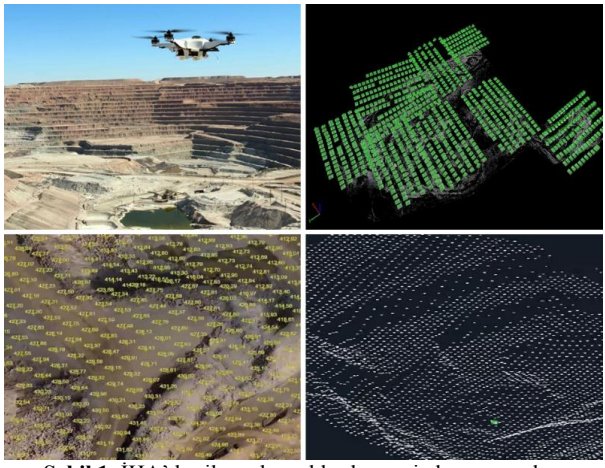
Çizelge 1. İnsansız hava araçlarının sınıflandırması

Kategori	Ağırlık (kg)	Menzil (km)	Uçuş Yüksekliği (m)	Dayanım (saat)
Mikro	<5	<10	250	1
Mini	<25 /30 /150	<10	150 /250 /300	<2
Kısa mesafeli	25-150	10-30	3000	2-4
Orta mesafeli	50-250	30-70	3000	3-6
Rakım	>250	>70	>3000	>6

İHA'lar ile yapılan sanal ölçümler günümüzde giderek yaygınlaşarak madencilik alanına da girmiş bulunmaktadır. Özellikle en sık kullanım alanları, ocak planlamaları ile stok sahalarının alan ve hacim hesaplamaları olsa da, patlatma operasyonlarında, haritalama ve çevresel etkilerin gözlenmesinde, şev stabilitesi ve iş güvenliği alanında ve 3B madencilik programlarına veri sağlamak için özellikle son 10 yıllık süreçte sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır.

3. İHA' LARIN MADENCİLİKTE KULLANIMI VE VERİ AKTARIMI

İHA ile yapılan ölçümler bir kaç temel adımdan oluşmaktadır. Ölçümler doğrudan vektörel veri sağlamayabilir. Bunun yerine bütünsel ve birbirini tamamlayan temel adımlarla sonuçlar ortaya koymaktadır. (Tom Op 't Eyndt ve Walter Volkmann, 2013) İlk adım olarak İHA ile proje alanının taranması ve iki temel veri grubunun alınması yer alır. Bu veri grupları ortofotolar ve dijital yükseklik modelleridir. İHA'ları için geliştirilen yazılımı ile bu adım program kontrolünde gerçekleşmektedir. Bu yazılımlar sanal ölçüm için veri toplama adımını özelleşmiş kullanıcı ara yüzü ile hızlı ve kolay hale getirmektedir. İHA, yazılım kontrolünde rotasını, açısını ve tur sayısını ayarlar. Bundan sonraki kısımda alınan verilerin birleştirilmesi ve madencilik yazılımlarına uygun hale getirilmesi bulunmaktadır.



Şekil 1. İHA' lar ile açık ocaklardan veri alma aşamaları

Bu adımda İHA'lara özel temin edilen yazım ile arazinin büyüklüğüne ve ölçümün kalitesine bağlı olarak miktarı ayarlanan veriler birleştirilir ve

jeoreferanslaması yapılır. Bu aşama sonunda arazinin bütünlüklü bir modeli elde edilir. Kullanım yazılıma bağlı olarak katı yüzey modeli veya nokta bulutu oluşturulur. Hizalanmış nokta bulutları sonunda bir SAM (Sayısal Arazi Modeli) ve orto-görüntü üretmek mümkündür (Kim and Lee, 2017). Oluşturulan bu nokta bulutları, koordinatlı olarak istenilen 3B programda işlenerek planlama, alan ya da hacim hesaplama ya da rehabilitasyon çalışmaları için kullanılabilir.

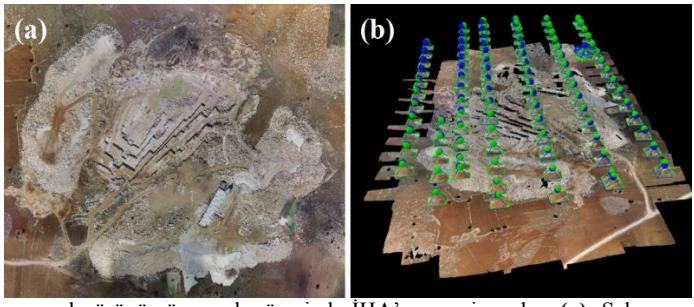
3.1 İHA ile Çevresel Etkilerin Belirlenmesi; Örnek Uygulama

Bir madencilik girişiminin verimli bir şekilde değerlendirmek için doğru topografik bilgi edinmek esastır. Bununla birlikte, yer istasyonları ve küresel konumlandırma sistemleri gibi karasal araştırma yöntemlerini kullanarak, büyük boyutlu sahaların ölçülmesi, zaman ve işgücü harcamaları açısından büyük çaba gerektirmektedir. Dahası, uzak ve ulaşılması zor, sarp arazilerde ölçüm yapmak son derece tehlikeli ve bazen imkânsız hale gelebilmektedir. Bu ve benzeri sebeplerden dolayı İHA' lar, rehabilitasyon projelerinin yönetimi için, özellikle terk edilmiş maden sahaları ve erişimin güvenlik sorunları nedeniyle sınırlandığı bölgelerde önerilmektedir (Cara & Matzuzzi, 2013).

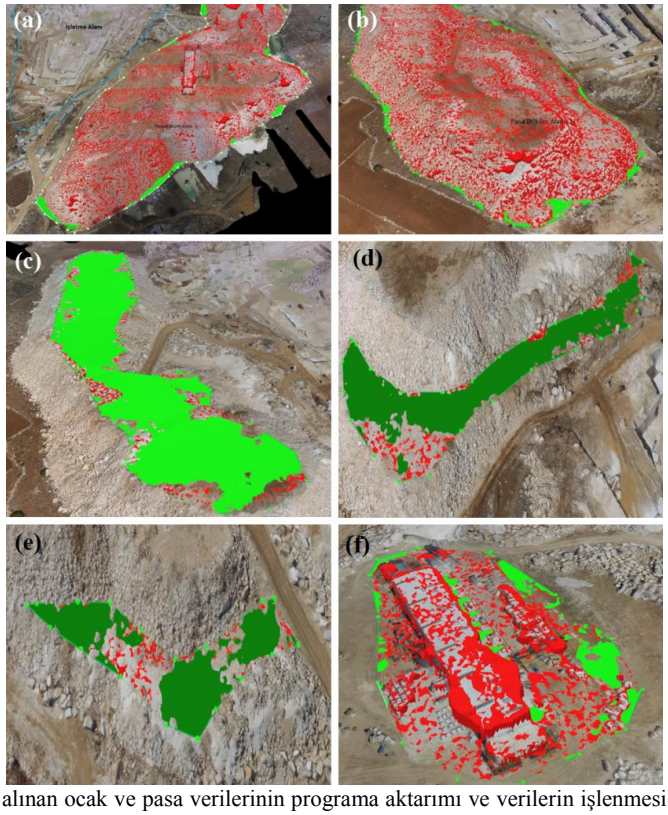
Gerek madencilik alanında İHA' ların kullanıma örnek olması gerekse bir açık ocak üzerinde üretim parametreleri, pasa miktarı vb. bilgilerin eldesi ile ocak rehabilitasyon projesi için verilerin toplanması için örnek bir mermer ocağı ele alınmıştır. Ocaktan sağlanan İHA verileri, uygun madencilik yazılımları ile işlenerek üretim sonrası oluşan pasa miktarları, geometrileri ve olası rehabilitasyon işlemleri için gerekli olan pasa üst yüzey ve şev alanları hesaplanmıştır.

Şekil 3'de, sahadaki işletme alanı dışında kalan pasa döküm sahaları üzerinde alan ve hacim belirlenmesi işleminin aşamaları gösterilmektedir. pix4D programı kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Analizler için kullanılan pix4D yazılımı, özellikle insansız hava araçları tarafından çekilen hava fotoğrafları, eğik fotoğraflar ile yerden çekilen fotoğrafların işlenmesinde günümüzde en yetkin olarak kullanılan yazılımlardan biridir. Ayrıca bu yazılım; her türlü kamera ve lenslere (compact, SLR, multispektral, GoPro kameralar, balıkgözü lensler), çoklu kamera desteği ile yer kontrol noktası veya herhangi bir koordinat referans sistemi desteği sunmaktadır. Yazılıma uygun veriler sağlandığında, .dxf, .shp veya .kml formatında vektör veriler, GeoTIFF formatında

gerçek koordinatlara sahip sayısal yüzey modeli, .kml ve .html formatında Google alanları ile, .obj formatında üçgen model çıktılarına ulaşılmaktadır. Çizelge 2' de, ele alınan mermer ocağının pasalarına ait yüzey alanları ve toplam pasa hacimlerinin hesaplanan değerleri verilmektedir.



Şekil 2. Sahanın genel görünümü ve saha üzerinde İHA'nın pozisyonları **(a)**: Sahanın genel planı, **(b)**: Saha üzerinde İHA tarafından görsel alımı yapılan noktaların konumu



Şekil 3. İHA ile alınan ocak ve pasa verilerinin programa aktarımı ve verilerin işlenmesi: **(a)**: Solda ocak işletme alanı ve sağda pasa döküm alanı, **(b):** Diğer pasa döküm alanı, **(c)**: Pasa üst yüzey alanı, **(d)-(e)**: Pasa yan yüzey alanları, **(f)**: Fabrika ve stok alanı

Çizelge 2. Hesaplanan toplam pasa sahalarına ait alan ve hacimler

Alan Adı	Yüzey Alanı (m^2)	Toplam Hacim (m^3)
Pasa Sahaları	172.419,50	1.542.393,02
Pasa Sahaları Üst Basamak	88.522,79	
Pasa Sahaları Şevler	83.896,71	

4. SONUÇLAR

İnsansız hava araçlarının (İHA) madencilik uygulamalarına dahil edilmesi ve kullanım potansiyelinin ortaya çıkarılması amacı ile hazırlanan çalışmada, açık işletme yoğunluklu olarak çalışan ülkemiz madencilik sektöründe, sahaların plan, fizibilite, şev stabilitesi, patlatma verimi, alan kontrolü ve rehabilitasyon gibi çalışmaları için gerekli olan verilerin İHA' lar ile kolaylıkla ve güvenilir olarak toplanabilirliği üzerinde durulmuştur. Özellikle dünya ve ülkenizde, geniş ölçekli açık maden ocaklarının değerlendirilmesi, yasal olarak istenen imalat haritalarının çıkarılması, üretim kontrolü ve rehabilitasyon çalışmaları gibi bir madenin ömrü boyunca yapılması gerekli olan ölçüm ve denetlemeler etkili ve kolaylıkla tekrarlanabilecek şekilde İHA' lar yardımı ile yapılabilmektedir.

Topoğrafik verilerin hassas bir biçimde elde edilmesi daha önce topograflar aracılığıyla haftalarca veya aylarca sürebilmektedir. Ancak bu veriler lazerli tarama sistemleri, uydu sistemleri ve havadan görüntüleme sistemleri ile önceki yöntemlere kıyasla çok daha kısa sürede sağlanmaktadır. Buna ilaveten havadan görüntüleme sistemleri, diğer iki sisteme kıyasla daha az maliyetli ve hızlı veri üretmesi nedeni ile öne çıkmaktadır.

Bu bağlamda örnek bir mermer ocağı ele alınarak yapılan çalışmada, 0,7131 km^2 lik bir alan, yaklaşık 20 dak.' lık bir uçuş süresi planlanarak fotoğraflanmış ve sahaya ait 100 görsel alınarak toplamda yaklaşık 11 milyon 380 bin adet koordinatlı nokta üzerinde çalışılmıştır. Alınan verilerin işlenmesi sonucu hata payı ortalamasının yaklaşık 1 metre olduğu gözlenmiştir. Bu hata payının nedeni araştırıldığında, sahada doğrudan jeoreferanslama yapıldığı ve yerüstü kontrol noktası kullanılmaması sonucu oluştuğu sonucuna varılmıştır. Bu hata payının yerüstü kontrol noktası kullanımı ile cm. mertebesine indirilmesi mümkündür.

Buna göre yapılan ölçümler sonucunda, mermer işletmesine ait pasa sahalarının basamak üstü ve şev yüzey alanları hesaplanarak, toplam pasa hacmi de ortaya konmuştur. Buna göre maden kapatma aşamasında rehabilitasyon işlemi için gerekli

olan temel veriler (işletme alanına ait yüzey ve hacim verileri) yazılım aracılığı ile tespit edilmiştir. Toplamda çizelge 2' de verilen yaklaşık 1,5 milyon m^3 pasa ve pasa sahalarına ait toplam yaklaşık 172,5 bin m^2 lik yüzey alanı (basamak üstü ve şev) tespit edilmiştir. Tespit edilen bu yüzey alanları ve hacimler, madenin ömrüne paralel olarak yapılacak rehabilitasyon çalışmaları ve maliyet hesaplarında etkin olarak kullanılabilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, Adalya Mermer AŞ. Fabrika Müdürü Sayın Ulaş Turan ve Arge Müdürü Sayın Yakup İlhan' a desteklerinden ötürü teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Cara, S., & Matzuzzi, C., 2013. Assessment of landscape by photogrammetry proximity uav survey technique: A case study of an abandoned mine site in the Furtei Area, 23rd International Mining Congress & Exhibition, Antalya, pp.83-93.

Eck, Ch., 2001. Navigation Algorithms with applications to unmanned helicopter. P.hd. Thesis. Dissertation at the Swiss federal institute of technology Zurich., Sweden.

Eisenbeiss, H., 2004. A Mını Unmanned Aerıal Vehıcle (UAV): System Overvıew. Processıng And Vısualızatıon Usıng Hıgh-Resolutıon Imagery. Pitsanulok: Institute for Geodesy and Photogrammetry.

Everaerts, J., Lewyckyi, N., Fransaer, D., 2004. Design of astratospheric long endurance UAV system for remote sensing. IAPRS, Belgium, pp. 93-98.

Kim, J. O., & Lee, J. K., 2017. UAV Application for Process Control of the Reclamation Project. Journal of Coastal Research, 79: 309-313.

Tom Op 't Eyndt, Walter Volkmann., 2013. UAS as a Tool for Surveyors., GIM International, www.gim-international.com

ŞEV GÜVENİLİRLİĞİNİN FARKLI YÖNTEMLER İLE BELİRLENMESİNE YÖNELİK VAKA ANALİZİ

A CASE STUDY FOR DETERMINING SAFETY FACTORS IN SLOPES WITH DIFFERENT METHODS

Hakan GÜNEYLİ[1*], Baki BAĞRIAÇIK [2], Süleyman KARAHAN[1]

1: Çukurova Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana, TÜRKİYE

2: Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: bbagriacik@cu.edu.tr

ÖZET: Bu çalışmada, Adana ilinin kuzey doğusundaki Akkuyu Mahallesinde (Sarıçam İlçesi) yer alan kuzeye eğimli şevlerin stabiliteleri, Limit Denge ve Sonlu Elemanlar yöntemleri ile analiz edilerek karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler, söz konusu yüksek eğimli bölgelerde seçilen kritik güzergahlardaki kesitlerde gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, hem Limit Denge hem de Sonlu Elemanlar yöntemiyle ortaya çıkan güvenlik katsayıları, söz konusu şevlerin stabil olduğunu ve herhangi bir çevresel risk oluşturmadığını göstermektedir. Bunun yanında, Sonlu Elemanlar yöntemiyle bulunan güvenlik katsayılarının, Limit Denge analizleriyle bulunan güvenlik katsayılarından yaklaşık %2-%7 oranlarında farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sonlu elemanlar - Limit denge analizi, Şevler, Güvenlik katsayısı

ABSTRACT: *In this study, the stability of slopes, sloping northward in the Akkuyu Mahallesi (Sarıçam District) in the north east of Adana have analyzed and compared with the methods of Limit Equilibrium and Finite Elements. Analysis have performed in cross-sections on selected critical routes in high slope areas. Finally, both the Limit Equilibrium and the Finite Elements method have showed that the safety factors are stagnant and there is no environmental risk factor. In addition to this, the safety factors found by the Finite Elements method have been determined to be difference at 2%-7% than found by Limit Equilibrium analysis.*

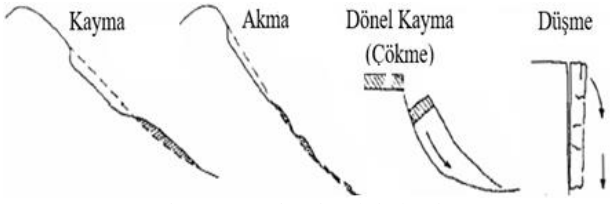
Keywords: *Finite element - Limit equilibrium analyses, Slopes, Safety factors*

1. GİRİŞ

Geçmiş yıllarda insanların yaşam alanlarını, birçok değişkenleri dikkate alarak seçmiş olduğu bilinmektedir. Bu seçimleri ise, daha kolay yaşam standartlarını yakalayabilmek için genellikle akarsu yataklarının bulunduğu platolar ve düz ovaları seçmekten yana kullanmalarının yanı sıra, nadiren de yüksek eğimli yamaçları tercih ettikleri görülmektedir. Fakat son yıllarda, hızla artan dünya nüfusunun ve buna bağlı olarak azalan araziler nedeniyle, insanların yaşam alanı seçimlerinde çok fazla seçeneklerinin kalmadığı ve yüksek eğimli yamaçlarda (şevlerde) yaşam alanlarının oluşturulması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Yerleşim birimlerinin oluştuğu bu tür alanlarda, aşağıda belirtilen sebepler yüzünden bazı şev hareketleri meydana gelebilmektedir (Tunç, 2010)

- Bazı kazılar ya da ilave dolgular yüzünden şev eğiminin değişmesi,
- Yapılan dolgular, ulaşım yapıları, konut yapıları vb. durumlar yüzünden şev tepesindeki ağırlığın artması,
- Yağışlar, yeraltı suyu yükselmesi, sızmalar nedeniyle zeminin su içeriğinin artması,
- Zeminin mineralojik yapısının değişimi,
- Zemin içerisindeki çatlakların büyümesi,
- Tektonik hareketlerin oluşması,
- Vibrasyon, patlatma ve deprem vb. dinamik etkilerin oluşumu.

Şevlerde meydana gelen bu hareketler, yukarıda bahsedilen çeşitli sebeplerden dolayı farklılıklar gösterebilmektedir. Blong'a (1973) göre bu hareketler düşmeler, kaymalar, akmalar ve dönel kaymalar olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır (Şekil 1). Şevlerde, mühendislik uygulamaları gerçekleştirilirken, şevin düşmeler, kaymalar, akmalar ve dönel kaymalara göre yeterli güvenilirlikte olması gerekmektedir. Bir şevin güvenilir olduğunun belirlenebilmesi için ise, literatürde ve uygulamalarda çoğunlukla esas olarak Limit Denge ve Sonlu Elemanlar analizleri kullanılmaktadır.



Şekil 1. Blong'a göre hareket tipleri (Blong, 1973)

Analizlerde, şevin güvenilirliği Güvenlik Katsayısı (GK) kavramı ile belirlenir ve bu katsayı kritik kayma dairesine ait şevdeki, yerinde tutucu kuvvetlerin şevi kaydırmaya çalışan kuvvetlere bölünmesi ile saptanır. Güvenlik Katsayısının 1 veya 1 den büyük olduğu durumlarda (GK≥1), şevin dengede (stabil) olduğu kabul edilir.

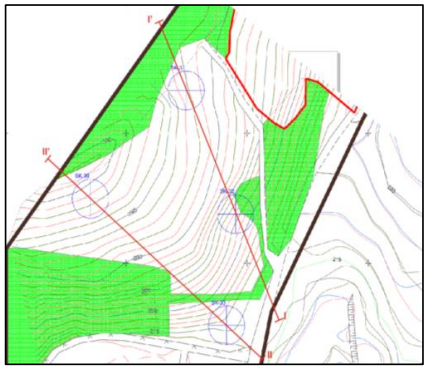
2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Adana İli Sarıçam İlçesi Akkuyu Mahallesinde (Şekil 2) bulunan şevlerin mühendislik uygulamalarındaki güvenilirliklerini belirleyebilmek amacıyla Limit Denge ve Sonlu Elemanlar Yöntemleri ile analizleri yapılarak karşılaştırılmıştır.

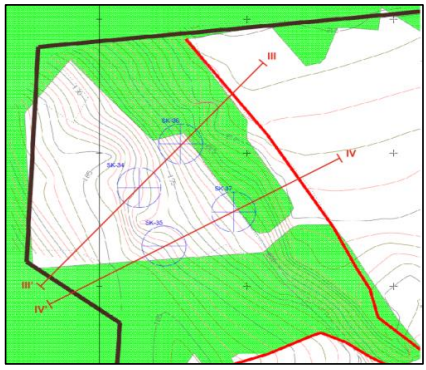
Şekil 2. Uygulama Alanının Uydu Görüntüsü

Limit Denge ve Sonlu Elemanlar analizleri; çalışma sahasındaki iki bölgede gerçekleştirilmiştir. Ruhsat sahasında kütle hareketleri açısından riskli (en dik şev eğimlerinin olduğu) alanlarda oluşturulan kesit güzergahları en kuzey doğusunda ve orta bölümde olacak şekilde kesimler seçilmiştir. Sondaj noktalarını da içine alan güzergahlar üzerinde sondaj kuyuları üzerinde; en kuzey doğudaki kesimde, I-I' ve II-II' güzergâhları (Şekil 3) ve orta kesimde, III-III' ve IV-IV' güzergâhları (Şekil 4) boyunca şev stabilitesi analizleri yapmak üzere kesitler alınmıştır.

Şev stabilite analizleri için programda gereken parametreler (şevlerin geometrisi, şevleri oluşturan birimlerin birim hacim ağırlığı, içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri) araziden elde edilen numuneler üzerinde yapılan mühendislik ve endeks özelliklerini bulmaya yönelik deneylerden elde edilmiştir. Söz konusu deneyler, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yetkilendirilen Konya Zemin Laboratuvarı tarafından gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. I-I', II-II' Güzergâhlarındaki şevler



Şekil 4. III-III' ve IV-IV' Güzergâhlarındaki şevler

Araziden elde edilen numuneler üzerinde yapılan zemin mekaniği deneyleri ve sondaj kuyularında yerinde yapılan Presiyometre ve Standart Penetrasyon deneylerinden elde edilen veriler yardımıyla, zemini oluşturan malzemelerin endeks ve mühendislik özellikleri saptanmıştır. Deney sonuçlarından, sahada yer yer konglomera (çakıltaşı), kaliçi, Handere formasyonuna (Miyosen) ait kiltaşı ve az derecede ayrışmış kiltaşı birimlerinin olduğu görülmüştür. Sondaj loglarından alınan numuneler üzerinde endeks ve mühendislik deneyleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar ise Çizelge 1'de verilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Limit Denge Analizleri ile Şevlerin Güvenilirliklerinin Belirlenmesi

Limit denge analiz yöntemi (Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi), dairesel olarak kayan bir kütlenin dilimlere bölünerek analiz edilmesine olanak sağlar (Fellenius, 1936; Bishop, 1955). Bu yöntemde potansiyel yenilme yüzeyi, merkezi "O", yarıçapı "r" olan bir daire

parçası olarak kabul edilir. Daire merkezine göre moment denge koşullarında güvenlik katsayısının hesaplanma prensibini göz önüne alır. İki boyutta limit denge analizlerinin esas alındığı bu yöntem zaman içerisinde bilgisayar yazımlarının yaygınlaşmasıyla mühendislik uygulamalarında çok daha etkin şekilde kullanım alanı bulmuştur (Spencer, 1967; Morgenstern ve Price 1965). Çalışmada, belirlenen kesit hatlarında, sahanın topoğrafik ve jeolojik özellikleri dikkate alınarak I-I', II-II', III-III', IV-IV' güzergahlarında Slide v.5028 yazılımı kullanılarak şev stabilitesi analizleri gerçekleştirilmiş ve güvenlik katsayıları (GK) belirlenmiştir. Şev stabilite analizlerinde en olumsuz koşulların değerlendirilebilmesi amacıyla, analiz metotlarından en düşük güvenlik katsayıları esas alınmıştır.

Çizelge 1. Zemin malzeme parametreleri

MA	MM	γ_k	γ_n	c	ϕ	ψ
Konglomera	MC	17.5 0 (+/-%1)	21.07 (+/-%1)	54.9 (+/-%0.5)	31.5 (+/-%0.5)	1.50 (+/-%0.5)
Kaliçi	MC	17.20 (+/-%1)	21.07 (+/-%1)	54.0 (+/-%0.5)	31.4 (+/-%0.5)	1.40 (+/-%0.5)
Kiltaşı (taze)	MC	18.60 (+/-%1)	21.27 (+/-%1)	55.4 (+/-%0.5)	31.5 (+/-%0.5)	1.50 (+/-%0.5)
Kiltaşı (az derecede ayrışmış)	MC	15.10 (+/-%1)	18.90 (+/-%1)	58.5 (+/-%0.5)	32.0 (+/-%0.5)	2.00 (+/-%0.5)

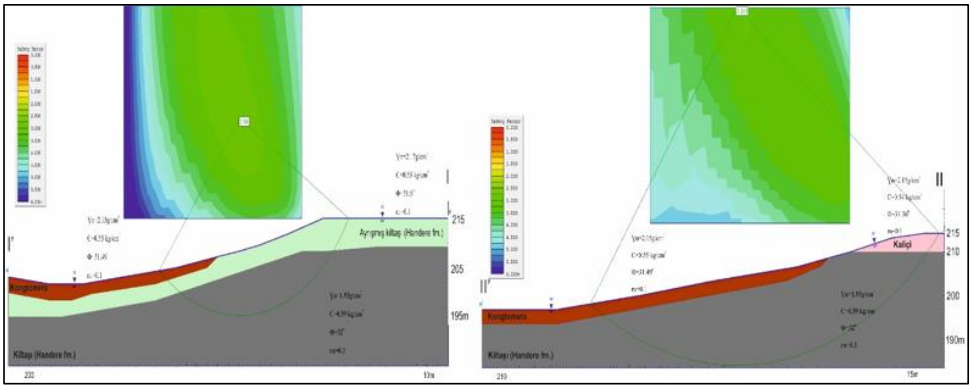
(MA: Malzeme Adı, MM:Malzeme Modeli, MC:Mohr Coulomb, γ_k: Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3), γ_n:Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3), c:Kohezyon (kPa), ϕ:Sürtünme Açısı (^{0}), ψ:Dilastayon Açısı (^{0}))

Şekil 5-6'da 4 adet güzergah içinden en kritik kayma dairesi ve buna bağlı olarak bu kayma dairelerindeki güvenlik katsayıları (GK) görülmektedir. Ayrıca, Çizelge 2'de de güzergahlara ait güvenlik katsayıları verilmiştir. Sonuçlara göre, I-I', II-II', III-III', IV-IV' güzergahlarındaki şevlerin güvenlik katsayıları sırasıyla; 3.134, 3.243, 2.143 ve 2.887 olarak belirlenmiştir. Sonuçta, tüm güzergahlarda güvenlik katsayısı değeri 1'den büyük olduğu için ilgili güzergahlarda şevde herhangi bir hareket olmayacağı görülmüştür.

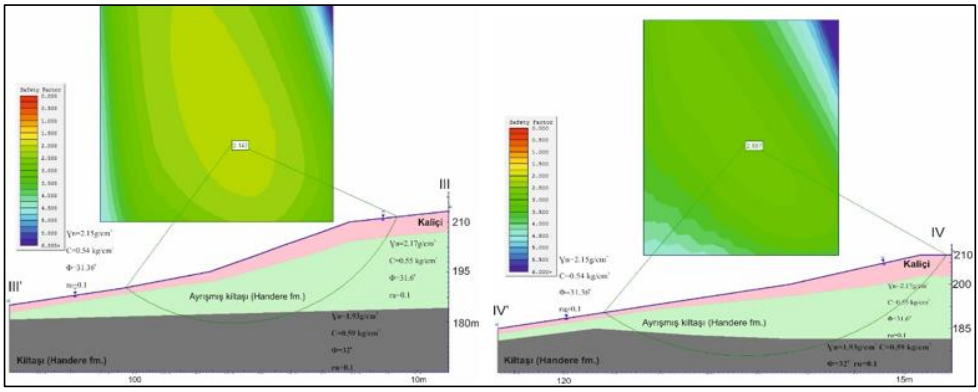
3.2 Sonlu Elemanlar Analizi ile Şevlerin Güvenilirliklerinin Belirlenmesi

Sayısal analizler, karmaşık mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılan etkin matematiksel yöntemlerdir. Sayısal analiz yöntemleri arasında en yaygın olarak kullanılan sonlu elemanlar analizi, sürekli bir ortamın sonlu eleman olarak adlandırılan çeşitli geometrik alt bölgelere ayrılarak mühendislik problemlerinin çözülebildiği, matematiksel yöntemlerden biridir. Sonlu elemanlar analizi, şevlerin gerilme analizinde, barajlarda, tünellerde, kazıklı temeller gibi birçok mühendislik uygulamalarında hem

araştırma amaçlı, hem de problemlerin tasarımında yaygın olarak kullanılan bir sayısal analiz tekniğidir (Köksal, 1995).



Şekil 5. I-I' ve II-II' Güzergahları için limit denge analizi



Şekil 6. III-III' ve IV-IV' Güzergahları için limit denge analizi

Çizelge 2. Limit denge analizine göre güvenlik katsayıları (GK)

Kesit güzergâhı	GK
I-I'	3.134
II-II'	3.243
III-III'	2.143
IV-IV'	2.887

Sonlu elemanlar analizi, gerilme, yer değiştirme ve/veya basınç gibi herhangi sürekli bir büyüklüğün, küçük ve sürekli parçaların birleşmesinden oluşan bir sonlu elemanlar modeline dönüştürülmesi esasına dayanmaktadır. Mühendislik uygulamalarında yer alan bu tür çözümlerdeki sonlu eleman analizinin (Brinkgreve, 2002) aşamaları aşağıdaki şekilde özetlenmektedir (Desai, 1979; Gök, 2007; Şen, 2006)

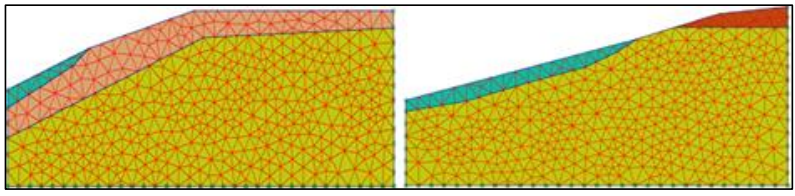
- Çözüm için en uygun geometri, eleman şekilleri ve sayısı belirlenir.

- Belirlenen geometri için sınır şartları saptanır.
- Belirlenen geometriye ilişkin zemin malzeme tanımlamaları yapılır.
- Çalışmada, literatürde yaygın olarak kullanılan elasto-tam plastik zemin davranışını modelleyebilen Mohr Coulomb (MC) zemin modeli kullanılmıştır.

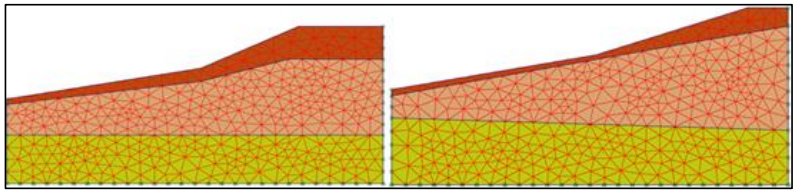
MC modeli, Elastisite Modülü (E), Poisson Oranı (υ), kohezyon (c), içsel sürtünme açısı (ϕ) ve dilatasyon açısı (ψ) olmak üzere beş ayrı parametreyi içermektedir. Kullanılan zeminler için ilgili MC parametreleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

- Belirlenen ortam sonlu elemanlara ayrılır. Sonlu elemanlar, global ağ sıkılığına göre çok kaba, kaba, orta, sıkı ve çok sıkı olarak ifade edilen farklı değerler alabilmektedir. Bu çalışmada, çok sıkı global ağ sıkılığı kullanılmıştır.
- İki boyutlu sonlu elemanlar ağı 6 düğümlü ve 6 düğümlü üçgen elemanlardan oluşmaktadır. Bu çalışmada 15 düğümlü üçgen elemanlar kullanılmıştır.
- Son olarak ise, PLAXIS 2D programı yardımıyla 4 farklı güzergahtaki şevlerde Güvenlik Katsayılarını belirleyebilmek için stabilite analizleri yapılmıştır.

Şekil 7 ve 8'de her 4 farklı güzergahtaki şev için yapılan sonlu elemanlar modeli ve Çizelge 3'te ise bu güzergahlara ait güvenlik katsayıları görülmektedir.



Şekil 7. I-I' ve II-II' güzergahları için sonlu elemanlar analizi



Şekil 8. III-III' ve IV-IV' güzergahları için sonlu elemanlar analizi

Çizelge 3. Sonlu elemanlar analizine göre güvenlik katsayıları (GK)

Kesit Güzergâhı	GK
I-I'	2.918
II-II'	3.150
III-III'	2.104
IV-IV'	2.832

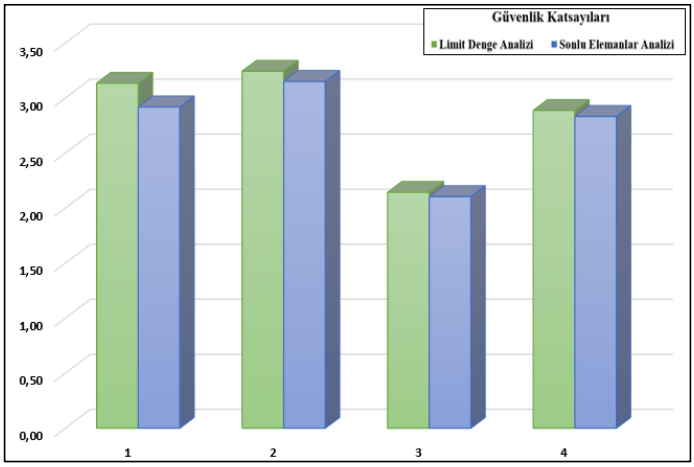
Sonuçlara göre, I-I', II-II', III-III', IV-IV' güzergahlarındaki şevlerin güvenlik katsayıları sırasıyla; 2.918, 3.150, 2.104 ve 2.832 olarak belirlenmiştir. Bu durumda, tüm güzergahlarda güvenlik katsayısı değeri 1'den büyük olduğu için ilgili güzergahlarda şevde herhangi bir hareket olmayacağı görülmüştür.

3.3 Genel Değerlendirme

Araştırma alanındaki kütle hareketleri açısından risk içeren 4 farklı güzergah Limit Denge ve Sonlu Elemanlar analizleri ile tüm model geometrileri ve zemin parametreleri aynı şartlarda olmak üzere analiz edilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Analizlere ait sonuçlar, Şekil 9 ve Çizelge 4'te sunulmuştur.

Çizelge 4. Limit denge ve sonlu elemanlar ile güvenlik katsayıları (GK)

Kesit Güzergâhı	GK	
	Sonlu Elemanlar Analizi	Limit Denge Analizi
I-I'	2.918	3.134
II-II'	3.150	3.243
III-III'	2.104	2.143
IV-IV'	2.832	2.887



Şekil 9. Analizlerinin karşılaştırılması

3. SONUÇLAR

Adana İli Sarıçam İlçesi Akkuyu Mahallesinde bulunan, en kritik 4 güzergahtaki şevlerin mühendislik uygulamalarındaki güvenilirlikleri Limit Denge ve Sonlu Elemanlar analizleri ile belirlenmiş ve herhangi bir kazı-hafriyat olmaksızın halihazırda bulunan şevlerin analiz sonuçlarına göre duraylı olduğu belirlenmiştir.

Gerek Limit Denge Analizlerinin gerekse de Sonlu Elemanlar Analizlerinin, şevlerin güvenlik katsayılarını belirlemede kullanılabileceği ve her iki analiz türünde de sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Sonlu elemanlar analizleri ile belirlenen güvenlik katsayılarının, limit denge analizleri ile belirlenen güvenlik katsayılarına göre yaklaşık olarak %2 ile %7 oranlarında farklılık gösterdiği saptanmıştır.

Bu tür eğimli (şevli) alanlar, topoğrafik ve jeolojik açıdan heyelana ve kütle hareketlerine müsait olduğundan her tür kontrolsüz kazı ve dolgudan kaçınılması gerektiği ve eğer bu faaliyetlerin yapılması zorunluluğu var ise de gerekli araştırma ve önlemler alınarak yapılması, yapılan analiz sonuçlarına göre tavsiye edilmektedir.

5. KAYNAKLAR

Bishop A., 1955. The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes Geotechniques, no. 5, pp. 7-17.

Blong R., 1973. A Numerical Classification of Selected Landslides of the Debris Slide-Avalanche-Flow Type, Engineering Geology, cilt 7, no. 99-114.

Brinkgreve R., 2002. Plaxis 2D Finite Element Code for Soil and Rock Analysis Version 8.2., Plaxis 2D.

Desai C., 1979. Elementary Finite Element Method, N.J. USA: Prentice Hall.

Fellenius, W. 1936. Calculation of the stability of earth dams. In: Trans. Second Congress on Large Dams, vol. 4, 445-459. International Commission on Large Dams, Washington, DC, USA.

Gök S., 2007. Kazıklı Radye Temellerin Analizi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 101s, İstanbul.

Köksal T., 1995. Sonlu Elemanlar Metodu, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını.

Morgenstern N.ve Price., 1965. The Analysis of The Stability of General Slip Surfaces, Geotechnique Nonlinear Failure Criteion International Journal, cilt 15, no. 79-93.

Spencer E., 1967. Method of Analysis of the Stability fo Embankments.

Şen S., 2006. Kohezyonsuz Zeminde ve Kayaya Soketli Perde Kazıkların Taşıma Gücü Üzerine Bir İnceleme,» Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 208s., İstanbul.

Tunç A., 2010. Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları, Ankara, MA: Nobel Yayıncılık.

REHABILITATION OF METAL CONTAMINATED LANDS WITH HYPERACCUMULATOR PLANTS

METALLERLE KİRLENMİŞ SAHALARIN HİPERAKÜMÜLATÖR BİTKİLER İLE REHABİLİTASYONU

Suna Özden ÇELİK*, Esra TINMAZ KÖSE

Namik Kemal University, Department of Environmental Engineering, Çorlu-Tekirdag, TURKEY

*: Corresponding author: sunacelik@nku.edu.tr

ABSTRACT: Mining operations must be carried out in a manner that minimizes their impact on the environment, in order to be more environmentally sustainable. Mining companies must be encouraged to use environmentally friendly technologies and to take precautions for environmental protection in time. Rehabilitation is necessary if contamination occurs despite measures taken. Phytoremediation is an emerging technology which uses hyperaccumulator plants for the cleanup of contaminated lands. Hyperaccumulator plants take up large amounts of metals without showing any signs of phytotoxcity. Approximately 500 plants from 11 families are reported as hyperaccumulator. These families are Asteraceae, Brassicaceae, Caryophyllaceae, Cyperaceae, Cunouniaceae, Fabaceae, Flacourtiaceae, Lamiaceae, Poaceae, Violaceae, and Euphobiaceae. Some hyperaccumulator plants take up one particular metal, while some others can extract more than one metal. Brassicaceae family is the major group, which contains 11 taxon and 87 hyperaccumulator species. Turkey flora includes 38 hyperaccumulator plant species from different families. Poaceae family is the major hyperaccumulator plant family found in Turkey flora with 13 species. Phytoremediation has lots of advantage like contaminated lands may be treated in situ; however there are some limitations in applying phytoremediation such as requires relatively long duration time, the possibility of the transmission of contaminants to other sites through food chain.

Keywords: Hyperaccumulator plants, Mining, Contaminated land, Rehabilitation

ÖZET: *Madencilik uygulamaları, çevresel açıdan sürdürülebilirliği sağlayabilmek amacıyla çevreye olan etkileri minimumda tutacak şekilde yapılmalıdır. Madencilik şirketleri, çevre dostu teknolojilerin kullanılması ve zamanında çevresel koruma amacıyla önlemlerin alınması için teşvik edilmelidir. Önlemler alınmasına ragmen kirlenme söz konusu olur ise rehabilitasyon uygulanması gereklidir. Fitoremediasyon, kirlenmiş alanların temizlenmesi için hiperakümülatör bitkilerin kullanıldığı nispeten yeni bir teknolojidir. Hiperakümülatör bitkiler hiçbir toksisite belirtisi göstermeksizin yüksek miktarlarda metalleri bünyesine alabilmektedir. 11 familyadan yaklaşık 500 bitki türünün hiperakümülatör özelliği taşıdığı belirlenmiştir. Bu familyalar, Asteraceae, Brassicaceae, Caryophyllaceae, Cyperaceae, Cunouniaceae, Fabaceae, Flacourtiaceae, Lamiaceae, Poaceae, Violaceae ve Euphobiaceae. Olarak sıralanabilir. Hiperakümülatör bitkilerden bazıları sadece bir metali bünyesine alabiliken, bazıları ise birden çok metali biriktirebilmektedir. Bunlardan başlıcalarından biri olan Brassicaceae , 11 takson ve 87 hiperakümülatör tür e sahiptir. Türkiye florası çeşitli familyalardan 38 hiperakümülatör türe ev sahipliği yapmaktadır. Poaceae familyası 13 tür ile Türkiye'de bulunan hiperakümülatör türlerin en geniş familyasıdır Fitoremediasyonun, kirlenmiş sahaların yerinde rehabilite edilebilmesi avantajına sahip olmasına ragmen, uzun süre gerektirmesi, besin zinciri ile kirleticilerin diğer bölgelere taşınması ihtimali gibi dezavantajları da söz konusudur.*

Anahtar Kelimeler: *Hiperakümülatör bitki, Madencilik, Kirlenmiş alan, Rehabilitasyon*

1. INTRODUCTION

Mining operations are among the main sources of heavy metal contamination in the environment even if the area was abandoned. These operations are still the source of pollution by reason of soil contamination and abandoned mine drainage etc. Phytoremediation is an emerging technology which uses hyperaccumulator plants for the cleanup of contaminated lands. Basically, phytoremediation refers to the use of plants to remove heavy metals and other pollutants from soil and water. Using hyperaccumulator plants in soil and water cleanup appeared over the last 20 years. This low cost technology can be a green rehabilitation alternative for contaminated lands. Hyperaccumulation thresholds of these plants are 2-3 orders of magnitude higher than in normal plants. Hyperaccumulation depends strongly on the plant species, soil

condition and heavy metal type. The roots of these plants extract heavy metal from the soil at a higher rate, translocate it more quickly to their shoots and detoxify and accumulate in leaves or other aboveground organs. Hyperaccumulator plants can accumulate 100-1000 fold higher levels of metals than normal plants without showing any symptoms of toxicity (Brooks, 1998). As an example, non-hyperaccumulator plants can be accumulate about 100 ppm of zinc, however Thlaspi caerulescens was shown to accumulate >26000 ppm zinc (Brown et all.,1995). Hyperaccumulator plant species can be used to remove some organic pollutants from contaminated areas as well as metals (Doty et all.,2007; Bisht et all., 2015; Schnoor et all.,1995; Campanella et all., 2002; Chaudhry et all., 2005; Gerhardt et all., 2009). Hyperaccumulator plants capable of being assessed to extract valuable metals from contaminated or serpentine soils via phytomining.

Hyperaccumulator plants have a great potential on rehabilitating and protecting of environment and providing of ecological balance. Despite having important endemic diversity, there are not enough studies, records and documents on the types of hyperaccumulator in our country. In this review, we aim to elaborate the situation of the hyperaccumulator species in Turkey. For this purpose, the studies and data about the subject have been collected and presented in this review.

2. HYPERACCUMULATOR PLANTS

Over 500 plants from 11 families are reported as metal hyperaccumulator. The families dominating these members are Brassicaceae, Asteraceae, Cyperaceae, Fabaceae, Caryophyllaceae, Cunouniaceae, Flacourtiaceae, Poaceae, Scrophulariaceae, Violaceae, Lamiaceae, and Euphobiaceae (Reeves, 2006; Prasad and Freitas, 2003). The Brassicaceae family is the largest group which has 11 taxon and 87 species. Seven genera and 72 species are known to accumulate nickel from the Brassicaceae family (Thompson, 1996). Nickel can be hyperaccumulated by more than 75% of hyperaccumulator plant species, while only 5 hyperaccumulator species has been found for cadmium. Thlaspi caerulescens and Cannabis sativa can extract 2000 g/ ha/ year and 126 g/ ha/ year cadmium, respectively. Nickel has been shown to reach up to 26 % (dry mass) in Sebertia acuminate (Sapotaceae). Sebertia acuminate is a tree endemic to the serpentine soil. Pteris vittata accumulates up to 10 000 mg/kg arsenic with no

phytotoxicity symptoms. Brassicaceae Isatis cappadocica Hesperis persica and Populus nigra have also been found to hyperaccumulate arsenic (Karimi et all., 2009; Karimi et all., 2010; Tangahu et all., 2011). Brassica campestris L, Brassica carinata A. Br., Brassica juncea (L.) Czern. and Brassica nigra (L.) Koch can accumulate more than 100 mg/g lead. Brassica juncea L. Czern. can accumulate more than 1 mg/g mercury (Tangahu et all., 2011). Zinc specific hyperaccumulators are Sedum alfredii (Crassulaceae), Arabidopsis halleri and Thlaspi species (Brassicaceae). It is determined that some hyperaccumulator plants take up one particular metal, while some others more than one metal. A. halleri, S. alfredii, Thlaspi caerulescens and T. praecox, hyperaccumulate cadmium besides zinc. Various species of Thlaspi are known to hyperaccumulate more than one metal (cadmium, nickel, zinc and lead). It could remove as much as 60 kg/ha zinc and 8.4 kg/ha cadmium. A. serpyllifolium also can be suitable for phytoextraction in polymetal-polluted soils. (Rascio and Navari-Izzo,2011). 26 cobalt hyperaccumulator species belong to Lamiaceae, Scropholariaceae, Asteraceae and Fabaceae (Baker et all., 2000).

Hyperaccumulator plants can be used to extract valuable metals from contaminated or serpentine soils via phytomining. Hybanthus floribundus (Harris et all., 2009; Sheoran et all., 2009), S. Polygaloides (Anderson et all.,1999; Nicks and Chambers, 1998), Homalium (Jaffré et all., 2013; Losfeld et all., 2015), Alyssum spp. (Anderson et all., 1999; Li et all., 2003.; Bani et all.; Robinson et all., 1997) , B. coddii and B. juncea (Harris et all., 2009; Anderson et all., 1999), Iberis intermedia (candytuft) (Anderson et all., 1999; Leblanc et all., 1999), Biscutella (Anderson et all., 1999), Lupinus (Wiche et all., 2016; Wiche and Heilmeier, 2016), Medicago sativa (Harris and Bali, 2008; Bali et all., 2010) are potential hyperaccumulators can be used in phytomining. However, no commercial phytomining operations were found in literature.

3. ADVANTAGES AND LIMITATIONS

Even though hyperaccumulator plants have been shown to efficiently extract various organic and inorganic pollutants, it also has serious limitations related to time. For an example, two year field study has been carried out with P. vittata to remove arsenic from contaminated site and it has been estimated that 8 years would be needed to

completely remediate the soil (Kertulis-Tartar et all., 2006). This led to the idea of modifying plants genetically to obtain transgenic crops (Cherian and Oliveira, 2005; Chen et all., 2013; Doty, 2008). However, transgenic interaction with the environment is not well understood.

When compared with other methods, phytoremediation has many advantages such as low cost, aesthetically satisfactory results and applicability of in-situ or ex-situ. Most of the physicochemical technologies used for soil remediation completely destroy the biological activity in the soil, while phytoremediation preserves the biological properties and physical structure of the soil. On the other hand, the application of phytoremediation has several limitations such as slow growth rate, low biomass etc. Consequently obtained plant biomass can be classified as hazardous waste. Beside consumption of polluted plants by human and wildlife, can cause serious health problems. These wastes must be disposed carefully in accordance with the appropriate methods. Phytoremediation requires further research overcome these limitations.

4. IDENTIFIED HYPERACCUMULATORS IN TURKEY

In Turkey, biodiversity is a very rich due to its location at the intersection of three phyto-geographic region (Irano-Turanian, Mediterranean and Euro-Siberian), climate varieties and include one of the oldest settlements, Anadolu. The rate of endemism is relatively higher than other countries. Eastern Anatolia is the richest region in terms of endemic plant taxa and second place is the Mediterranean region. (Özçelik and Yıldırım,2011). Over half of the Alyssum species and over half of the hyperaccumulators are found in Turkey (Reeves and Adıgüzel, 2008). Özbek (2015), scanned 11 volume of Flora of Turkey and identified local plant species that were accepted as hyperaccumulators. According to this research, the flora of Turkey consists of 38 hyperaccumulator plants from 18 families (Table 1). The richest family in terms of the number of species is Poaceae family with 13 species (Özbek, 2015).

In our country, Gypsophila is represented by 59 taxa and Ankyropetalum is represented by three species, respectively (Özçelik and Yıldırım, 2011). Gypsophila is an important hyperaccumulator, because it concentrates boron at leaf (Babaoğlu et all., 2011).

Table 1. Idintifed hyperaccumulators in Turkey (Özbek, 2015)

	Family	Species	Location
1	Amaranthaceae	*Amaranthus retroflexus L.*	West side of Blacksea region, middle Anatolia
2	Betulaceae	*Betula pendula* Roth.	East Anatolia,Trabzon, Erzurum, Coruh and Kars
3	Brassicaceae	*Arabidopsis thaliana* Heynh.	Up to 1800 m in north, Southeast Anatolia
4	Brassicaceae	Brassica *napus* L.	Pasture land
5	Brassicaceae	*Isatis pinnatiloba* P. H. Davis.	West Mediterranean
6	Caryophyllaceae	*Minuartia hirsuta L.*	Middle and North Anatolia
7	Caryophyllaceae	*Minuartia verna L.*	Kırklareli, Gumushane, Kars
8	Caryophyllaceae	*Silene compacta L.*	Eagean, Marmara, Middle Anatolia, Antalya
9	Convolvulaceae	*Calystegia sepium L.*	Northeast Anatolia, Marmara, Denizli
10	Cyperaceae	*Carex echinata L.*	Bursa, Ordu, Rize, Kutahya
11	Cyperaceae	*Eriophorum angustiflolium L.*	East Anatolia, Kars
12	Euphorbiaceae	*Ricinus communis* L.	Canakkale, Antalya, Istanbul
13	Fabaceae	*Melilotus officinalis* L.	Egean Middle and East Anatolia
14	Fabaceae	*Tirifolium pratense* L.:	Pasture land
15	Fabaceae	*Trifolium repens* L.:	Pasture land
16	Geraniaceae	*Pelargonium L.*	Middle and South Anatolia
17	Malvaceae	*Gossypium hirsutum L.*	Egean and Mediterranean region, pasture land
18	Oleaceae	*Fraxinus angustifolia L.*	West, Middle and South Anatolia
19	Onagraceae	*Epilobium hirsitum L.*	North and Middle Anatolia, Erzurum, Antalya and Siirt
20	Plumbaginaceae	*Armeria maritima* Wild.	Istanbul
21	Poaceae	*Agrostis capillaris L.*	North side of Anatolia in general up to 1950 m in Kastamonu, Ilgaz, Amasya, and Ordu, and Kayseri
22	Poaceae	*Agrostis stolonifera L.*	Marmara, East of Blacksea, Egean, Middle and South Anatolia
23	Poaceae	*Anthoxanthum odaratum L.*	West and South Anatolia
24	Poaceae	*Brachypodium sylvaticum* P.Beauv.	Marmara, Blacksea region Hatay, Mardin and Maras
25	Poaceae	*Bromus ramosus* Hudson.	Istanbul, Bolu, cankırı, Rize, Kars and Adana
26	Poaceae	*Cynodon dactylon* L.C.M.	West and Northeast Anatolia,Mediterranean region and Middle Anatolia
27	Poaceae	*Danthonia decumbens L.*	North side of Turkey
28	Poaceae	*Deschampsia caespitosa* P.Beauv.	North Anatolia, Blacksea region, Van, Adana, Hakkari
29	Poaceae	*Festuca rubra L*	West Anatolia
30	Poaceae	*Holcus lanatus L.*	North and West Anatolia
31	Poaceae	*Hordelymus europaeus L.*	North Anatolia
32	Poaceae	*Lolium multiflorum* L.	North Anatolia, Marmara, Maras and Erzurum
33	Poaceae	*Nardus stricta L.*	Northwest, Northeast and Middlle Anatolia
34	Portulacaceae	*Portulaca oleracea* L.	Pasture land
35	Salicaceae	*Populus tremula* L.	Egean, Middle and East Anatolia
36	Salicaceae	*Salix viminalis L.*	Istanbul
37	Solanaceae	*Solanum nigrum* L.	Anatolia
38	Violaceae	*Viola arvensis* L.	Istanbul, Izmir and Trabzon

Ophiolitic rocks and serpentine soils rich in minerals (iron, magnesium, nickel, platinum and chromium) are noteworthy among the places rich in endemism. Among the plant groups that grow in the serpentine soil, nickel hyperaccumulators Brassicaceae, caryophylllaceae and lamiaceae are noteworthy. One of these plants, Alyssum is the most characteristic plant species of the Mediterranean basin. In Turkey,

27 of these plant groups, which have 48 different taxa are endemic. Findings from studies conducted in areas where the serpentines are common in Turkey have revealed that the amount of nickel that can be accumulated by plant groups such as Alyssum, Thlaspi and Cochlearia is over 2% (Avcı, 2005). Moreover, several researchers determined that some Alyssum species accumulate up to 3% nickel in their foliage (Altınözlü et all, 2012). In Turkey, hyperaccumulation occurs in the Brassicaceae family not only in Alyssum, but in species of Bornmuellera, Cochlearia, Thlaspi, Aethionema and in Centaurea (Asteraceae). Several works carried out on Turkish serpentines during the period 1996-2003 has resulted in the collection of nearly 700 specimens, both for analysis and for preservation as herbarium specimens. Specimens have been deposited in the herbaria of Gazi University, and the Royal Botanic Garden, Edinburgh, Scotland. Many of these species were endemic to Turkey (Reeves and Adiguzel, 2008).

Despite having such an endemic diversity, there are not enough studies, records and documents on the types of hyperaccumulator in our country. With this study, the studies and data about the subject have been compiled and aimed to keep the light on the works to be done.

Altınözlü et all. (2012) collected aboveground parts of 413 herbaceous plants and the surface soil (0-15 cm) of 192 serpentine soil samples. It is shown in this study that Brassicaceae was particularly common, with 62 genera and 174 defined species. Isatis pinnatiloba, an endemic species to Turkey, was introduced as a nickel hyperaccumulator species in this study.

Aytaç and Aksoy (2000) discovered a new species of Bornmuellera on Kızıldağ Mountain (Konya) near Çamlık in southern Anatolia. Based on the hypothesis that other hyperaccumulator species can be present in this area, Reeves et all. (2008), examined the nickel uptake behaviour of other species growing in the same area and discovered B. kiyakii is a nickel hyperaccumulator. In this study, several other members of the Brassicaceae (species of Alyssum L., Pseudosempervivum (Boiss.) Grossh. (formerly in Cochlearia L.) and Thlaspi L) are discovered as nickel hyperaccumulators (Reeves and Adiguzel, 2008).

Yildirim and Sasmaz (2012) investigated silver and arsenic uptake of 12 plant species (Alyssum saxatile, Anchusa arvensis, Centaurea cyanus, Carduus nutans, Cynoglossum officinale, Glaucium flavum, Isatis sp., Onosma sp., Phlomis sp., Silene

compacta, Tripleurospermum maritimum and Verbascum Thapsus). All of these plants were naturally growing around Gumuskoy silver-lead mining area (Kutahya, Turkey). The results showed that Verbascum Thapsus, Silene compacta and Glaucium flavum were excellent hyperaccumulator plants for silver, and Anchusa arvensis, Phlomis sp., Verbascum Thapsus and Glaucium flavum were excellent hyperaccumulator plants for arsenic.

Kalender and Alcicek (2016) worked with Astragalus angustifolius, Artemisia, Juncus Effusus which were naturally grown in the Dadağı-Nevşehir uranium mineralization area. Astragalus angustifolius and Artemisia were determined as low accumulator plants for uranium and thorium. However, Juncus effusus was moderate accumulator plants.

Sasmaz and Yaman (2008) reported distribution of uranium and thorium in soil samples and the roots and shoots of Euphorbia macroclada, Verbascum cheiranthifolium Boiss and Astragalus gummifer grown around an abandoned lead–zinc –copper mining area. Köprübaşı uranium bed, one of the largest uranium deposits in Turkey, which has been known since 1960, has been subjected to some mining work. It was determined that the shoots of Astragalus and roots of Euphorbia and Verbascum can be used as both a biomonitor for environmental pollution.

Kirat (2017) investigated lead, zinc and cadmium accumulator plants grown around the Görgü (Yesilyurt) lead–zinc mine, Malatya. The roots and branches of Astragalus pycnocephalus Fischer and Verbascum euphraticum L. plants were examined. It is determined that A. Pycnocephalus can be used for remediation of the soils polluted by cadmium and lead.

Vanli (2007) studied lead, cadmium and boron removal with maize (Zea Mays L.), sunflower (Helianthus annuus) and canola (Brassica napus oleifera L). Required time for complete boron removal with three type of plant was determined as 6-7 years. Among the plants used, the highest accumulation concentrations were observed in the canola plant as expected.

Vural (2014) investigated heavy metal accumulation in soils and shoots of 1-2 years of acacia trees (Robiniapseudoacacia L.). Gümüşhane and its environs are one of the important mining provinces containing numerous lead, zinc, copper and gold ore. It is determined that the soil was unpolluted in terms of chromium, cobalt, copper,

rubidium, strontium; unpolluted to moderately polluted in terms of vanadium, nickel and zinc; moderate to excessively polluted in terms of arsenic, and moderate to excessively polluted in terms of lead. It was determined that copper, iron, molibdenum, nickel, strontium and zinc concentrations of acacia shoots were within and/or above upper limits of normal values in certain sampling points.

Karaomeroglu and Zaimoglu (2012) investigated the sensitivity of Medicago sativa (alfa alfa) and Vicia sativa (common vetch) plants sesitivity at polluted soils with different concentration of boron. According to the results, Medicago sativa contuniued to live in 50 ppm boron, while, toxicity sign was shown for Vicia sativa 30, 40, 50 ppm boron concentrations. When the highest dose of boron was applied, 788 mg/kg boron was accumulated on leaves.

Kirat and Aydın(2016) collected 28 plant species and soil samples from boron deposit area in Akdağmadeni. Authors investigated boron uptake by roots, shoots and leaves of Astragalus pycnocephalus Fischer (A. pycnocephalus)and Verbascum euphraticum L. (V. euphraticum), which grown naturally around the study area. Results showed that the highest accumulation of boron was found in the roots. It is determined that both plant types were suitable for phytoremediation of boron. Boron concentrations in roots of A. pycnocephalus and V. euphraticum around lead-zinc mine were shown high in certain sampling points. It is shown that boron concentrations in shoot and leaves of V. euphraticum are higher than that of A. pycnocephalus. Gezgin et all. (2009), Puccinellia distans and Babaoglu et al. (2003) have identified the sphaerocephala plant as hyperacumator plant for boron.

2. RESULTS AND DISCUSSION

Due to the broad range of biodiversity, Turkey have the great capacity for metal hyperaccumulation for remediation of contaminated soils and for extraction of metal compounds by cropping hyperaccumulators (phytomining). The potential of these hyperaccumulator plants on rehabilitation of contaminated lands are great. However, there is still need for further work to exhibit our natural resources and the potential of these hyperaccumulator plants particularly. The hyperaccumulator plants discovered so far are a very small fraction of our biological diversity and a great abundance lies waiting to be discovered. Ophiolitic rocks and serpentine soils rich in minerals (iron,

magnesium, nickel, platinum and chromium) are noteworthy among the places rich in endemism. In general, other plants do not grow in these areas other than hyperaccumulator plants because of toxicity effect of these metals . Serpentine areas are therefore especially interesting. In addition, many of the hyperaccumulator plants are cultivated. The risks that may arise from consuming as a food by humans and animals should not be overlooked. Heavy metals can be passed to the human body via the food chain by means of meat and milk of animals fed with plants grown with high heavy metal content.

In our country, in general, there are rehabilitation applications in the form of reforestation of abandoned mine. At least the appropriate trees must be selected for this applications. Tree species such as Populus and Salix are frequently used in phytoremediation due to their effective removal capacity. The Willow (Salix) family of Willow tree (Salicaceae) is a plant with high tolerance to uranium mineral deposits and mercury, silver, chromium, cadmium, lead. 28 willow species grow in our country and 2 of them are endemic to Turkey. Populus (poplar) is a member of the family of Salicaceae. In our country there are many types of populous such as Populus alba, Populus nigra, Populus tremula, Gallia populous etc. The poplar tree has the ability to take a considerable part of the groundwater. Therefore it is thought that poplar can be used to reduce pollutants such as petroleum products and hydrocarbons from reaching the soil and groundwater in mining areas. Alyssum murale (Seki rabbit), nickel and zinc hyperaccumulator, is endemic to Mediterranean region and contains about 150 species. There are 90 species of Alyssum murale in our country. Alyssum Maritima (Honeybee) species is a chromium hyperaccumulator and is common throughout the country.

Besides sunflower (Helianthus annuus) which are widely cultivated in the Thrace region of our country are suitable for removal of heavy metals such as arsenic, uranium and lead from the soil. In Japan, Fukushima, sunflower was cultivated in areas affected by nuclear leaks.

3. CONCLUSION

Turkey, is a country hosts notably diverse mineral deposits and a wide range of mining activities. In Turkey, biodiversity is a very rich and the rate of endemism is relatively higher than other countries. Especially, serpentine areas of Turkey and serpentine

endemic hyperaccumulators are noreworthy. Despite having such a potential, studies and record on the types of hyperaccumulator are insufficient in our country. Rehabilitation applications in abandoned mine in the form of reforestation. However, when these afforestation works are carried out, trees with the hyperaccumulation characteristic are not considered. It is inevitable to take precautions when considering the possibility of contamination of soil and water sources. There are few studies on the subject are usually limited to the speciation of plants grown in mining areas. Pilot-scale studies must be conducted on the rehabilitation of abandoned mine by selecting pollutant-spesific hyperaccumulators. The use of environment friendly technologies, during mining processes and rehabilitation measures in the mining sector will not hinder the development of the sector, but will contribute to the development. In this context, a draft of the Mineral Fields Rehabilitation Action Plan was prepared by the Ministry of Forestry and Water Affairs and it was decided that from January 4/2018 rehabilitation works should be carried out on the basis of elaborated rehabilitation project. In this regard, it is clear that studies on hyperaccumulator species and the capability of these species to remove pollutant will be very helpful as a guide.

REFERENCES

Altinozlu, H., Karagoz A., Polat T., Unver I., 2012. Nickel hyperaccumulation by natural plants in Turkish serpentine soils. Turk J Bot 36: 269-280.

Anderson, C.W.N., Brooks, R.R., Chiarucci, A., LaCoste, C.J., Leblanc, M., Robinson, B.H., Simcock, R., Stewart, R.B. 1999. Phytomining for nickel, thallium and gold. Journal of Geochemical Exploration 67: 407–415.

Avcı, M., 2005. Çeşitlilik ve endemism açısından Türkiyenin bitki örtüsü. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi, Sayı 13: 27-55.

Aytaç Z., Aksoy A., 2000. A new species of Bornmuellera Hausskn. from south Anatolia, Turkey. Bot J Linn Soc, 134: 485-490.

Babaoğlu M., Gezgin S., Topal A., Sade B., Dural H., 2011. Gypsophila sphaeroceplala Fenzl. Ex Tchihat.: A Boron Hyperaccumulator Plant Species That may Phytoremediate Soils with Toxic B Levels, Turk J. Bot., 28: 273-278.

Babaoglu M., Atalay E., Gezgin S.,2003. Buğday (Triticum durum Desf.) ve Arpa (Hordeum vulgare L.) İn Vitro Fidelerinin Bor Alımının ICP-AES İle Tespiti, Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, S.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 17 (32): 47 -52.

Baker, A.J.M., McGrath, S.P., Reeves, R.D., Smith, J.A.C., 2000. Metal Hyperaccumulator Plants: A Review of the Ecology and Physiology of a Biological Resource for Phytoremediation of Metal Polluted Soils, In: Phytoremediation of Contaminated Soil and Water, Terry N., Banuelos (Eds.), CRC Press, Boca Raton, 85-107.

Bali, R., Siegele, R., Harris, A. T.,2010. Phytoextraction of Au: Uptake, accumulation and cellular distribution in Medicago sativa and Brassica juncea, Chemical Engineering Journal, 156 (2): 286-297.

Bani A., Echevarria G., Sulce S., Morel JL., 2015. Improving the agronomy of Alyssum murale for extensive phytomining: a five-year field study. Int J Phytoremed 17:117-127.

Bisht, S., Pandey,P., Bhargava, B., Sharma, S., Kumar, V., Sharma, KD., 2015. Bioremediation of polyaromatic hydrocarbons (PAHs) using rhizosphere technology Brazilian Journal of Microbiology, 46 (1): 7-21.

Brooks, R.R.,1998. General Introduction. In: Brooks, R.R. (ed.). Plants That Hyperaccumulate Heavy Metals: Their Role in Phytoremediation, Microbiology, Archaeology, Mineral Exploration and Phytomining. CAB International, New York.

Brown, S.L., R.L. Chaney, J.S. Angle, and A.M. Baker, 1995. Zinc and cadmium uptake by hyperaccumulator Thlaspi caerulescens grown in nutrient solution. Soil Sci Am J 59: 125-133.

Campanella, BF., Bock, C., Schroder, P., 2002, Phytoremediation to increase the degradation of PCBs and PCDD/Fs - Potential and limitations. Environ. Sci. Pollut. R. 9:73–85.

Chaudhry, Q., Blom-Zandstra, M., Gupta, S., Joner, EJ., 2005. Utilising the synergy between plants and rhizosphere microorganisms to enhance breakdown of organic pollutants in the environment. Environ. Sci. Pollut. R. 12:34–48.

Chen, Y., Xu, W., Shen, H., Yan, H., Xu, W., He, Z., Ma, M., 2013. Engineering arsenic tolerance and hyperaccumulation in plants for phytoremediation by a PvACR3 transgenic approach. 47(16):9355-9362.

Cherian, S., Oliveira, MM., 2005. Transgenic plants in phytoremediation: Recent advances and new possibilities. Environ. Sci. Technol., 39:9377–9390.

Doty, S.L., James, C.A., Moore, A. L., Vajzovic, A., Singleton, G.L., Ma, C., Khan, Z., Xin, G., Kang, J.W., Park, J.Y., Meilan, R., Strauss, S.H., Wilkerson, J., Farin, F., Strand, S.E., 2007. Enhanced phytoremediation of volatile environmental pollutants with transgenic trees, PNAS, 104 (43):16816-16821.

Doty, SL., 2008. Enhancing phytoremediation through the use of transgenics and endophytes. New Phytol., 179:318–333.

Gerhardt, KE., Huang, XD., Glick, BR., Greenberg, BM., 2009. Phytoremediation and rhizoremediation of organic soil contaminants: Potential and challenges. Plant Sci., 176:20–30.

Gezgin, S., Hamurcu, M.., Sekmen, H.A., Turkan, I.; Hakki, E.E.,2009. Puccinellia distans (Jacq.) Parl.: Etkili Bir Bor Hiperakümülatörü Olabilir mi?, IV. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir, Türkiye.

Harris, A.T., Bali, R., 2008. On the formation and extent of uptake of silver nanoparticles by live plants, Journal of Nanoparticle Research, 10(4): 691–695.

Harris, A.T., Naidoo, K., Nokes, J., Walker, T., Orton, F., 2009. Indicative assessment of the feasibility of Ni and Au phytomining in Australia, Journal of Cleaner Production, 17(2): 194-200.

Jaffré, T., Pillon, Y., Thomine, S., Merlot, S., 2013. The metal hyperaccumulators from New Caledonia can broaden our understanding of nickel accumulation in plants, Front Plant Sci. 4: 279.

Kalender, L., Alcicek Ö.M., 2016. Astragalus angustifolius, Artemisia ve Juncus effusus'un Uranyum ve Toryum için biyoakümülatör özellikleri, Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi 28 (2): 267-273.

Karaomeroglu, B., Zaimoglu, 2012. Z., Medicago Sativa L. ve Vicia Sativa L. bitkileri kullanilarak Topraktan Bor Gideriminin Araştirilmasi Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt:27(5):73-82.

Karimi, N., Ghaderian, S.M., Raab, A., Feldmann, J., Meharg, A.A., 2009. An arsenic accumulating, hypertolerant brassica, Isatis cappadocica, New Phytol. 184: 41–47.

Karimi, N., Ghaderian, S.M., Maroofi, H., Schat, H. 2010. Analysis of arsenic in soil and vegetation of a contaminated area in Zarshuran, Iran, Int. J. Phytoremed. 12:159–173.

Kertulis-Tartar, G.M., Ma, L.Q., Tu, C., Chirenje, T., 2006. Phytoremediation of an arsenic-contaminated site using Pteris vittata L.: a two-year study, Int. J. Phytoremed. 8: 311–322.

Kirat, G., 2017., Pb – Zn - Cd accumulator plants grown around the Gorgu (Yesilyurt) Pb – Zn Mine, - Malatya, Turkey, Bull. Min. Res. Exp., 155:16-30.

Kirat, G., Aydin, N., 2016.Phytoremediation with plants for soils polluted by boron at Akdagmadeni Pb-Zn mining district and surroundings, Yozgat, Turkey, Gazi University Journal of Science GU J Sci 29(4): 963-970.

Leblanc, M., Robinson, BH., Petit, D., Deram, A., Brooks, RR., 1999. The phytomining and environmental significance of hyperaccumulation of thallium by Iberis intermedia from southern France. Econ Geol 94:109–114.

Losfeld, G., Mathieu, R., L'Huillier, L., Fogliani, B., Jaffré, T., Grison, C. 2015. Phytoextraction from mine spoils: insights from New Caledonia, Environmental Science and Pollution Research, 22 (8): 5608–5619.

Li, Y.M., Chaney, R., Brewer, E., Roseberg, R., Angle, J. S., Baker, A., Reeves, R., Nelkin, J.2003. Development of a technology for commercial phytoextraction of nickel: economic and technical considerations, Plant and Soil 249: 107–115.

Prasad, M.N.V., Freitas, H.M.O., 2003. Metal hyperaccumulation in plants - Biodiversity prospecting for phytoremediation technology, Electronic Journal of Biotechnology, 6(3).285-321.

Nicks, L. J., Chambers, M. F., 1998. A pioneering study of the potential of phytomining for Ni. In Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals; Brooks, R. R., Ed.; CAB International: Wallingford, Oxon, UK, 313−325.

Ozbek, K., 2015. Hiperakümülasyon ve Türkiye florasındaki hiperakümülatör türler, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi 3 (1) 37 – 43.

Özçelik, H., Yıldırım, B. 2011. Türkiye çövenlerinin (Gypsophila L. ve Ankyropetalum Fenzl spp.) ekonomik önemi, kullanım olanakları ve korunması üzerine düşünceler, SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 12: 57-61.

Rascio, N., Navari-Izzo F., 2011. Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting?, Plant Science 180: 169–181.

Reeves, RD., 2006. Hyperaccumulation of trace elements by plants. In: Morel, J.L., Echevarria, G., Goncharova, N. (Eds.). Phytoremediation of metal-contaminated soils, NATO Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences, Springer, NY, 1-25.

Reeves, R., Adiguzel, N., 2008. The Nickel hyperaccumulating plants of the serpentines of Turkey and adjacent areas: A Review with New Data, Turk J Biol 32: 143-153.

Robinson, B., Chiarucci, A., Brooks, R., Petit, D., Kirkman, J., Gregg, P., De Dominicis, V., 1997. The nickel hyperaccumulator plant Alyssum bertolonii as a potential agent for phytoremediation and phytomining of Ni. J. Geochem. Explor. 59, 75−86.

Sasmaz, A., Yaman, M., 2008. Determination of uranium and thorium in soil and plant parts around abandoned lead–zinc–copper mining area, Communications in Soil Science and Plant Analysis, 39 (17-18).

Schnoor, JL., Licht, LA., McCutcheton, SC., Wolfe, NL., Carreira, LH.,1995. Phytoremediation of organic and nutrient contaminants. Environ. Sci. Technol., 29:318–323.

Sheoran, V., Sheoran, A.S., Poonia, P., 2009. Phytomining: A review, Minerals Engineering, 22 (12) 1007-1019.

Tangahu, B.V., Abdullah, S.R.S., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., Mukhlisin, M., 2011. A Review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants through Phytoremediation, Hindawi Publishing Corporation International Journal of Chemical Engineering Article ID 939161, 31 pages.

Thompson, L., 1996. Exciting Environmental Technologies: Biodegradable Plastic, Bioremediation, Phytoremediation, Solar Detoxification, Landfill Gas. Better World and BWZ.

Wiche, O., Székely, B., Kummer, N.A., Moschner, C., Heilmeier, H., 2016. Effects of intercropping of oat (Avena sativa L.) with white lupin (Lupinus albus L.) on the mobility of target elements for phytoremediation and phytomining in soil solution, International Journal of Phytoremediation, 18, Issue 9.

Wiche, O., Heilmeier, H., 2016. Germanium (Ge) and rare earth element (REE) accumulation in selected energy crops cultivated on two different soils, Minerals Engineering, 92: 208-215.

Vanli, O., 2007. Pb, Cd, B elementlerinin topraklardan şelat destekli fitoremediasyon yöntemiyle giderilmesi, ITU.

Vural, A., 2014. Toprak ve akasya agaci surgunlerindeki iz / agir metal dagilimi, Gumushane – Turkiye, MTA Dergisi, 148: 85-106.

Yıldırım, D., Sasmaz, A., 2012. Gumuskoy (Kutahya) maden sahasinda doğal olarak buyumus karasal otsu bitkilerde gumus ve arsenik birikmesi ve dağılımı, 65.Türkiye Jeoloji Kurultayı 2-6 Nisan 2012, 152-153.

BASİT YÖNTEMLERLE ŞEV YÜKSEKLİĞİNİN PRATİK YOLDAN TAHMİNİ

PRACTICAL ESTIMATION OF SLOPE HEIGHT USING SIMPLE METHODS

Kadir KARAMAN*, Sümeyye ERTEN

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Müh. Bölümü, Trabzon, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: kadirkaraman@ktu.edu.tr

ÖZET: Şev duraylılığının incelenmesi, açık ocak madenleri ve karayolları gibi birçok mühendislik sürecinin tasarlanması için oldukça önemlidir. Şev duraylılığı genellikle kinematik analizler, limit denge analizleri, sayısal analizler (nümerik) ve kaya kütlesi sınıflama sistemleri ile değerlendirilmektedir. Şev yüksekliği bu yöntemlerin birçoğunda girdi parametresi olarak kullanılmaktadır. Şev yüksekliğini belirlemede kullanılan çeşitli yöntemler (şerit metre, altimetre, lazer metre vb.) olmasına rağmen, bu yöntemlerin güvenilirliği konusunda yapılan bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu çalışmada kaya şevlerinin yüksekliği şerit metre, lazer metre, altimetre, klinometre ve jeolog pusulası yardımıyla belirlenmiştir. Elde edilen bulgular birbirleriyle kıyaslanmış ve yöntemlerin güvenilirliği ve pratikliği tartışılmıştır. Sonuç olarak şev yüksekliğinin belirlenmesinde en az iki yöntemin kullanılmasının daha doğru sonuçlar vereceği önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şev yüksekliği, Şeritmetre, Lazermetre, Altimetre, Klinometre, Pusula

ABSTRACT: *Analysis of slope stability is significant for the design of many engineering processes such as open pit mines and highways. Slope stability is generally evaluated by kinematical, limit equilibrium and numerical analyses, and rock mass classification systems. The slope height is used as the input parameter in many of these methods. Although there are various methods (tape line, laser meter, altimeter) to determine the height of slope, a study has not been found in the literature in terms of the reliability of these methods. In this study, height of the rock slopes was determined with tape line, laser meter, altimeter, clinometer and geological compass. Findings obtained*

compared with each other and the reliability of the methods was discussed. Consequently, it is proposed that the use of at least two methods for the determination of the slope height to provide more accurate results.

***Keywords**: Height of slope, Tape line, Laser meter, Altimeter, Clinometer, Compass*

1. GİRİŞ

Şev duraylılığının incelenmesi, açık ocak madenleri ve karayolları gibi birçok mühendislik sürecinin tasarlanması için oldukça önemlidir (Kaya vd., 2015). Uygun ve doğru yöntemler kullanılarak yapılan şev tasarımları sadece şev duraylılığını arttırmakla kalmaz, aynı zamanda kazaları azaltarak güvenli ortamda çalışma imkanı da sağlar (Bye and Bell, 2001; Karaman vd., 2013). Kaya şev duraylılığının değerlendirilmesinde kullanılan farklı yöntemler vardır. Şev duraylılığı genellikle kinematik analizler, limit denge analizleri, sayısal analizler (nümerik) ve kaya kütlesi sınıflama sistemleri ile değerlendirilmektedir (Hoek ve Bray, 1981; Hoek, 1999; Ulusay vd., 2001; Alejano vd., 2011). Kinematik analizler için şev geometrisi ve süreksizliklerin kayma dayanımı parametrelerinden içsel sürtünme açısının bilinmesi gerekirken, limit denge analizinde yenilme düzlemi boyunca gelişen makaslama dayanımı, boşluk suyu basıncı, maksimum yatay yer ivmesi, şev yüksekliği gibi faktörler dikkate alınmaktadır (Kentli ve Topal, 2004; Gürocak vd., 2008). Kaya kütle sınıflama sistemleri ise tünel ve yeraltı madenciliğinde yıllarca başarı ile uygulanmaktadır (Barton 1976, 1988; Bieniawski, 1989; Laubscher, 1990). Yeraltı kazıları için geliştirilen bazı kaya kütlesi sınıflama sistemleri sonraki yıllarda şevler için de uygulanabilmiş (Bieniawski, 1989) veya yeniden düzenlenmiştir (Haines ve Terbrugge, 1991; Romana, 1985, 1991; Selby, 1980, 1982). Kaya kütlesi sınıflama sistemlerinden şev yüksekliğini girdi parametresi olarak kullananların listesi Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1'den de görüldüğü gibi şev yüksekliği birçok kaya kütlesi sınıflama sistemleri tarafından girdi parametresi olarak kullanılmaktadır. Şev yüksekliği ayrıca limit denge analizleri (Kesimal vd. 2008) ve sayısal analizler için önemli bir girdi parametresidir.

Çizelge 1. Şev yüksekliğini girdi parametresi olarak kullanan bazı sistemler

Kaya kütlesi sınıflama sistemleri	**Şev yüksekliği**
Şev Duraylılığı Olasılık Sınıflama (SSPC) sistemi	✓
Kaya Şevi Bozunma Değerlendirmesi (RDA)	✓
Volkanik Kaya Yüzleği Güvenlik Puanlaması (VRFSR)	✓
Kaya Düşmesi Tehlike İndeksi (FRHI)	✓
Çin Kaya Kütle Puanlaması (CSMR)	✓

Kadakçı Koca ve Koca (2014) sayısal analizler kullanarak yaptığı çalışmada şev açısının duraylılık üzerindeki en etkili parametre olduğunu bunu takiben sırasıyla, suya doygunluk, GSI, sismik katsayı ve şev yüksekliğinin geldiğini ifade etmişlerdir. Karaman (2013) ve Karaman vd. (2013) Şev Duraylılığı Olasılık Sınıflama (SSPC) sistemini kullanarak yaptığı çalışmada şev yüksekliklerini girdi parametresi olarak kullanarak şevlerin güvenli kalabileceği en büyük yüksekliği belirlemişlerdir. Kaya dayanımının düşük olduğu zayıf şevler için şev yüksekliğinin doğru belirlenmesi önem arz etmektedir. Aksi halde analizlerde yanlış yorumlamalara yol açabilmektedir. Karaman vd. (2013) yükseklikleri 4.30 ile 5.16 metre arasında değişen şevleri incelemiş ve şevlerin duraylı kalabilecekleri yüksekliklerin 8 metre olabileceğini göstermişlerdir. Mohamed vd. (2012) yaptıkları çalışmada şev duraylılığını belirlemede bulanık mantık yöntemini kullanmışlardır. Yazarlar şev yüksekliğini önemli bir girdi parametresi olarak değerlendirmeye aldıklarını ifade etmişlerdir. Ayrıca basamak tasarımı madencilikte açık ocak çalışmalarında elzemdir. Basamak tasarımında kullanılan en önemli iki faktör basamak (şev) yüksekliği ve basamak eğimidir. Sonuç olarak şev yükseklik parametresinin limit denge ve sayısal analizlerde, kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde, bulanık mantık ve açık ocak maden tasarımında kullanılan önemli bir girdi parametresi olduğu ortaya çıkmaktadır.

Yükseklik parametresini doğru ve pratik yoldan belirlemek önemlidir. Şev yükseklik hesaplamasında kullanımı profesyonellik gerektiren ölçüm aletlerinin araziye getirilmesi mali ve zaman açısından çoğunlukla mümkün olmamaktadır. Bu çalışmanın amacı şev yüksekliği ile ilgili farklı yöntemlerin güvenilirliği konusunda araştırma yapmaktır. Literatürde söz konusu yöntemlerin kıyaslanması ve güvenilirliği konusunda henüz bir çalışmaya rastlanmamıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışma kapsamında öncelikle dik eğime sahip şevlerin ölçümü yapılmıştır. Şerit metre ile doğrudan ölçüm, altimetre, lazer metre, klinometre ve jeolog pusulası ile dolaylı yoldan yükseklik ölçümleri alınmıştır. Şerit metre ile ölçüm yapılırken bir kişi şev tepesine çıkarak şerit metrenin ucunu aşağıya indirmekte diğer kişi ise şev dibine gelecek şekilde şerit metrenin ucunu ayarlamaktadır. Eğer şev yüksekliği şerit metre ile ölçüm almaya elverişli değilse (Şev – 3) ip salınarak ölçümler gerçekleştirilebilir (Şekil 1). Altimetre ile şev dibi ve şev tepesindeki referans noktalarda belli bir süre beklenerek

yükseklik değerlerinin sabitlenmesi beklenir ve ölçümler kaydedilir. Şev yüksekliği iki yükseklik arasındaki fark alınarak belirlenmektedir. Lazer metre ile şev tepesi ve şev dibindeki noktalara nişan alınarak aletin geometrik fonksiyon özelliğine bağlı olarak şev yüksekliği hesaplanır. Klinometre ve jeolog pusulası ile ölçümler ise açısal hesaplara dayanmaktadır. Arazide dik eğimli yüzeylerden alınan ölçümlerden hesaplanan şev yükseklikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Açık havada lazer metre ile ölçüm alımında sorunlar yaşandığından Şev – 1 için yükseklik değerleri hesaplanamamıştır. Eğimli yüzeylerde (Şev – 3) ölçümler alınmış (Çizelge 3) ancak klinometre ile pusula ölçümleri diğer yöntemlere göre oldukça farklı olduğu için buraya konulmamıştır. Eğimli yüzeylerde söz konusu yöntemlerle ilgili araştırmalar devam etmektedir.

Çizelge 2'de klinometre, pusula ve lazer metre (şev – 2 için) okumaları farklı mesafelerden de ayrıca alınmıştır. Şev – 1'e 10, 15 ve 20 metre mesafede, şev – 2'ye ise 2 ve 5 metre uzaklıkta ölçümler yapılmıştır. Bunun nedeni şev yüksekliğinin belirlenmesinde ölçüm mesafesinin etkisini araştırmaktır.

Şekil 1. Farklı yöntemlere göre yapılan ölçümlerden görüntüler

Çizelge 2. Dik eğime sahip şevlerdeki ölçümler

Şev – 1 Eğim 90°			**Şev – 2 Eğim 90°**		
Yöntemler		**Yükseklik, H (m)**	**Yöntemler**		**Yükseklik, H (m)**
Şerit metre		**6.3**	Şerit metre		**4.39**
Altimetre		8	Altimetre		4
10 metre	Klinometre	5.7	2 metre	Lazer metre	4.58
	Pusula	6		Klinometre	3.4
15 metre	Klinometre	5.4		Pusula	4.05
	Pusula	5.6	5 metre	Lazer metre	5.23
20 metre	Klinometre	5.1		Klinometre	3.8
	Pusula	5.2		Pusula	4.33

Çizelge 3. Eğimli şevde yapılan yükseklik ölçümleri

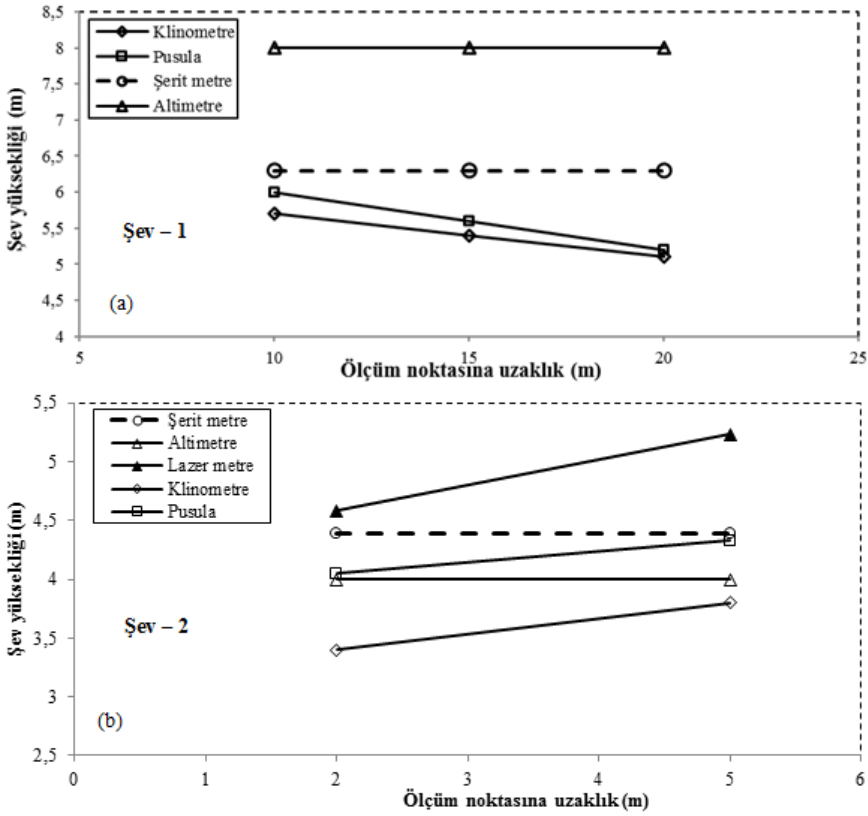
Şev – 3 Eğim 75°	
Yöntemler	**Yükseklik, H (m)**
Şerit metre	**21.3**
Altimetre	20
Lazer metre	21.5

3. BULGULAR

Çizelge 2'deki verilere ait grafikler Şekil 2'de verilmiştir. Şerit metre ile yapılan ölçümlerin yükseklik değerleri doğrudan, diğer yöntemlerden hesaplananlar ise dolaylı ölçümleri temsil etmektedir. Şev – 1 değerlendirildiğinde; şerit metreden alınan ölçüme en yakın ölçümler pusula ile yapılan ölçümlerden sağlandığı görülmektedir. Altimetre ile alınan ölçümler daha yüksek iken diğer yöntemlere göre hesaplanan değerler nispeten daha düşüktür. Şev üzerinde ve şev dibinde yapılan şerit metre ve altimetre ölçümleri farklı mesafelerdeki ölçümleri (klinometre ve pusula) kıyaslamak için değişen mesafelerde aynı değer olarak gösterilmiştir (Şekil 2). Ayrıca şev–1'i farklı uzaklıklardan (10, 15 ve 20 metre) klinometre ve pusula ile ölçerek ölçüm noktası mesafesinin sonuçları etkileyip etkilemediği araştırılmıştır. Buna göre ölçüm noktasından uzaklaştıkça klinometre (eğimölçer) ve pusula ile hesaplanan dolaylı şev yükseklik değerlerinde azalmanın olduğu görülmüştür. Gündüz lazer metre ile bu mesafelerde ölçüm yapılamadığından değinilmemiştir.

Şekil 2b'de şev – 2 için alınan ölçüm sonuçları yer almaktadır. Hava kapalı olduğu ve daha yakından ölçümler alındığı için lazer metre kullanılabilmiştir. Lazer metre ile alınan ölçümlerin mesafeden etkilendiği görülmektedir. Şevden uzaklaştıkça lazer metre ve şerit metre ölçüm değerleri arasındaki farkın arttığı anlaşılmıştır. Pusula ile alınan ölçümlerde bu durumun tam tersi (ölçüm mesafesi arttıkça daha yakın değerler) görülmüştür. Klinometre ölçümlerinde mesafe arttıkça kısmen daha yakın (şerit metre ile) değerler bulunmuştur. Ancak diğer yöntemlere kıyasla şev – 2 için en olumsuz sonucu veren yöntem klinometre yöntemi olmuştur. Altimetre yönteminden bulunan yükseklik değeri nispeten gerçek değerlere yakın çıkmıştır. Şev – 1 ve şev – 2'de klinometre ve pusula ile hesaplanan yükseklik değerleri mesafeye bağlı olarak farklı çıkmıştır. Mesafe etkisini tam olarak anlayabilmek için daha sonra benzer uzaklıklardan (örn. 2, 5, 10 metre gibi) alınan sonuçlara göre yeni çalışılan şevler değerlendirilecektir. Klinometre ve pusula ile eğim açıları çok hassas bir şekilde

alınmalıdır. Şev önündeki zeminin engebeli olması veya şev dibinde toprak örtüsünün olması sonuçları etkileyen en önemli sebeplerdendir.



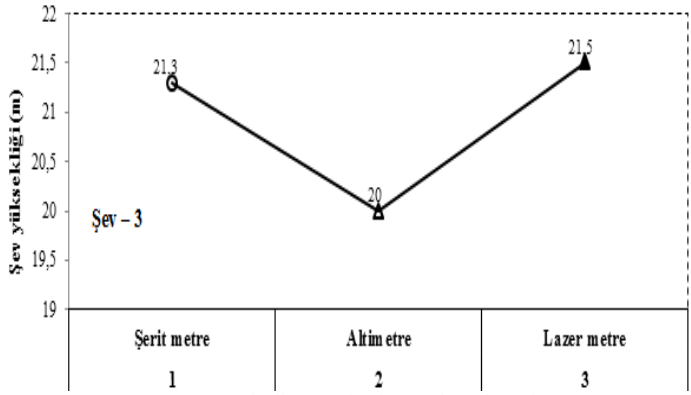
Şekil 2. Dik şevlerde yapılan ölçümler; (a): Şev-1, (b): Şev-2

Eğimli şevdeki (75°) ölçümler, altimetre ve lazer metre ile hesaplanan yükseklik değerlerinin şerit metre ölçümlerine oldukça yakın olduğunu göstermiştir (Şekil 3). Klinometre ve pusula ile farklı uzaklıklardan (5, 10 ve 15 m) ölçülen eğim değerleri grafikte verilmemiş olup eğimli yüzey için bu yöntemler üzerinde çalışılmaktadır.

4. İRDELEME

Şerit metre ile yapılan ölçümler doğrudan şev aynasını veya uzunluğunu ölçme imkânı sunmaktadır. Şev yüksekliği eğimli şevlerde ölçülen şev uzunluğu ile şev eğiminin bir fonksiyonu olarak kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Bu yöntem (< 10 metre), taş düşme veya yenilme riskinin az olduğu şevler için daha uygundur. Bu yöntem ile ölçüm yapılırken bir kişi şev tepesine çıkarken diğer bir kişi şev dibinde şerit metrenin ucunu

şev dibine gelecek şekilde ayarlamalıdır. Diğer bir dezavantajı ise topografyanın olumsuz ve engebeli olmasından dolayı şev üstüne çıkmanın mümkün olmaması/zor olmasıdır. Ayrıca risk içeren şevlerin dibinde bulunma zorluğu gibi nedenler yüzünden ölçümler sağlıklı alınamamakta veya risk içermektedir.



Şekil 3. Eğimli yüzeylerde yapılan ölçümler

Altimetre yöntemi ile kot (yükseklik) farkından yararlanarak şev yüksekliği bulunabilmektedir. Bu nedenle kullanıcı hem şev dibinde hem de şev üstünde okuma yapabilmektedir. Ölçüm için ikinci bir kişiye ihtiyaç duyulmaması şerit metre yöntemine göre avantaj olarak düşünülebilir. Ayrıca yatay bir düzlem olması şartıyla şev dibi ve şev tepesinin gerisinden alınan ölçümler kullanılabilmektedir. Hesaplamalarda sadece kot farkı alınacağından karmaşık geometrik hesaplama işlemine gerek yoktur. Kot farkını dikkate aldığından bazı durumlarda hesaplaması zor olan şev eğimine ihtiyaç yoktur. Ancak şev dibinde kaya düşme riskinin olması ve zor arazi şartlarında şev tepesine çıkma zorluğu gibi olumsuz yanları da bulunmaktadır.

Lazer metre yöntemi özellikle kısa yatay mesafe ölçümlerinde oldukça hızlı sonuç vermektedir. Ölçümlerde ikinci bir kişiye ihtiyaç duyulmaması avantajlarındandır. Kapalı havalarda küçük dik şevlerin yüksekliğini belirlemek için kullanılmasında fayda olan yöntemin açık havada kullanımı oldukça zordur. Eğimli şevlerde şev yüksekliğini doğru ölçüp ölçmediği tartışmalıdır. Ayrıca şevle ölçüm noktası arasındaki mesafe arttıkça elde edilen değerlerin güvenilirliğinin azalacağı düşünülmektedir.

Klinometre ve pusula yöntemlerinde şev yüksekliği tamamen geometrik hesaplamalar sonucunda bulunmaktadır. Klinometre yöntemi ile gözlem noktasına göre

farklı durumlardaki şevlerin yükseklikleri kolay bir şekilde hesaplanabilmektedir. Öte yandan Jeolog pusulası ile gözlem yüksekliği şev yüksekliğine ilave edilerek hesaplama yapılmaktadır. Her iki yöntem ile dik yapı ve şevlerin yükseklikleri daha doğru belirlenebilmektedir. Şevlerin tepesine çıkmaya gerek yoktur. Ölçümlerde ikinci bir kişinin yardımına ihtiyaç duyulmamaktadır. Her iki yöntemle ölçüm yapılırken şev dibine kadar gidip ölçüm noktası ile yatay mesafelerin ölçülmesi gerekmektedir. Bu anlamda ikinci bir alete (şerit metre veya lazer metre) ihtiyaç duyulmaktadır. Klinometre yönteminde gözlem noktası ile şev topuğu arasındaki açı da hesaplandığından şev dibinde bulunan muhtemel toprak örtüsünden dolayı dikkatli ölçümler yapılması gerekir. Ayrıca şev önündeki zeminin şev dibi ile aynı seviyede olması gerekmektedir. Aksi halde hatalı sonuçlar alınabilir. Ölçüm noktası ile şev arasındaki mesafeden her iki yöntem de etkilenmektedir. Bu nedenle şeve farklı iki uzaklıktan ölçümler alınarak kıyaslanması daha doğru olacaktır.

Bu çalışmada basit yöntemler kullanılarak şev yüksekliğinin belirlenebileceği ancak bunun için en az iki farklı yöntemin kullanılmasının (örn. Lazer metre ve klinometre gibi) ve elde edilen sonuçların karşılaştırılarak değerlendirilmesinin daha doğru olacağı önerilmektedir. Yöntemler hakkında daha kapsamlı bilgi elde etmek için daha fazla sayıda şevlerin ölçülmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada basit yöntemler kullanılarak dik ve eğimli şevlere ait yükseklikler hesaplanmıştır. Şerit metre ile doğrudan ölçüm, altimetre, lazer metre, klinometre ve jeolog pusulası ile dolaylı yoldan yükseklik ölçümleri alınmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan yöntemlerin avantajı ve dezavantajları irdelenmiştir. Şerit metre ile ölçümde en az iki kişinin gerekmesi, şerit metre ve altimetre yöntemleri ile ölçümlerde şev dibinde bulunulması ve şev tepesine çıkılması, klinometre ve jeolog pusulası ile yapılan ölçümlerin mesafeden ve şev önündeki engebeden etkilenmesi, lazer metre ile açık havada sağlıklı ölçüm alınamaması gibi yöntemlerin bazı olumsuzluklar içerdiği görülmüştür. Öte yandan şevin risk içermemesi durumunda şerit metre ile daha doğru sonuçlar, altimetre ile şev eğiminden bağımsız çalışmak, lazer metre ile kapalı havalarda kısa mesafelerde hızlı sonuçlar almak mümkündür. Dik bir eğime sahip ve ölçüm yapılacak yüzeyi düz olan şevlerde klinometre ve pusula ile pratik olarak

yükseklik hesabı yapılabilir. Sonuç olarak bu çalışmada kullanılan basit yöntemler ile şev yüksekliğinin belirlenebileceği ancak bunun için gerekli koşullara dikkat ederek en az iki farklı yöntemin kullanılmasının daha doğru olacağı önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın yürütülmesine katkıda bulunan Karadeniz Teknik Üniversitesi Araştırma Fonuna (Proje no: 5593) ve Musa KARAMAN ile Mertcan EFE'ye arazi çalışmalarındaki yardımlarından dolayı teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Alejano, L.R., Ferrero, A.M., Oyanguren, P.R., Fernandes, M.I.A., 2011. Comparison of limit–equilibrium, numerical and physical models of wall slope stability. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 48, 16–26.

Barton, N.R., 1976. Recent experiences with the Q system of tunnel support design. In: Bieniawski ZT (ed) Proceedings Symposium on Exploration for Rock Engineering, Johannesburg. Balkema, Rotterdam, 107–117.

Barton, N.R., 1988. Rock mass classification and tunnel reinforcement selection using the Q-system. In: Kirkaldie L (ed). Proceedings Symposium on Rock Classification Systems for Engineering Purposes, ASTM Special Technical Publication 984, AmericanSociety for Testing and Materials, Philadelphia, 59–88.

Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classification. Wiley, Chichester. 251 p.

Bye, A.R., Bell, F.G., 2001. Stability assessment and slope design at Sandsloot open pit, South Africa. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 38, 449–466.

Gürocak, Z., Alemdag, S., Zaman, M.M., 2008. Rock slope stability and excavatability assessment of rocks at the Kapikaya dam site, Turkey. Engineering Geology, 96, 17–27.

Haines, A., Terbrugge, P.J., 1991. Preliminary estimation of rock slope stability using rock mass classification systems. In: Wittke, W. (editor) Proceedings 7th Congress on Rock Mechanics 2, ISRM. Aachen, Germany. Balkema, Rotterdam, 887–892.

Hoek, E., 1999. Putting numbers to geology – an engineer's viewpoint. Quarterly Journal of Engineering Geology, 32, 1-19.

Hoek, E., Bray, J.W., 1981. Rock Slope Engineering. 3rd edition. London, Institute of Mining and Metallurgy. 358 p.

Kadakçı Koca, T., Koca M.Y. 2014. Açık Ocak Albit İşletmesindeki Kaya Şevlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Duraylılık Değerlendirmesi. Jeoloji Mühendisliği Dergisi 38 (1), 1–18.

Karaman, K., 2013. Evaluation of rock slope stability by different methods (Unye, Ordu). J Geol Eng 37:27–47.

Karaman, K., Ercikdi, B., Kesimal, A., 2013. The assessment of slope stability and rock excavatability in a limestone quarry. Earth Sciences Research Journal 17:169-181.

Kaya, A., Akgün, A., Karaman, K., Bulut, F., 2015. Understanding the mechanism of a slope failure on nearby a highway tunnel route by different slope stability analysis methods: A case from NE Turkey. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 75, 945–958.

Kentli, B., Topal, T., 2004. Assessment of rock slope stability for a segment of the Ankara–Pozanti motorway, Turkey. Engineering Geology, 74, 73–90.

Kesimal A, Ercikdi B, Cihangir F., 2008. Environmental impacts of blast-induced acceleration on slope instability at a limestone quarry. Environmental Geology 54:381-389.

Laubscher, D.H., 1990. Ageomechanics classification system for rating of rock mass in mine design. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 90 (10), 257–273.

Mohamed, T., Kasa, A., Taha, M.R., 2012. Fuzzy Logic System for Slope Stability Prediction. International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology. Vol. 2, 38–42.

Romana, M., 1985. New adjustment rating for application of the Bieniawski classification to slopes. Proceedings International Symposium on Rock Mechanics, Mining Civil Works, ISRM, Zacatecas, Mexico, 59–63.

Romana, M., 1991. SMR classification. In: Wittke W (editor) Proceedings 7th Congress on Rock Mechanics 2, ISRM, Aachen, Germany. Balkema, Rotterdam, 955–960.

Selby, M.J., 1980. A rock mass strength classification for geomorphic purposes: with tests from Antarctica and New Zealand. Geomorphology, 23, 31–51.

Selby, M.J., 1982. Hillslope materials and processes. Oxford University Press, Oxford, 264 p.

Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Tuncay, E., 2001. Causes, mechanism and environmental impacts of instabilities at Himmetoğlu coal mine and possible remedial measures. Environmental Geology, 40 (6), 769–786.

MEKANİZE TÜNEL AÇMA ESNASINDA ZEMİN İYİLEŞTİRMEDE KULLANILAN KİLLERİN KESME PERFORMANSINA ETKİLERİ

EFFECTS OF CLAY MINERALS ON CUTTING PERFORMANCE AS SOIL CONDITIONER IN MECHANIZED TUNNELING OPERATIONS

Cihan DOĞRUÖZ[1*], Savaş ÖZÜN[2], Mehtap Gülsün KILIÇ[3], Oleksandr TOLKACH[4]

1: Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

2: Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta

3: Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

4: Zhytomyr State Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ukrayna

*: Sorumlu Yazar: cihan.dogruoz@dpu.edu.tr

ÖZET : Killer, polimerler ve yüzey aktif maddeler tünel açma esnasında ve kazı esnasında gerek kazı makinelerinin performanslarının artırılması, gerek kesici uçların aşınmasının önlenmesi gerekse kazı işlemi gerçekleştirilmiş kayaç parçalarının kazı alanından uzaklaştırılmasını sağlayan ve yaygın olarak kullanılan katkı maddeleridir.

Kil grubu mineraller arasında yer alan bentonit, suyu absorbe edip şişme özelliği göstermesinden dolayı kazı işlemlerinde en yaygın kullanılan mineral olarak karşımıza çıkmaktadır. Tünel açma esnasında kullanılan kimyasallar ve killer kesici uçların aşınmasında etkili olabilmektedir. Kesici uçların aşınmasına etkisi olabilecek her türlü kimyasalın insan ve çevre sağlığı açısından da etkisi olabileceği öngörülebilmektedir. Polimerler ve yüzey aktif maddelerin çalışan ve çevre sağlığı açısından olumsuz etkilerinin olduğu dikkate alındığında, üstün fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olan bentonitlerin kullanımı ile suyun içerisindeki zararlı olabilecek veya dışarıdan sızabilecek mineraller ile direk temas bertaraf edilebilmektedir. Bu sebeple yapılan çalışmada, tünel açmada zemin iyileştirmek amaçlı kullanılan kil minerallerinin etkileri basma dayanımı, kesme özgül enerjisi ve kaya mekanik parametreleri açısından

araştırılmıştır. Kil ve benzeri zemin iyileştirme katkı maddelerinin, insan ve çevre sağlığı açısından etkilerine de yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kil kesme performansı, Zemin iyileştirme, Bentonit kazısı

ABSTRACT*: Clay minerals, polymers and surfactants are more common additives which are utilized for increasing the excavation performance, preventing the wearness of cutting picks and taking out the material from the excavated rock surfaces in tunneling and excavation. Bentonite is more commonly used in clay minerals due to its disposing characteristics for the probable minerals from water or minerals taken from outside circumstances while absorbing the water. Chemicals and clays may affect cutting pick wears during the tunneling operations. It can also be foresighted that all chemcials may affect human and environment health same with the effect of cutting pick wears. Polymers and surfactants may have negative effects on human health during excavation. Due to their superior physical and chemical characteristics, bentonites may eliminate the potential harmful minerals in water and disposals from outside materials. In this study, clay mineral effects for uniaxial compressive strengths, cutting laboratory spesific energies and rock mechanics parameters have been investigated. Clay and similar ground characterization materials have also been examined to find out the effects on human being and the environment.*

Keywords*: Clay cutting performance, Soil condition, Bentonite cutting*

1. GİRİŞ

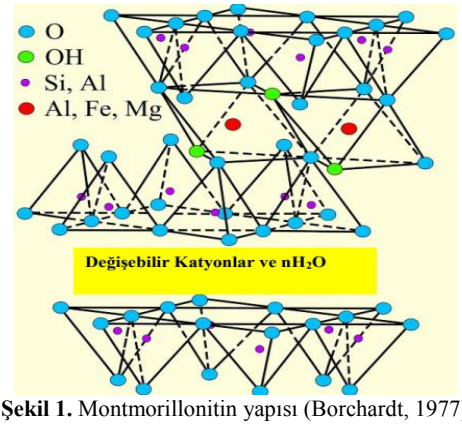
Tünel açmada kazı işlemleri esnasında zeminin iyileştirilmesi, sert formasyonun yumuşatılması ve yumuşak zonların ortalama sertlik değerine getirilmesi vb. amaçlarla kazılacak zeminin jeolojik yapısına, tünel açmada kullanılan ekipmanın özelliklerine, fiyatına, çevresel etkileri vb. unsurlara bağlı olarak killer (çoğunlukla bentonit) ve çeşitli kimyasal katkılar (yüzey aktif maddeler, polimerler vb.) kullanılmaktadır (Efnarc, 2005; Avunduk, 2011; Merritt, 2004; Milligan vd. 2000). Kullanılan bu katkı maddeleri ayrı ayrı kullanılabildikleri gibi zemin şartlarına bağlı olarak uygun oranlarda birbirlerine karıştırılarak da kullanılabilmektedirler (Efnarc, 2005; Avunduk, 2011; Tokgöz vd, 2015). Her jeolojik formasyona uygun katkı maddesi olmaması nedeniyle, kullanılacak olan katkı maddelerinin seçimi jeolojik formasyonu oluşturan kayacın tane boyu dağılımı, geçirgenliği ve su içeriği vb. faktörlere bağlı olarak değişmektedir.

Uygun katkı maddesi/maddelerinin kullanımı ile çevresel etkilerin azaltılması yanı sıra, kazı işlemi gerçekleştiren ekipmanların kazı performansının artması sağlanırken, kesici uçların aşınmasının da önüne geçilebilmektedir (Efnarc, 2005; Duarte, 2007). Bunlara ek olarak kullanılan katkı maddeleri ile vidalı konveyörlerin, kazıcı kafaların ve kesici uçlardaki küçük açıklıkların tıkanması da önlenmektedir (Duarte, 2007).

Dünyada ve ülkemizde çeşitli nedenlere bağlı olarak yüksek oranlarda zemin kazıları yapılmaktadır. Bu kazıların bir çok etkisi olmakla birlikte en büyük etkileri de çevresel etkilerdir. Bunların bilinmesi alınması gereken önlemler açısından önemlidir. Kil mineralleri ülkemizde çok yaygın bulunduğundan kazı esnasında killerin kesme işlemlerinde kesme performansına etkileri önem arz etmektedir. Ülkemizde daha önceden böyle bir çalışmanın yapılmamış olması, farklı kil minerallerinin kazı performansına etkileri araştırıldığı bu çalışmanın önemini ortaya koymaktadır.

2. TÜNEL AÇMADA BENTONİT KULLANIMI

Bentonit; esas olarak smektit minerallerinden, özellikle de en sık kullanılan mineral olan montmorillonit'ten oluşan ve çok az miktarlarda kuvars, mika, feldispat, kalsit vb. gibi diğer mineralleri de bünyesinde barındıran bir kil mineralidir. Bu sebeple, bentonit su karışımları; bentonit mineralinin kalitesi ve kaynağına, suyun kimyasal özelliklerine ve pülp yoğunluğuna bağlı olarak yüksek yoğunluk ve vizkositeye sahip, geçirgen olmayan tiksotropik bir özellik sağlayan suda dağılmış montmorillonit olarak adlandırılmaktadır. Montmorillonit zayıf elektrostatik bağlarla biraraya gelen tabakalı bir yapıya sahiptir (Şekil 1).



Şekil 1. Montmorillonitin yapısı (Borchardt, 1977)

Bu yapıları sayesinde su bu tabakalar arasına girebilmekte ve tabakalar arasında bulunan katyonlar (Ca, Na, Mg) iyon yer değiştirme kapasitesine sahip olabilmektedir (ODOM, 1986). Katyon değiştirme kapasiteleri montmorillonitlerin ticari olarak kullanımlarında önemli bir özellik olmakla birlikte, sodyum (Na)'un baskın yerdeğiştirilebilir iyon olması durumunda montmorillonitler yüksek şişme kapasitesine sahip olmaktadırlar. Böylece suda yüksek dağılma (dispersion) ve yüksek vizkosite özellikleri gösterirler.

Kuru hacimlerinin on katına kadar bünyelerinde su tutabilme özelliğine sahip olan bentonit mineralleri kullanılarak hazırlanan çamurların reolojik özelliklerinin artırılması amacıyla pek çok polimer katkı maddesi kullanılmakla birlikte, lignosülfonatlar ve kompleks fosfatlar da dahil olmak üzere çeşitli katkı maddeleri de bentonit çamurlarında dağıtıcı ve inceltici olarak kullanılmaktadır (Efnarc, 2005; Milligan, 2000). Ana işlevi yüzeyi stabilize etmek olan çamur aynı zamanda dağıtma, kırıntıları taşıma, kesme kafasını yağlama ve soğutma ve kesme aletlerinin aşınmasını azaltma işlevlerinde de kullanılmaktadır. Yumuşak zeminlerde çoğu zaman şartlandırıcı olarak köpük ve su kullanımı yeterli olmamakta, bunlara ek olarak kil dağıtıcı katkılar veya polimerler de kullanılmaktadır. Sadece su ve köpük kullanıldığı zaman kil taneleri birbirine yapışarak topaklanma göstermektedir ve bunun sonucunda da tünel açma makinesinin çelik parçalarına yapışarak tıkanmalara neden olmaktadır. Kil dağıtıcı katkı kullanıldığında ise kil parçaları birbirinden ayrılarak topaklanmaya ve adhezyona engel olabilmektedir (Efnarc, 2005; 2011; Psomas, 2001).

Kil mineralleri kazı işlemleri esnasında ve sonrasında farklı amaçlarla kullanılabilmektedir. Kumlu toprak yapılarında bentonit kullanımı ile oldukça iyi akış özelliklerine ve düşük geçirgenliğe sahip plastik bir özellik kazanan çamurun yüksek su geçirgenlik ve ince tanecik kayıp değerleri azaltılabilmektedir (Duarte, 2007). Bir başka araştırmada ise granit kayacı içerisinde açılan Porto metro tünelinde aşınmayı azaltmak ve nakliyatı kolaylaştırmak için bentonit, köpük ve polimer kullanılmıştır (Fonseca vd., 2011). Fresno vd. 2011 yılında tünel açmada elde edilen bentonit çamurlarının mineralojik, kimyasal, jeoteknik ve mekanik özelliklerini çalışmışlardır ve elde ettikleri sonuçlara göre de toprak ve yol setlerinde kullanılabilirliğini ifade etmişlerdir (Fresno vd.,2011).

3. KİL MİNERALLERİNİN KESME PERFORMANSINA ETKİSİ

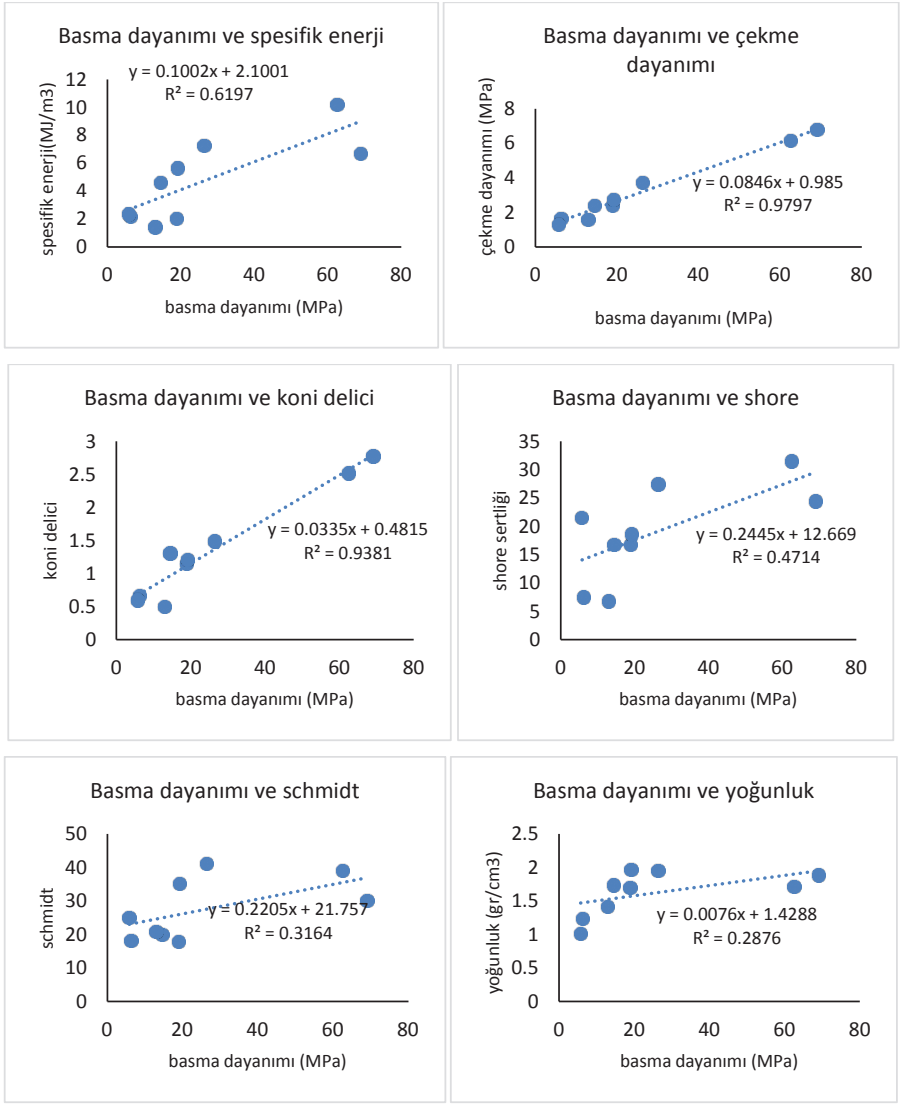
Kayaçların kesme performansları üzerine günümüze dek birçok çalışma yapılmış olup, bazı araştırmacılar farklı parametrelere sahip kayaç kesme düzenekleri geliştirmişlerdir. Bu düzenekler arasında McFeat Smith ve Fowell'ın geliştirdiği standart doğrusal kayaç kesme düzeneği de bulunmaktadır. Bu düzenek sayesinde kayaç kesme özgül enerjisi ile galeri açma makinelerinin üretim oranları arasındaki ilişki saptanmıştır (Fowell 1973; McFeat-Smith and Fowell 1977; Gehring 1989; Neil vd. 1994; Bilgin vd. 1996; McFeat-Smith and Fowell 1976; Thuro and Plinninger 1999; Goktan and Gunes 2005McFeat-Smith and Fowell 1976; Fowell and Pycroft 1980; Fowell and Johnson 1982). Bu deney düzenekleri farklı araştırmacılar tarafından da kullanılarak kayaçlar arasında farklı ebatlar için benzer ilişkiler saptanmıştır (Dogruoz 2010; Keles 2005; Balci ve Bilgin 2005). Bu çalışmada farklı kil mineralleri üzerinde doğrusal kayaç kesme düzeneğinde elde edilen laboratuvar spesifik kesme enerjileri ile kaya mekanik test sonuçları üzerinde deneyler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar kullanılarak aralarındaki ilişkiler saptanmıştır. Testlerde kullanılan 9 farklı kil örneklerinden marn1 ve marn2, kiltaşı1 ve kiltaşı2 ve killikalker1 Seyitömer bölgesinden, diğerleri ise Çayırhan bölgesinden alınmıştır. Bu numuneler kil numuneleri olup, bünyelerinde bentonit içermektedir. Bu çalışmada sadece kil örnekleri incelenmiştir ve bentonit içeriklerine değinilmemiştir.

Çizelge 1'de Çayırhan ve Seyitömer bölgelerinden alınan kil minerallerinin laboratuvar spesifik enerjileri ve kaya mekanik parametreleri test sonuçları yer almaktadır. Bu çalışmada alınan kil örneklerinin tek eksenli basma dayanımı, brazilian çekme dayanımı, koni delici sertliği, shore sertliği, schmidt sertliği ve yoğunlukları ile doğrusal kesme düzeneğinde spesifik kesme enerjileri tayin edilmiştir ve aralarındaki ilişki yorumlanmıştır.

Şekil 2'de görüldüğü üzere kil örneklerinin tek eksenli basma dayanımı sonuçları ile brazilian çekme dayanımı sonuçları arasında çok yüksek bir ilişki olduğu gözlemlenmektedir. Aynı şekilde basma dayanımı ile koni delici sertliği arasında da yüksek bir ilişki mevcuttur. Diğer kaya mekanik testleri sonuçlarına bakıldığında çok yüksek olmasa da doğrusal bir bağıntı olduğu gözlemlenmektedir.

Çizelge 1. Kil mineralleri kaya mekanik ve spesifik enerji test sonuçları (Dogruoz vd., 2016; 2017)

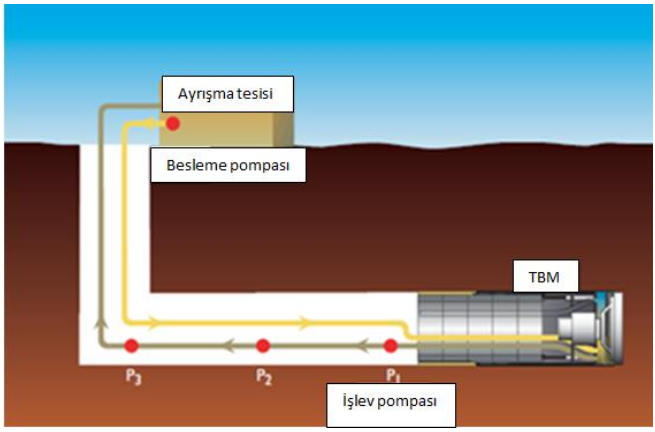
Kayaç Örneği	Basma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Koni Delici	Shore Sertliği	Schmidt Sertliği	Yoğunluk (gr/cm^3)	Spesifik Enerj (MJ/m^3)
Marn1	19,00	2,40	1,15	16,83	18,00	1,70	2,07
Marn2	6,31	1,64	0,67	7,50	18,24	1,24	2,18
Marn3	14,52	2,40	1,31	16,83	20,00	1,74	4,65
Kiltaşı1	26,37	3,75	1,49	27,50	41,25	1,95	7,28
Kiltaşı2	19,20	2,73	1,21	18,62	35,13	1,97	5,67
Kiltaşı3	13,00	1,61	0,50	6,80	20,80	1,42	1,44
Killikireçtaşı	5,77	1,32	0,60	21,60	25,04	1,02	2,36
Killikalker1	69,06	6,80	2,78	24,50	30,17	1,89	6,70
Killikalker2	62,58	6,16	2,52	31,50	39,17	1,72	10,19



Şekil 2. Kil minerallerinin basma dayanım sonuçları ile spesifik kesme enerjisi, çekme dayanımı, koni delici sertliği, shore, schmidth ve yoğunluk parametreleri arasındaki ilişki

4. TÜNEL AÇMADA KİLLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Tünel açma esnasında zemin iyileştirmede killerin kullanımı söz konusu olabilmektedir. Kil minerallerinden bentonit çamuru, kapalı bir sistem içerisinde tutularak boşaltma işleminden önce içerisindeki değerli atıkların mümkün olduğunca kurtarılması gerekmektedir. Zemin iyileştirici malzemeler, tünel açma makinesi kalkanlarına eklendiğinde genellikle kazılan malzeme içerisinde kalmaktadır. Bununla beraber tünelden çıkan malzeme, mühendislik veya peyzaj amaçlı kullanılabilmekte ya da atık olarak rehabilite edilmesi gerekebilmektedir. Buna ek olarak, tünel operatörleri, sağlığı tehlikeye atabilecek toksik ortamlarda çalışmak zorunda kalabilmektedirler. Bu nedenle, çıkan malzemenin toksik olmayan ve biyolojik olarak bozulabilir maddelerden seçilmesi gerekmektedir. Kil mineralleri bunlara örnek teşkil edebilmektedir. Tünel açma esnasında ortam havasının kalitesi, işçilerin sağlığını veya güvenliğini tehlikeye sokmamalıdır. Literatür çalışmaları incelendiğinde kil grubu minerallerin kullanımı ile çevresel kirliliklerin giderimi ve önlenmesi sağlanabilmektedir (Bradbury ve Baayens, 1997; 2002; Donat ve ark., 2005; Çinku ve ark., 2010). Şekil 3'de tünel açma esnasında kullanılan ayrışma tesisi, besleme pompası ve işlev pompası görülmektedir.



Şekil 3. Killi malzemenin hidro kalkanlı sistemde besleme ve emme işlemi

5. SONUÇLAR

Tünel açmada kazı esnasında kesici ucların aşınmasıyla kesme işlemi daha çok öğütme işlemine dönüşebilmektedir. Bu durum sedimanter kökenli kayaçlarda genelde aynı olmaktadır. Kil mineralleri de sedimanter kökenli olduklarından kesme performansına etkileri diğer tortul kayaçlarla benzer özellik göstermektedir. Bu çalışmada, 9 farklı kil

minerallerinin laboratuvar ortamında kesme spesifik enerjileri belirlenmiş olup 5 tanesi Seyitömer bölgesinden, 4 tanesi de Çayırhan bölgesinden temin edilmiştir. Ayrıca, tek eksenli basma dayanımı, brazilian çekme dayanımı, koni delici sertliği, shore sertliği, schmidt sertliği ve yoğunlukları da belirlenerek aralarındaki korelasyon incelenmiştir. Kil minerallerinin aralarındaki kesme ilişkilerinin bölgeden bölgeye çok büyük farklılık göstermediği görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek korelasyon katsayısı R^2=0,9797 olarak tek eksenli basma dayanımı ile brazilian çekme dayanımı arasında mevcut olduğu görülmüştür. Çevresel etkiler açısından, kazı esnasında zemin iyileştirme amacıyla kullanılan, suyu tutup şişme özelliği bulunan bentonit kilinin, işçilerin sağlığını ve toz etkisini azalttığı görülebilmektedir.

KAYNAKLAR

Balci C, Bilgin N (2005) Comparison of small and full scale rock cutting tests to select mechanized excavation machines. Istanbul Technical University, Mining Engineering Department

Bilgin N, Yazici S, Eskikaya S¸ (1996) A model to predict the performance of roadheaders and impact hammers in tunnel drivages. In: EUROCK'96, Torino, Italy, 2–5 Sept 1996,pp 710–721

Bradbury, M.H. ve Baeyens, B. (1997). A mechanistic description of Ni and Zn sorption on Na-montmorillonite Part II: modelling. J Contam Hydrol, 27, 223-248.

Bradbury M.H. ve Baeyens, B. (2002). Sorption of Eu on Na- and Ca-montmorillonites: Experimental investigations and modelling with cation exchange and surface complexation. Geochim Cosmochim Ac, 66, 13, 2325–2334

Borchardt, G.A., (1977), Montmorillonite and other smectite minerals, in Dixon, J.B., Weed, S.B., Kittrick, J.A., Milford, M.H., and White, J.L. (eds.), Minerals in soil environments, Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wis., p. 293-330.

Çinku K., Boylu, F., Duman, F. ve Çelik, M.S. (2010). Bentonitlerin zenginleştirme ve soda ile aktivasyonunda sudaki iyon varlığı ve miktarının ürün özellikleri üzerindeki etkisi. İ.Ü. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1, 9-18.

Daniel Castro-Fresno, Diana Movilla-Quesada, Ángel Vega-Zamanillo, Miguel A. Calzada-Pérez, (2011), "Lime Stabilization of bentonite sludge from tunnel boring", Applied clay science, pp. 250-257

Dogruoz, C.,Bolukbasi, N., Rostami, J., Acar, C., (2016), `An Experimental Study of Cutting Performances of Worn Picks`, Rock Mech Rock Eng, DOI 10.1007/s00603-015-0734-x

Dogruoz, C.,Rostami, J.,Keles., S., (2017), "Study of correlation between specific energy of cutting and physical properties of rock and prediction of excavation rate for lignite mines in Çayırhan Area, Turkey", Bulletin of Engineering Geology and the Environment, DOI 10.1007/s10064-017-1124-2

Dogruoz C (2010) Effect of pick blunting on cutting performance for weak–moderate rocks. Ph.D. thesis. Mining Engineering Department, Middle East Technical University, Ankara

Duarte, M.Á.P., (2007). Foam as a soil conditioner in tunnelling: physical and mechanical properties of conditioned sands, Doktora Tezi, Oxford Üniversitesi, Londra

Donat, R., Akdogan, A., Erdem, E. ve Cetisli, H. (2005). Thermodynamics of Pb^{2+} and Ni^{2+} adsorption onto natural bentonite from aqueous solutions. J Colloid Interf Sci, 286,1, 43-52.

Efnarc, (2005). Specification and guidelines for the use of specialist products for mechanised tunnelling in soft ground and hard rock, 45p, Surrey GU9 7EN, UK.

Fowell RJ, Pycroft AS (1980) Rock machinability studies for the assessment of selective tunnelling machine performance. In: Proc 21st Natl Rock Mechanics Symp, Rolla, MO, USA, 28–30 May 1980, pp 149–158

Fowell RJ, Pycroft AS (1982) Rock machineability studies for the assessment of the selective tunneling. Elsevier, Newcastle upon Tyne, pp 241–244

Fowell RJ (1973) Studies on the application of percussively activated tools to reef slotting in some South African quartzites. Ph.D. thesis. University of Newcastle upon Tyne, Newcastle upon Tyne

Fonseca, A. D., Gomes, A.T., (2011). A Tunnel collapse on the constructıon in metro do porto, *Solutıons for optımızatıon of advance control parameters of A EPB TBM*, XXV Konferencja Naukowo-Techniczna, Miedzyzdroje, 24-27 maja (Awarie budowlane 2011).

Gehring KH (1989) A cutting comparison. Tunn Tunn 21:27–30

McFeat-Smith I, Fowell RJ (1977) Correlation of rock properties and the cutting performance of tunnelling machines. Proc Conf on Rock Eng, Newcastle upon Tyne, UK, 4–7 April 1977, p 581

Keles S (2005) Cutting performance assessment of a medium weight roadheader at C¸ayırhan coal mine. M.Sc. thesis. Middle East Technical University, Ankara, p 58

McFeat-Smith I, Fowell RJ (1976) Factors influencing the cutting performance of a selective tunnelling machine. Proc Tunnelling Symp, 76. Department of Mining Engineering, University of Newcastle upon Tyne, Newcastle upon Tyne, p 301

Milligan, G. W. E, (2000). Lubrication and soil conditioning in tunnelling, pipe jacking and microtunnelling, *State-Of-The-Art Review, Geotechnical Consulting Group*, London, p46.

Neil DM, Rostami J, Ozdemir L, Gertsch R (1994) Production estimating techniques for underground mining using roadheaders. SME/AIME Annual Meeting, Albuquerque, NM, USA, 14–17 Feb 1994

Odom, I.E., (1986). Na/Ca montmorillonite: properties and uses. American colloid company manuscript.

Psomas, S., (2001). Properties of foam/sand mixtures for tunnelling applications, A thesis submitted for the degree of Master of Science to the Department of Engineering Science, St Hugh's College, the University of Oxford, Michaelmas, p150.

III

Ecofriendly Mineral Processing Methods and Applications

Çevre Dostu Cevher Hazırlama Yöntem ve Uygulamaları

BALIKESİR BALYA BÖLGESİ KURŞUN-ÇİNKO FLOTASYON ARTIKLARININ KARAKTERİZASYONU

CHARACTERIZATION OF BALIKESIR BALYA REGION LEAD-ZINC FLOTATION TAILINGS

İlgin KURŞUN, Orhan ÖZDEMİR, M. Faruk ESKİBALCI, MERT TERZİ*

İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Avcılar, ISTANBUL

*: Sorumlu Yazar: mert.terzi@istanbul.edu.tr

ÖZET: Günümüzde bakır, kurşun ve çinko gibi metallerin elde edildiği cevherler genellikle kompleks bir mineralojik yapı içerisinde bulunmaktadır. Bu cevherler aynı zamanda önemli miktarda altın, gümüş ve platin grubu soy metalleri de içermektedir. Bu metaller kompleks bakır, kurşun ve çinko sülfür cevherleri ile ilişkili olan zenginleştirme artıklarında da bulunmaktadır. Bu çalışmaya esas olan artık numuneleri Balıkesir, Balya bölgesinde faaliyet gösteren özel bir firmaya ait zenginleştirme tesisinden temin edilmiştir. Bu artıkların tekrar değerlendirilmesi kapsamında planlanacak olan zenginleştirme yöntemlerine ışık tutması ve başarısını arttırması için tesisten alınan numune üzerinde bir dizi karakterizasyon testleri yapılmıştır. Bu testler sırasıyla; fiziksel özelliklerin saptanması amacıyla yoğunluk ve tane boyut dağılımı ölçümleri, kimyasal özelliklerin saptanması amacıyla kimyasal analizler, mineralojik özelliklerin saptanması amacıyla X-Işını Kırınımı (XRD) kırınım deseni çekimi, tane boyut fraksiyonların optik mikroskop altında incelenmesi ve fotoğraflanması, taramalı elektron mikroskobunda (SEM) numunenin analizi, elektrokinetik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla pH profilinin ölçülmesidir. Yapılan çalışmalar neticesinde numunenin cevher zenginleştirme yöntemlerine esas fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerinin belirlenerek, hem flotasyonla kazanılamamış kurşun minerallerindeki kurşun içeriklerinin değerlendirilmesi, hem de artıklardaki sülfürlü minerallerin geri kazanımı sonucunda artıkların asit maden drenajı yaratma olasılığının ve buna bağlı

çevresel etkilerin azaltılmasına katkıda bulunacak zenginleştirme yöntemlerinin belirlenmesine temel verilerin ortaya konulması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kurşun, Çinko, Artık, Karakterizasyon

ABSTRACT: *Today, metals such as copper, lead, and zinc are usually found in a complex mineralogical structure. These ores also contain significant quantities of gold, silver, and platinum group noble metals. These metals are usually found in processing tailings associated with complex ores of copper, lead, and zinc sulfides. The samples which are essential for this study were obtained from the enrichment facility of a private company operating in the Balya region, Balıkesir. A series of characterization tests were performed on the sample taken from the plant in order to increase success of the enrichment methods to be planned for recovery of valuable metals from these tailings. In the context of characterization test; physical, chemical, mineralogical, and electro-kinetic properties of the sample were investigated by density, particle size distribution measurements, chemical analyses, XRD diffraction pattern analysis, mineralogical examination, photographing and SEM analysis, and pH profile measurement. As a result of these studies, providing the fundamental data in order to identify the enrichment methods, not only for the evaluation of the lead contents in untreated lead minerals which previously unrecovered with flotation method but also for the possible prevention of waste acid mine drainage that contribute to the reduction of the environmental impacts as a result of recovery of sulfuric minerals in wastes, by using the physical, chemical, and mineralogical properties of the sample were aimed.*

Keywords: *Lead, Zinc, Tailing, Characterization*

1. GİRİŞ

Kurşun ve çinko eski çağlardan itibaren endüstride en çok ihtiyaç duyulan metaller arasında yer almışlardır. Kurşun-çinko madenciliği ve metalurjisi dünya çapında büyük bir sanayi kolu olup, toplam kurşun metal üretimi; çelik, alüminyum, bakır ve çinkodan sonra beşinci sırada yer almaktadır (Uçurum, 2004; Aykaç, 2006; Öztürk 2010; Özdemir 2014).

Kurşun, atom numarası 82, atom ağırlığı 207,19 gr/mol olup periyodik cetvelde IVA grubunda bulunur. Kurşun, bariz bir mavilik arz eden gümüş görünümünde parlak bir metaldir. Yoğunluğu en yüksek olan metallerden biri olup, 16^{o}C'deki yoğunluğu

11,34 gr/cm^3'dür. Yumuşak, kolaylıkla dövülebilen, kesilebilen ve tel haline getirilebilen bir metaldir. Kurşun, yumuşaklık ve işlenme kolaylığı, yüksek özgül ağırlığı, yüksek kaynama noktası, düşük ergime noktası, aşınmaya karşı direnci, enerji absorbsiyonu ve kısa dalga ışınları geçirmeme gibi özellikleri dolayısıyla geniş kullanım alanına sahiptir. Kurşun genellikle diğer metalik elementlerle birlikte kullanılır. Doğada 130'dan fazla kurşun minerali bulunmaktadır. Başlıca kurşun mineralleri, galen (PbS), seruzit ($PbCO_3$), anglezit ($PbSO_4$), jamesonit ($PB_5FeSb_6S_{14}$), jordanit ($Pb_4As_2S_7$), bulanjerit ($Pb_5Sb_4S_{11}$), piromorfit ($Pb_5CI(PO_4)_3$), mimetit ($Pb_5CI(AsO_4)_3$) ve vulfenittir ($PbMoO_4$). Ekonomik olarak işletilmekte olan yataklarda en çok bulunan kurşun minerali galen olup, genellikle çinko, bakır, gümüş, altın ve demir mineraliyle birlikte bulunur (Nunez vd., 1990; Ateşok 1991; Yüce 1998; Turan, 2002; Aykaç, 2006; Mütevellioğlu 2007; Kurşun vd. 2008; Zárate-Gutiérrez vd. 2010).

Çinko, IIB grubunda bulunan, atom ağırlığı 65,39 g/mol ve atom numarası 30 olan gümüş renkli bir metaldir. Düşük kaynama sıcaklığı dikkat çekicidir. Bu değer özellikle pirometalurjik metal üretiminde çok belirleyici bir etmendir. Dökülmüş halde sert ve kırılgandır. 120^oC'de şekillendirilebilir. Bileşikleri arasında çinko oksitin teknik ve ekonomik değeri vardır. Organik bileşikleri arasında çinko sabunu en önemli kullanıma sahiptir. Kimyasal yönden aktif olması ve diğer metallerle kolayca alaşım yapılabilmesi nedeniyle çinko endüstride, ana maddesi çinko olan alaşımların ve bileşiklerin üretiminde kullanılmaktadır. Kuvvetli elektropozitif özelliğinden dolayı diğer metallerin özellikle demir-çelik ürünlerinin aşınmaya karşı korunmasında kullanılmaktadır. Çinkonun 50'den fazla minerali bilinmektedir. Çinko ürtimine en büyük katkıyı sağlayan en önemli minerali sfalerittir (çinko blend: ZnS). Bunun dışındaki ticari değer taşıyan çinko mineralleri ise smitsonit ($ZnCO_3$), zinkit (ZnO), villemit (Zn_2SiO_4), franklinit (Fe, Zn, Mn)O.$(Fe, Mn)_2O_3$ ve hemimorfittir ($H_2Zn_2SiO_5$) (Ateşok 1991; DPT, 2001; Öztürk 2010; Karadeniz 2011; Yurten 2011; Oğuz, 2014).

Günümüzde dünya kurşun gereksinimi birincil kaynaklardan, önemli bir miktarda geri dönüşümden karşılanmaktadır. Kurşun ve çinkonun en eski metallerden olduğu ve çok eski çağlarda kurşun üretiminde elle ayıklama işlemi ürünlerinin izabe edildiği bilinmektedir. İlk ve ortaçağda insanların harp sanayii ve gümüş üretimi ile birlikte sürdürdüğü kurşun madenciliği cevher zenginleştirme yöntemlerinin gelişmesine büyük olanak sağlamıştır. Yüksek tenörlü cevherlerin işlenerek bitmesi ile

birlikte, daha düşük tenörlü, fakat büyük rezervli yatakların değerlendirilmek istenmesiyle cevher zenginleştirmede de gelişmeler artmıştır. Özellikle gravite ve flotasyon yöntemlerinin gelişmesiyle kurşun-çinko zenginleştirilmesinde büyük kolaylıklar sağlanmıştır (Ateşok 1991; Bulut, 1991; Ahi 1994; Çilingir 1996; Avcı 2010; Yıldız 2015).

Bu çalışma kapsamında Balıkesir Balya bölgesi kurşun-çinko flotasyon tesisi artıklarından oluşan numuneler üzerinde; fiziksel özelliklerin saptanması amacıyla yoğunluk ve tane boyut dağılımı deneyleri, kimyasal özelliklerin saptanması amacıyla kimyasal analizler, mineralojik özelliklerin saptanması amacıyla XRD analizi, fraksiyonların optik mikroskop altında incelenmesi, fotoğraflanması ve SEM analizi, elektrokinetik özelliklerin saptanması amacıyla da pH profilinin ölçülmesi olmak üzere bir dizi karakterizasyon çalışması yapılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmaya esas olan artık numuneleri Balya bölgesinde faaliyet gösteren özel bir firmaya ait zenginleştirme tesisinden temin edilmiştir. Tesiste yılda yaklaşık 1.300.000 ton proses artığı meydana gelmekte ve bunlar atık barajında stoklanmaktadır. Tesis filtrasyon çıkışından yaklaşık %20 nem içeriği ile çıkan flotasyon artık numuneleri vardiya boyunca periyodik olarak alınarak plastik variller içerisinde biriktirilmiş ve deneysel çalışmaların yapılacağı İ.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Zenginleştirme Laboratuarına nakledilmiştir. Elementer analizler ve yoğunluk deneyleri için numune hazırlamada agat havan, tane boyut analizlerinde ise yaş eleme yöntemi kullanılmıştır. Numunelerin yoğunluklarının belirlenmesi amacıyla, 50 ml'lik piknometreler ve distile su kullanılarak yoğunluk analizleri yapılmıştır. Numunenin element içeriklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan komple kimyasal analizi kapsamında; majör oksitlerin ve çeşitli minör elementlerin toplam içerikleri, 0,2 gr örnek üzerinde gerçekleştirilen ICP-ES (emisyon spektrometrisi) analizi, akabindeki lityum metaborat/tetraborat füzyonu ve seyreltik nitrik çözündürme işlemleri sonucu belirlenmiş ve raporlanmıştır. Kızdırma kaybı ise numunenin 1000^{o}C'ye ısıtılması sonrasında hesaplanan ağırlık değişimi ile bulunmuştur. Cevherinin mineralojik özellikleri hakkında bilgi edinilmesi amacıyla gerçekleştirilen XRD analizlerinde cevherleşmenin içindeki XRD dedeksiyon limitleri altında olan veya maskelenen diğer

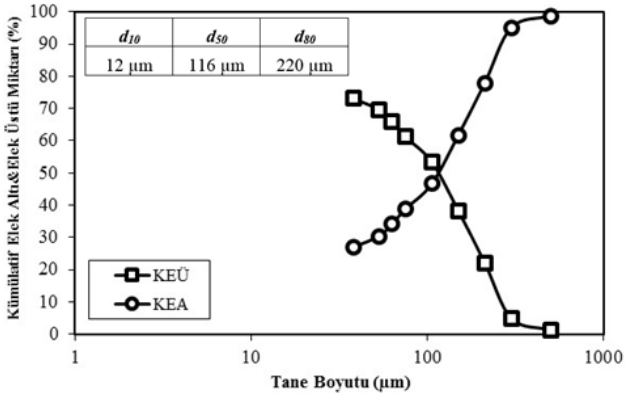
mineralleri de gözlemleyebilmek için boyuta bağlı olarak optik mikroskop fotoğrafları çekilmiş ve ayrıca numunenin SEM analizleri de gerçekleştirilmiştir. Kurşun-çinko numunesinin pH profilini elde etmek amacıyla -38 µm tane boyutunda malzeme ve ultra saf su kullanılarak %1 katı oranında asidik ortam için 0,1 M HCl ve alkali ortam için de 0,1 M NaOH ile hazırlanan süspansiyonlar, bir beher içerisinde manyetik karıştırıcı ile 500 dev/dak hızda karıştırılmış ve bu işlem esnasında belirli periyotlarla süspansiyonların pH değerleri okunmuştur.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Numunelerin Fiziksel Özellikleri

3.1.1 Tane boyut analizi

Tesis filtrasyon çıkışından alınan numunenin tane boyut dağılımını tespit etmek için temsili olarak azaltılan örnek üzerinde yaş elek analizi yapılmıştır. Şekil 1'deki elek analizi sonuçları incelendiğinde numunenin d_{80} boyutunun 220 µm, d_{50} boyutunun 116 µm ve d_{10} boyutunun 12 µm olduğu tespit edilmiştir. Numunenin mevcut tane boyut dağılımı gravite, flotasyon ve kimyasal çözündürme (liç) gibi birçok konvansiyonel cevher zenginleştirme yöntemi açısından uygulanabilir sınırlar içerisinde olmakla beraber, liç kinetiği açısından gerekli olması durumunda yeniden öğütme ile optimizasyonu da gerektirebilecek bir aralıktadır.



Şekil 1. Numunenin tane boyut analiz sonucu

3.1.2 Yoğunluk tayini

Tesisten getirilen numuneden alınan temsili örnek üzerinde piknometre ile yapılan yoğunluk analizleri sonucu numunenin ortalama yoğunluğunun 3,29 g/cm^3 olduğu tespit

edilmiştir. Yüksek gang içeriğine işaret eden bu bulgu artıkların mineralojik kompozisyonlarını desteklemektedir.

3.2 Kimyasal Özellikler

Balya kurşun çinko flotasyon artık numunesinin komple kimyasal analizi sonucunda temel oksitler, baz metaller ve iz elementlerin içerikleri belirlenmiştir. Analizler ICP-ES (emisyon spektrometrisi yöntemi ile Kanada'daki ACME Laboratuarları'nda gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Yapılan analiz sonuçları incelendiğinde numunenin özellikle yüksek miktarlarda; 1500,10 ppm Pb, 1548,00 ppm Zn, 427,00 ppm As ve 4,00 ppm Ag içerdiği belirlenmiştir. Bu elementler arasından Ag, Pb ve Zn potansiyel geri kazanabilir içerikler olarak göze çarpmakla beraber, önemli bir toksik metal olan As içeriğinin ise artıkların çevresel etkilerinin azaltılması noktasında hedef olabilecek bir konsantrasyona sahip olduğu söylenebilmektedir.

Çizelge 1. Pb-Zn katı prosses artığının elementel analiz sonuçları

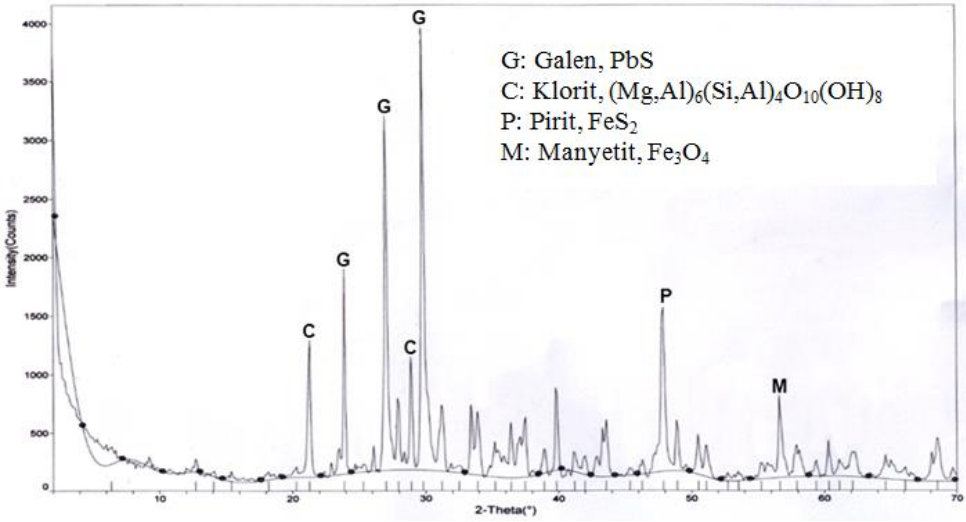
Element		Element		Element	
SiO_2 (%)	36,2	Y (ppm)	17,2	Hf (ppm)	1,20
Al_2O_3 (%)	8,08	La (ppm)	30,4	Nb (ppm)	5,30
Fe_2O_3(%)	13,6	Ce (ppm)	52,0	Rb (ppm)	76,4
MgO (%)	2,54	Pr (ppm)	6,00	Sn (ppm)	11,0
CaO (%)	23,3	Nd (ppm)	20,9	Sr (ppm)	191,3
Na_2O (%)	0,20	Sm (ppm)	3,86	Ta (ppm)	0,40
K_2O (%)	2,45	Eu (ppm)	0,99	Th (ppm)	9,00
TiO_2 (%)	0,29	Gd (ppm)	3,37	U (ppm)	5,30
P_2O_5 (%)	0,08	Tb (ppm)	0,54	V(ppm)	62,0
MnO (%)	0,38	Dy (ppm)	2,87	W (ppm)	44,6
Cr_2O_3 (%)	0,01	Ho (ppm)	0,55	Zr (ppm)	76,8
Ni (ppm)	27,6	Er (ppm)	1,62	Pb (ppm)	1500
Sc (ppm)	7,00	Tm (ppm)	0,27	Zn (ppm)	1548
Ba (ppm)	29,0	Yb (ppm)	1,58	As (ppm)	427
Be (ppm)	1,00	Lu (ppm)	0,23	Cd (ppm)	8,20
Co (ppm)	15,7	Mo (ppm)	4,60	Sb (ppm)	23,6
Se (ppm)	3,00	Cu (ppm)	187	Bi (ppm)	26,5
Tl (ppm)	1,40	Hg (ppm)	0,37	Ag (ppm)	4,00
				Au (ppb)	<0,10

3.3 Mineralojik Özellikler

3.3.1 XRD kırınım deseni

Numunenin mineralojik yapısının belirlenmesi XRD analiz metodu ile İstanbul Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda yapılmıştır. XRD analizleri sonucunda numunenin yüksek oranda manyetit ve galen içerdiği belirlenmiştir. Bunların dışında

tetraedrit, albit, kalsit, pirit, kuvars ve dolomit minerallerinin de bulunduğu belirlenmiştir. Numunenin XRD analiz sonuçları Şekil 2'de verilmiştir.

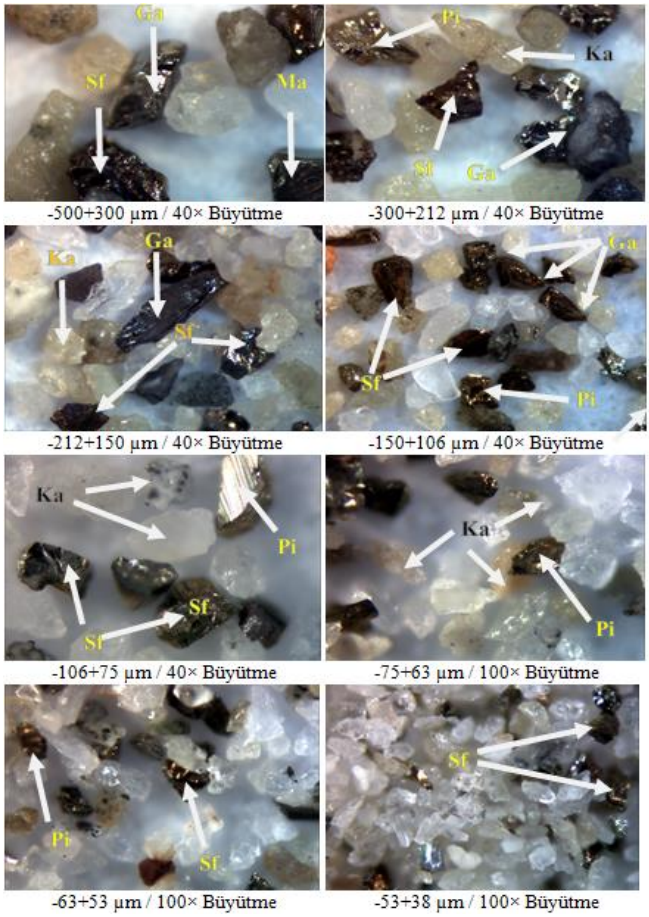


Şekil 2. Kurşun-çinko numunesinin XRD kırınım deseni

3.3.2 Optik mikroskop inceleme sonuçları

Elek analizi sonucunda elde edilen her bir fraksiyon, mineral kompozisyonlarının belirlenmesi amacıyla optik mikroskop altında incelenmiş ve fotoğraflanmıştır. Çekilen fotoğraflar Şekil 3'de verilmiştir. Galen ve sfalerit minerallerine daha çok iri boyutlarda (+300 µm, +212 µm, +150 µm ve +106 µm) rastlanırken, kalsit ve pirit mineraline ise daha ince boyutlara (-150 µm) inildikçe rastlanmıştır.

Optik incelemeler sonucu elde edilen bu bulgular numunenin sadece ince bir tane boyut fraksiyonundan kesilmesi durumunda bile kurşun ve çinko mineralleri açısından fraksiyonel bir zenginleşmenin sağlanabileceğine işaret etmektedir. Bununla beraber numune bünyesindeki ağır cevher minerallerinin nispeten iri boyutlarda ve serbest halde bulunması da böyle bir fraksiyonel ayrım sonrasında gravite ayrımı yönteminin potansiyel olarak incelenmesinin gerekliliğini göstermektedir.

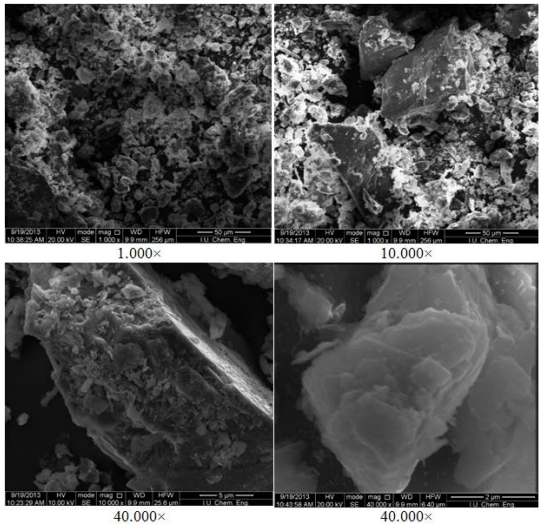


Sf: sfalerit, Ga: galen, Pi: pirit, Ka: kalsit. Ma: manyetit

Şekil 3. Elek fraksiyonlarının mikroskop fotoğrafları

3.3.3 SEM analizi

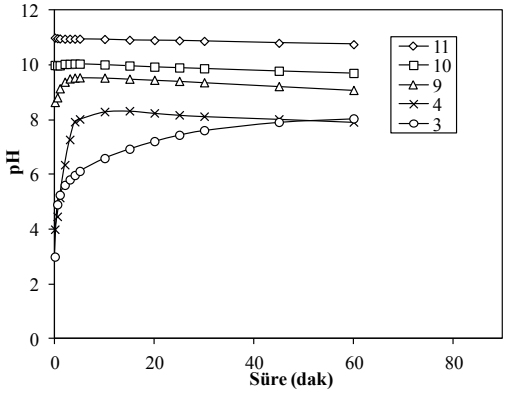
Numunenin SEM görüntülerinin incelenmesi İstanbul Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümünde bulunan Quanta FEG 450 SEM cihazında gerçekleştirilmiştir. Numuneye ait elde edilen görüntüler Şekil 4'de verilmiştir. Görüntülerin incelenmesi sonucunda numuneyi oluşturan partiküllerin 1-500 µm gibi çok geniş bir skalada dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Nispeten iri boyutlarda kalan galen, sfalerit ve pirit minerallerinin yüzeylerinin ise genellikle çok ince kalsit, dolomit ve albit taneleri ile yer yer sıvandığı gözlenmiştir. Bu durum numunedeki potansiyel içeriklerin zenginleştirimesinde kimyasal çözündürme yöntemleri haricinde uygulanabilecek neredeyse tüm zenginleştirme proseslerinde bir şlam uzaklaştırma kademesine ihtiyaç duyulma ihtimaline işaret etmektedir.



Şekil 4. SEM analizleri

3.4 Numunenin pH Profili

Numunenin farklı başlangıç pH'larında pH profilleri Şekil 5'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde asidik ortamın pH'sının yükselerek bir süre sonra tampon bir pH bölgesi oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgu hem kimyasal ve mineralojik incelemeler sonucunda berlilenen potansiyel geri kazanılabilir içeriklerin flotasyon ve liç gibi ortamın pH dengesi açısından hassas yöntemler ile zenginleştirmesi durumunda özellikle süreye bağlı işlemlerde hassas kontrol gerekliliğini, hem de artıkların ortamın pH değerini alkali bölgeye çekme potansiyeli ile asit maden drenajı oluşturmama açısından avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 5. Numunenin pH profilleri

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, kurşun çinko zenginleştirme tesisi artıklarının yeniden değerlendirilmesi işlemlerinde kullanılacak olan yöntemlerin başarısını arttırmak için numunenin fiziksel, kimyasal, mineralojik ve elektrokinetik özelliklerinin saptanması amacıyla bir dizi karakterizasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Numuneler temsili olarak azaltıldıktan sonra boyut analizine tabi tutulmuş ve kümülatif elek altı–elek üstü sonuçlarından yaş eleme sonucu malzemenin d_{10} boyutu 12 µm, d_{50} boyutu 116 µm ve d_{80} boyutu 220 µm olarak bulunmuştur.

Numunelerin yoğunluklarının belirlenmesi amacıyla piknometre ile yapılan yoğunluk analizleri sonucunda flotasyon artığı numunesinin ortalama yoğunluğu 3,29 gr/cm^3 olarak tespit edilmiştir.

Numunenin komple kimyasal analizi sonucunda temel oksitler, baz metaller ve iz elementlerin içerikleri belirlenmiş ve yapılan analizler sonucunda numunede özellikle yüksek içerikler olarak; 1500,10 ppm Pb, 1548,00 ppm Zn, 427,00 ppm As ve 4,00 ppm Ag olduğu saptanmıştır.

XRD analizi sonucunda numunenin yüksek oranda manyetit ve galen içerdiği belirlenmiş, bunların dışında tetraedrit, albit, kalsit, pirit, kuvars ve dolomit minerallerinin de bulunduğu görülmüştür.

Elek analizi sonucunda elde edilen fraksiyonlar mineral kompozisyonlarının belirlenmesi amacıyla yapılan optik mikroskop analizi sonuçlarına göre, galen ve sfalerit minerallerine daha çok iri boyutlarda (+300, µm +212 µm, +150 µm, ve +106 µm), kalsit ve pirite ise ince boyutlara (-150 µm) inildikçe rastlanmıştır.

Numunenin SEM görüntülerinin incelenmesi sonucunda numuneyi oluşturan partiküllerin 1-500 µm gibi çok geniş bir skalada dağılım gösterdiği belirlenmiş, nispeten iri boyutlarda kalan galen, sfalerit ve pirit minerallerinin yüzeylerinin genellikle çok ince kalsit, dolomit ve albit taneleri ile yer yer sıvandığı gözlenmiştir.

Numunenin pH ölçümleri sonucunda numunenin özellikle asidik ortamın pH'nın kendi pH'sına nispeten kısa bir sürede yaklaştırarak tampon bir pH bölgesi oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak yapılan karakterizasyon çalışmaları neticesinde numunenin cevher zenginleştirme yöntemlerine esas fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerinin belirlenmiş, bu sayede hem flotasyonla kazanılamamış kurşun minerallerindeki kurşun

içeriklerinin değerlendirilmesi, hem de artıklardaki sülfürlü minerallerin geri kazanımı sonucunda artıkların asit maden drenajı yaratma olasılığının ve buna bağlı çevresel etkilerin azaltılmasına katkıda bulunacak zenginleştirme yöntemlerinin belirlenmesine temel veriler ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

Ahi A. K., 1994. Bakırlı kurşun-çinko ham cevherinin 500 ton/gün kapasiteli flotasyon tesisinde zenginleştirilmesinin maliyet ve teknolojik etüdü, Dokuz Eylül Üniversitesi, Bitirme Projesi, İzmir.

Ateşok G., 1991. Balya flotasyon atıklarının klasik flotasyon ve kolon flotasyonu ile zenginleştirilmesinin karşılaştırılması etüdü, İTÜ Maden Fakültesi.

Avcı S. B., 2010. Balya yeraltı kurşun-çinko işletmesi teknik ofis maden mühendisi eğitim raporu, Eczacıbaşı Esan Endüstriyel Hammaddeler San. Tic. A. Ş.

Aykaç, Y., 2006. Oksit-sülfür karışımlı kurşun-çinko cevherlerinin flotasyon artıklarından hidrometalurjik yöntemlerle çinko kazanılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Bulut, G., 1991. Balıkesir-Balya yöresi kurşun-çinko artıklarının değerlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Çilingir Y., 1996. Metalik cevherler ve zenginleştirme yöntemleri, Cilt I

DPT, 2001. Metal madenler alt komisyonu kurşun-çinko-kadmiyum çalışma grubu raporu, madencilik özel ihtisas komisyonu raporu, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Raporu, Ankara.

Karadeniz, M., 2011. Balıkesir-Balya kurşun-çinko madeni flotasyon artıklarının asit maden drenajı oluşum potansiyelinin derinlikle değişiminin araştırılması, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.

Kurşun, İ., Kahriman, A., Demir, İ., Turgut, S., 2008. Türkiye kurşun çinko madenciliğinin genel bir değerlendirmesi, Türkiye Kurşun Çinko Yataklarının Jeolojisi, Madenciliği ve Mevcut Sorunları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Sf:366-379, 14-16 Ocak 2008, İstanbul.

Mütevellioğlu, N.A., 2007. Oksitli kurşun-çinko cevherinin değişik reaktiflerle ve koşullarda flotasyon ile zenginleştirilmesi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sivas.

Nunez C., Espiell F., Garcia Zayas J., 1990. Kinetics of galena leaching in hydrochloric acid-chloride solutions.

Oğuz, M., 2014. Esan Eczacıbaşı Balıkesir-Balya yöresi kurşun-çinko flotasyon atıklarının değerlendirilmesi, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Lisans Tezi, İstanbul.

Özdemir, E., 2014. Oksitlenmiş kompleks bakır-kurşun-çinko cevherinin flotasyonu, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Öztürk, E., 2010. Çanakkale Yenice kalkım çinko kurşun bakır cevherinin selektif flotasyon koşullarının ve kurşunun sodyum metabisülfit ile bastırılmasının araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

Turan, M., 2002. Çinko ekstraksiyon artığından çinko ve kurşunun geri kazanılması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.

Uçurum, M., 2004. Kurşun-çinko cevherlerinin kolon flotasyonu ile zenginleştirilmesinin araştırılması, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana.

Yıldız N., 2015. Minerallerin zenginleştirilmesi, Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme 2. Cilt.

Yurten, M., 2011. Çinko ekstraksiyon atığı döer filtre kekinden NaOH liçi ile kurşun-çinko kazanımı, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.

Yüce, E.A., 1998, Türkiye kurşun envanteri, İstanbul Maden ve Metaller İhracatçıları Birliği Yayınları (İMİB).

Zárate-Gutiérrez R., Lapidus G. T., Morales R. D., 2010, Pressure leaching of a lead–zinc–silver concentrate with nitric acid at moderate temperatures between 130 and 170 °C.

TUĞLA KİLİ ÜZERİNDE KURŞUN VE NİKEL ADSORPSİYONU
ADSORPTION OF LEAD AND NICKEL ON BRICK CLAY

Ayşe Dilek ATASOY*, Aşkın Zuhal ÇELİK

Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: adilekatasoy@hotmail.com

ÖZET: Asidik maden drenaj sularından kaynaklanan ağır metal kirliliği önemli bir çevresel sorundur. Maden sahalarından sızan sularda bulunan metal bileşikleri göl, nehir, yeraltı suları gibi alıcı ortamları kirletir ve sedimentlerde birikir. Sulardaki ağır metal kirliliği kimyasal ve biyolojik yöntemlerle kolay giderilememektedir. Bu çalışmada insan sağlığı açısından büyük sorunlar oluşturan kurşun (Pb^{+2}) ve nikelin (Ni^{+2}); tuğla üretiminde kullanılan ve Islahiye'de bulunan yerel bir kil üzerindeki adsorpsiyonu araştırılmıştır. Islahiye tuğla kili özellikle düşük maliyetli, bol ve kolay elde edilebilen bir malzeme olması yönüyle tercih edilmiştir. Kesikli (batch) adsorpsiyon denemeleri ile yürütülen çalışmada, adorpsiyon süresi, adsorban dozajı, başlangıç metal derişimi ve pH gibi faktörlerin etkileri incelenmiştir. Tuğla kili üzerinde Pb^{+2} 40 dk'da, Ni^{+2} ise 4 saatte adsorpsiyon dengesine ulaşmıştır. Dengeye ulaşıldığı anda Pb^{+2} adsorpsiyon oranı % 98.65, Ni^{+2} adsorpsiyon oran ise % 45.89 olarak gerçekleşmiştir. Kurşun ve nikel adsorpsiyon yüzdeleri, adsorban dozunun artmasıyla yükselmiştir. Kurşun adsorpsiyon oranında pH nın artması ile önemli bir değişiklik olmamış ancak nikel adsorpsiyonunda pH değerinin artması ile adsorpsiyonda artış kaydedilmiştir. Kurşun ve nikel adsorpsiyonu Freundlich ve Langmuir izotermleri ile uyum sağlamıştır. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi kurşun için 25.062 mg/g, nikel için 1,029 mg/g olarak bulunmuştur. Tuğla kilinin kurşunu nikele göre daha iyi adsorbe ettiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Maden drenajı, Su kirliliği, Ağır metal, Arıtım, Adsorpsiyon

ABSTRACT: *Heavy metal contamination from acidic mine drainage water is an important environmental pollution. The metal compounds in drainage water leaking from the minefields contaminate the natural water resources such as lakes, rivers, ground waters and accumulate in the sediments. Heavy metal contamination in water is*

not easily removed by means of chemical and biological methods. Adsorption of lead (Pb^{+2}) and nickel (Ni^{+2}) which have negative effects on the human health was investigated on a local brick clay from Islahiye. Islahiye brick clay was preferred because of its low cost, abundance and easy availability characteristics. In the study carried out with batch adsorption experiments, adsorption time, adsorbent dosage, initial metal concentration and pH effects were investigated. Adsorption of lead and nickel on the brick clay took 40 minutes and 4 hours to reach equilibrium, respectively. By the time equilibrium was reached, Pb+2 and Ni+2 adsorption efficiencies were found to be 98.65% and 45.89%, respectively. Adsorption percentages of lead and nickel increased with the increasing dose of adsorbent. There was no significant change in lead adsorption rate when the pH was increased but the rate increased with increasing pH value in nickel adsorption. Lead and nickel adsorption fitted with Freundlich and Langmuir isotherms. The maximum adsorption capacity on brick clay was found to be 25.062 and 1.029 mg/g for lead and nickel, respectively. The studies have proven that, adsorption of lead on clay brick was found higher than nickel adsorption.

Keywords: *Mine drainage, Water contamination, Heavy metal, Treatment, Adsorption*

1. GİRİŞ

1.1 Madencilik faaliyetleri ve ağır metaller

Madencilik aktiviteleri yüksek konsantrasyonlarda metal içeren asidik maden sızıntı sularının (AMS) oluşmasına yol açmaktadır. Kükürt içeren minerallerin bünyesinde bulunan metal ve kükürt oksitlenerek yüksek metal ve sülfat içeren düşük pH değerlerine sahip asidik maden sızıntı sularını (AMS) oluşturur. AMS, hava ve suyun kükürt içeren minerallerle (özellikle de pirit (FeS_2)) teması sonucunda meydana gelir. Bu sular deşarj edildikleri alıcı ortamlarda ciddi çevresel problemlere neden olmaktadır. AMS oluşumu, koşullar uygun olduğu sürece maden ocağının kapatılmasından sonra onlarca hatta yüzlerce yıl devam etmektedir (Şahinkaya vd., 2009).

Koşullara bağlı olarak oluşan AMS çok farklı ağır metal konsantrasyonlarına (Cu, Fe, Ni, Zn, Al, Pb, Cd gibi) sahip olabilir. Çünkü AMS içeriği fiziksel, kimyasal, minerolojik ve mikrobiyolojik özelliklere bağlı olup, bölgeden bölgeye değişiklik gösterir. Fiziksel özellikler; atık materyalin boyutu, yoğunluğu ve kaynağı ile bölgenin

hidrojeolojik özellikleriyle de yakından ilgilidir. Ayrıca maden işletmesinin tipi (kömür, metal ya da uranyum madeni olması) AMS kompozisyonunu önemli derecede etkiler (Kuyucak, 2002).

Ağır metaller, suda düşük konsantrasyonlarda bulunmaları durumunda bile çeşitli hastalıklara ve hatta ölümlere yol açabilmektedir. Ağır metallerin önemli bir kirletici grubu oluşturdukları bilinmektedir. Bunların toksik ve kanserojen etkileri olduğu gibi, canlı organizmalarda birikme eğilimi (biyobirikim) de söz konusudur. Bileşiklerin, vücuda alınmaları ve depolanması, metabolize edilmelerinden veya atılmalarından daha hızlıdır (Freedman, 1995). Ağır metaller, biyolojik proseslere katılma derecelerine göre yaşamsal ve yaşamsal olmayan olmak üzere ikiye ayrılırlar. Yaşamsal olarak tanımlanan ağır metallerin, biyolojik reaksiyonlara katıldıkları için organizma yapısında belirli bir miktarda bulunmaları gereklidir ve düzenli olarak besinler yoluyla alınmaları zorunludur. Yaşamsal olmayan ağır metaller ise düşük konsantrasyonlarda bile çeşitli sağlık problemlerine yol açabilmektedir (Siegel, 2002).

Ağır metaller, bilinen klasik arıtım süreçleri ile yeterli düzeyde arıtılamamakta, etkili bir arıtım ise ilgili endüstri kuruluşlarına oldukça pahalıya mal olmaktadır. Bu nedenle, günümüzde birçok endüstriyel kuruluşun önemli bir sorunu olan ağır metallerin gideriminde; ekonomik yönden ucuz, pratik ve uygulamalarda kolaylık sağlayacak arıtım süreçlerine yönelik bilimsel araştırmalar yapılmaktadır.

Adsorpsiyon, sulardan ağır metal giderme işlemleri arasında önemli yer tutmaktadır ve hızlı sonuç vermesi, tekrarlanabilirliği ve kolay uygulanabilirliği ile tercih edilen yöntemlerden birisidir. Ancak, bu yöntemin verimli bir şekilde kullanılabilmesi için adsorban olarak seçilen materyalin ucuz ve etkin olması özel bir önem taşımaktadır. Ağır metal adsorpsiyonunda birçok etkili adsorban ile çalışılmıştır. Tümsek ve ark. (2012), bentonit, sepiyolit ve zeolit üzerinde nikel adsorpsiyonunu araştırmışlar, Dönmez (2006) ise fosfat kayası, klinoptilolit ve perlit üzerinde kurşun adsorpsiyonunu incelemişlerdir.

Bu çalışmanın amacı; bölgede bol bulunan, ucuz ve kolay elde edilebilir bir malzeme olan ve tuğla üretiminde kullanılan Islahiye kilinden faydalanarak sulardan adsorpsiyon ile kurşun (Pb) ve nikel (Ni) giderimini araştırmaktır. Bu kapsamda, adsorban dozu, çalkalama süresi, ağır metal konsantrasyonu, pH ve sıcaklık gibi faktörlerin Pb ve Ni adsorpsiyonu üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmada adsorban materyal olarak kullanılan kilden tuğla imalatında hammadde olarak yararlanılmakta olup; kil, Gaziantep ili İslahiye ilçesi Türkbahçe Köyü'nde faaliyet gösteren İstuk Tuğla Kiremit San. ve Tic. A.Ş. tarafından işletilen bir kil ocağından temin edilmiştir. İslahiye tuğla kilinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. İslahiye tuğla kili kimyasal kompozisyonu

İslahiye Tuğla Kili	
İçerik	**Konsant.%**
SiO_2	51,96
Al_2O_3	22,08
Fe_2O_3	10,65
MgO	2,60
CaO	6,90
Na_2O	0,46
K_2O	2,97
TiO_2	2,68
Toplam	100

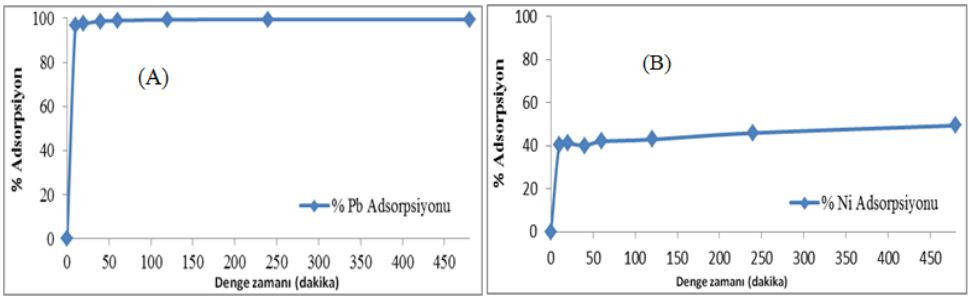
Pb ve Ni çözeltileri (100 mg/L), $Pb(NO_3)_2$ (0.16 g) ve $Ni(NO_3)_2.6H_2O$ (0.5 g) ile hazırlanmıştır. Saf su ile litreye tamamlanan çözeltiler daha sonra istenilen konsantrasyonlarda seyreltilmiştir. Adsorpsiyon testleri kesikli yöntem (Batch metodu) ile yürütülmüştür. İşlemler sırasında 50 mL'lik polipropilen tüpler kullanılmıştır.

Dengeye ulaşma sürelerinin tahmini için yapılan zamana bağlı kinetik çalışmalarda adsorban dozu 10 g/L ve Pb ve Ni başlangıç konsantrasyonu 100 mg/L seçilmiştir. 25 ml çözelti ile çalışılmıştır (0.25 g adsorban/25 mL çözelti). Öncelikle kinetik testler yapılmıştır. Çalkalama süreleri 10 dk, 20 dk, 40 dk, 60 dk, 2 saat, 4 saat, 8 saat, 24 saat olarak belirlenmiştir. Her saat için 1 numune, 1 blank, 1 kontrol olmak üzere (blank kurşun ve nikel içermeyen, kontrol kil içermeyen çözeltiler olarak kullanılmıştır) 2 paralelli çalışılmıştır. Çalkalama işlemleri 150 rpm ayarlı ES-20 markalı çalkalayıcıda gerçekleştirilmiştir. Ortam sıcaklığında ve doğal pH değerlerinde çalışılmıştır. Çalkalama sonrasında çözelti 8000 rpm ayarlı Rotina 380 santrifüje konulup katı ve sıvı faz ayrılmıştır. Üst sıvıda Pb ve Ni analizleri Harran Üniversitesi Merkez Laboratuvarındaki Perkin Elmer Optima 5300 DV Optik Emisyon marka ICP cihazında yapılmıştır. Benzer şekilde adsorban dozajı, başlangıç metal derişimi, pH ve sıcaklık gibi faktörlerin adsorpsiyon üzerindeki etkileri incelenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Adsorpsiyonda Çalkalama Süresinin Etkisi

Zaman çalışması sonucunda metal iyonlarının ilk 20 dakikada hızlı bir adsorpsiyon eğilimi gösterdiği görülmektedir (Şekil 1). Çalkalama süresi arttıkça adsorban ve adsorplanan metallerin çarpışma süresi artacağından adsorpsiyon artar ve bir süre sonra dengeye ulaşır. İslahiye kili üzerinde denge süresi Pb ve Ni için sırasıyla yaklaşık 40 dk ve 4 saat olarak belirlenmiştir (Şekil 1-2). Kil yüzeyler arasındaki boşluklar başlangıçta metal iyonları tarafından hızlı doldurulmaktadır. Adsorpsiyon süreci devam ettikçe boşluklar ve molekül bağları azaldığı için yer bulmada güçlükler meydana gelmekte, dolayısıyla adsorpsiyonda giderek azalma olmaktadır. Her iki metal için, dönüm noktasına ulaşıldıktan sonra adsorpsiyon olayının yavaş hızlarda devam ettiği görülmektedir. Özcan (2010), yaptığı çalışmada, doğal bentonit üzerinde Pb^{+2} iyonlarının 40 dk'da; Çokadar vd. (2003) ise granül aktif karbon üzerinde Ni^{+2} iyonlarının 8 saatte dengeye ulaştığını gözlemlemişlerdir.

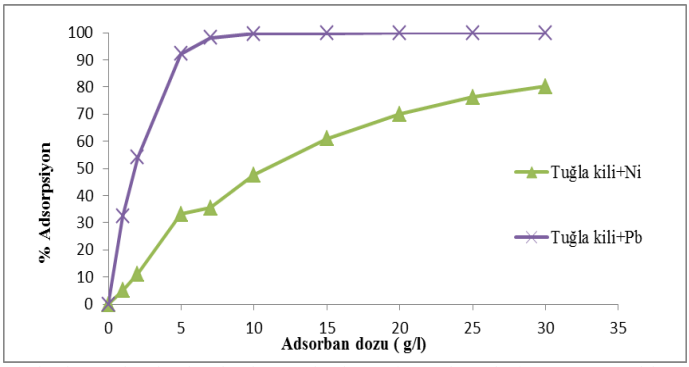


Şekil 1. Tuğla kili üzerinde Pb (A) ve Ni (B) için dengeye ulaşma süreleri (Başlangıç Pb konsantrasyonu: 67.94 mg/L; Başlangıç Ni konsantrasyonu: 97.16 mg/L; Pb+tuğla kili için pH:6.83; Ni+tuğla kili için pH: 6.86; Adsorban dozu: 10 g/L)

3.2. Adsorpsiyonda Adsorban Miktarının Etkisi

Pb adsorpsiyon oranı adsorban miktarı arttıkça yükselmiş; 10 g/L adsorban miktarında %99.56 adsorpsiyon değerine ulaşılarak bundan sonra önemli bir değişim gözlenmemiştir (Şekil 2). Bu durum adsorban konsantrasyonunun artmasıyla birlikte adsorpsiyon için gereken spesifik yüzeyin artması ile açıklanabilir. Ancak, belirli bir değerden sonra bir dönüm noktasına ulaşılmıştır. Bu nedenle tuğla kili üzerinde Pb adsorpsiyonunda optimum adsorban miktarı 10 g/L olarak kabul edilmiştir. Ni adsorpsiyonunda adsorban miktarı arttıkça adsorpsiyon yüzdesi sürekli artış göstermiş;

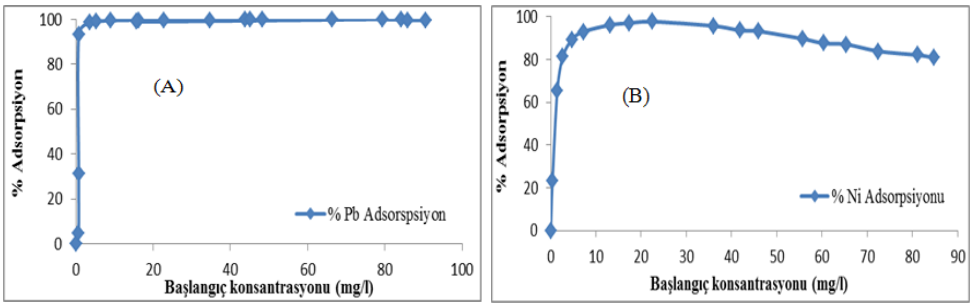
30 g/L adsorban dozuna kadar bu artış devam etmiştir. Optimum adsorban dozu olarak 30 g/L kabul edilmiştir. Yerlikaya (2008) yaptığı çalışmada bor endüstri atığı tarafından nikel (II) ve kursun (II) iyonlarının adsorpsiyonunda en uygun adsorban miktarını 2 g/l olarak belirlemiştir.



Şekil 2. Adsorban dozlarına bağlı olarak Pb ve Ni adsorpsiyon değerleri (Ortam sıcaklığı 25 ºC, Pb+tuğla kili için pH:6,83, Ni+tuğla kili için pH: 6,86; çalkalama süresi: Pb+tuğla kili için 40 dk, Ni+tuğla kili için 4 saat)

3.3. Adsorpsiyonda Başlangıç Metal Konsantrasyonunun Etkisi

10 g/l tuğla kili üzerinde 40 dk'lık çalkalama süresi esas alınarak yapılan çalışmada başlangıç Pb konsantrasyonu arttıkça adsorplanan madde miktarının da arttığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni düşük konsantrasyonlarda adsorban yüzeyindeki aktif noktaların tamamının metal iyonları tarafından işgal edilmemiş olması ve artan metal konsantrasyonu ile adsorban yüzeyindeki boş aktif noktalarda adsorpsiyonun gerçekleşmesidir (Dönmez, 2006). Kurşun adsorpsiyon yüzdeleri çok yüksek olduğundan başlangıç konsantrasyonunun adsorpsiyon üzerindeki etkisi tam olarak belirlenememiştir. 30 g/l tuğla kili üzerinde 4 saatlik çalkalama süresi esas alınarak yapılan çalışmada 22 mg/l başlangıç Ni konsantrasyonundan sonra artan derişimlerde adsorpsiyon oranlarının düşmeye başladığı analiz edilmiştir (Şekil 3). Metal derişimi arttıkça adsorban üzerindeki boş aktif noktaların belirli bir noktadan sonra doygunluğa ulaştığı ve metal iyonlarının adsorbe olmayıp ortamda kaldığı bilinmektedir.

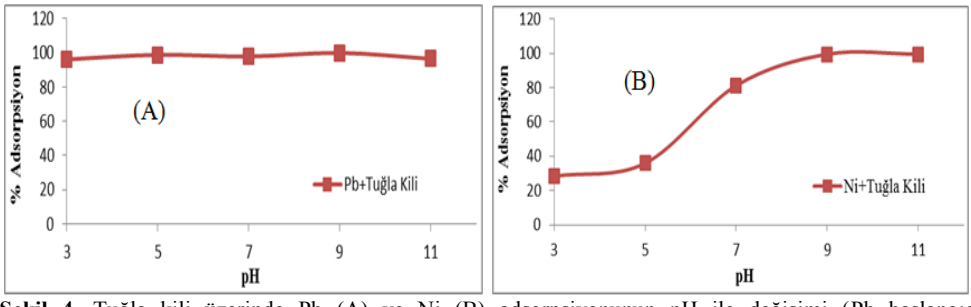


Şekil 3. Tuğla kili üzerinde başlangıç Pb (A) ve Ni (B) konsantrasyonlarına bağlı adsorpsiyon değerleri (Ortam sıcaklığı 25 ^{o}C, Pb+montmorillonit için pH:6,51, Ni+montmorillonit için pH: 6,68; çalkalama süresi: 20 dk, adsorban miktarı: montmorillonit+Pb için 10 g/l, montmorillonit+Ni için 15 g/l)

3.4. Adsorpsiyonda pH Değişiminin Etkisi

Adsorpsiyonu etkileyen en önemli faktör pH'dır. Adsorblama olayının meydana geldiği çözeltinin pH değeri adsorblama miktarını büyük ölçüde etkilemektedir. Adsorblama işleminin gerçekleşeceği ortamın asidik ya da bazik olması yani, hidrojen ($H^{+)}$ ve hidroksil (OH^{-}) iyonlarının kuvvetli bir şekilde yüzeye tutunmalarından dolayı, diğer iyonların adsorblanması, çözeltinin pH değerinden etkilenmektedir. Adsorblama işleminde farklı iyonlar farklı pH değerlerinde adsorbe olabilirler (Karakaya, 2008).

Çalışmamızda tüm pH değerlerinde Pb adsorpsiyon oranı gayet yüksek sonuçlar vermiş olup, pH değerinin Pb adsorpsiyon yüzdelerinde önemli bir değişim oluşturmadığı görülmektedir (Şekil 4.A). Bu sebeple Pb adsorpsiyon çalışmasında pH etkisi tam olarak gözlemlenememiştir. Ancak, Ni iyonlarının adsorpsiyonu pH artışından büyük oranda etkilenmiştir. pH değeri 3'den 11'e yükselirken Ni adsorpsiyonunun % 28.37'dan % 99.59'a yükseldiği görülmektedir (Şekil 4.B).



Şekil 4. Tuğla kili üzerinde Pb (A) ve Ni (B) adsorpsiyonunun pH ile değişimi (Pb başlangıç konsantrasyonu: 106.8 mg/L; Ni başlangıç konsantrasyonu: 122.4 mg/L; Adsorban miktarı: Pb+tuğla kili için 10 g/L, Ni+tuğla kili için 30 mg/l; Çalkalama süresi: Pb+tuğla kili için 40 dk, Ni+tuğla kili için 4 saat; Ortam sıcaklığı: 25 ^{o}C)

Bunun nedeni artan pH ile kil yüzeyinin daha negatif yüklü hale gelmesi ve nikel ile kilin daha kolay etkileşime girebilmesidir. Bu durum iyon yüklerinin adsorban yüzeyindeki elektriksel çekim kuvvetini büyük oranda etkilediğini ve değiştirdiğini de ortaya koymaktadır. En önemli etken de Ni iyonlarının pH 7'nin üzerinde çözünürlüklerinin azalması ve çökelme eğilimlerinin artmasıdır. Dolayısıyla nikel iyonlarının çökelme mekanizması ile de ortamdan uzaklaşmış olduğu düşünülmektedir.

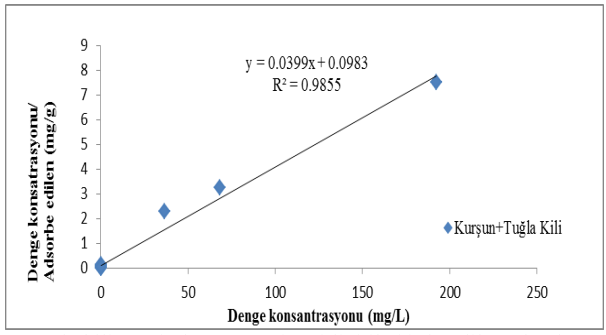
pH topraklarda ağır metal adsorpsiyonunu veya yeraltına sızma olayını etkileyen önemli bir parametredir. Maden drenaj sularının düşük pH değerleri metalin çözünürlüğünü dolayısıyla sızma riskini arttıracaktır. Bu durumda kirlenmiş sahalarda kilin adsorptif amaçlı kullanımında kireç uygulaması gibi yöntemlerle pH iyileştirmesinin yapılması gerekir.

3.5. Kurşun ve Nikelin Adsorpsiyon İzotermlerinin Belirlenmesi

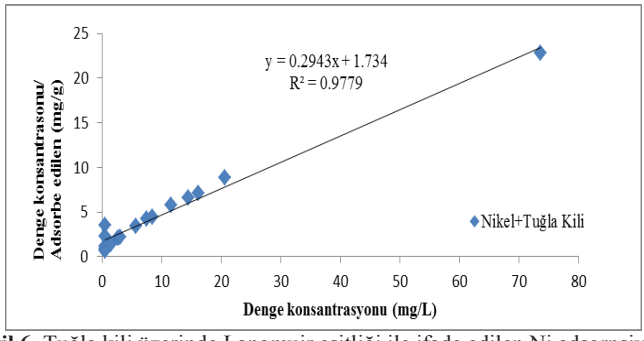
Adsorpsiyon izotermi sabit sıcaklıkta adsorban tarafından adsorplanan madde miktarı ile konsantrasyon arasındaki bağlantıdır. Birçok hallerde ve özellikle kimyasal adsorpsiyonda bir doygunluğa varılır. Bu durumu açıklamak için değişik izoterm bağıntıları kullanılarak izoterm eğrileri oluşturulmuştur. Özellikle en yaygın kullanılan iki izoterm, Freundlich ve Langmuir izotermleridir (Ruthven, 1984).

Tuğla kili üzerinde Langmuir ve Freundlich eşitlikleri ile ifade edilen kurşun ve nikel adsorpsiyon grafikleri Şekil 5-8'de sunulmuştur. Kurşun ve nikel adsorpsiyonunun R^2>0.95 katsayıları ile Freundlich ve Langmuir İzotermlerine uyum sağladığı görülmektedir (Çizelge 2). Tuğla kili üzerinde Pb adsorpsiyonu Freundlich ($K_{f\ (Pb)}$ =9.73) ve Langmuir izotermlerine göre ($Q_{0\ (Pb)}$ =25.05) Ni adsorpsiyonundan daha yüksek bulunmuştur. Freundlich parametresi olan n değerlerinin 1'den büyük olması adsorban yüzeyinin heterojen olduğunu göstermektedir. Dönmez (2006), kil minerallerinden olan fosfat kayası, klinoptilolit ve perlit kullandığı bir çalışmada, 1 g/l adsorban miktarı ve 100 mg/l başlangıç konsantrasyonu için doğal atıksulardan adsorpsiyon metoduyla Pb giderimini incelemiştir. Adsorpsiyonun Langmuir izotermine uyduğunu tespit etmiştir. Q_0 değerlerini sırasıyla; 0,07, 0,04 ve 6,52 mg/g olarak bulmuştur. Tümsek ve ark. (2012), yapmış oldukları bir çalışmada doğal kil minerallerinden bentonit, sepiyolit ve zeolit kullanarak nikel iyonlarının sulu çözeltiden adsorpsiyonunu incelemişlerdir. Killerin adsorpsiyon kapasiteleri zeolit, bentonit ve

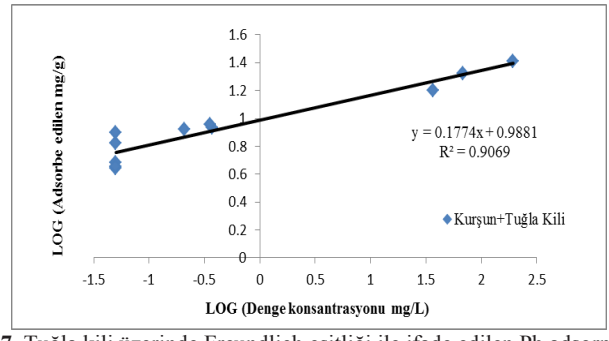
sepiyolit için sırasıyla 5,471 mg/g, 5,420 mg/g ve 10,186 mg/g olarak bulunmuştur. Dolayısıyla, aynı metal için her adsorbanın adsorpsiyon kapasitesinin değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Aynı adsorban üzerinde farklı metalllerin de adsorpsiyon oranları değişmektedir.



Şekil 5. Tuğla kili üzerinde Langmuir eşitliği ile ifade edilen Pb adsorpsiyonu



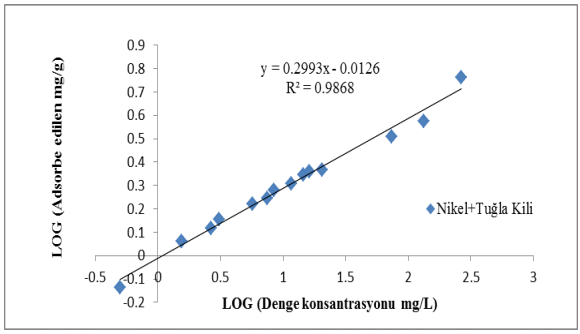
Şekil 6. Tuğla kili üzerinde Langmuir eşitliği ile ifade edilen Ni adsorpsiyonu



Şekil 7. Tuğla kili üzerinde Freundlich eşitliği ile ifade edilen Pb adsorpsiyonu

Çizelge 2. Kurşun ve nikelin adsorpsiyonuna ait Langmuir ve Freundlich katsayıları

İzoterm Modelleri	Langmuir Parametreleri			Freundlich Parametreleri		
	Q_0 (mg/g)	b (L/mg)	R^2	K_f (mg/g)	n	R^2
Tuğla Kili (Pb)	25,062	7,634	0,98	9,729	5,637	0,90
Tuğla Kili (Ni)	3,398	0,169	0,97	0.971	3,341	0,98



Şekil 8. Tuğla kili üzerinde Freundlich eşitliği ile ifade edilen Ni adsorpsiyonu

Çevik ve ark (2011), doğal bentonit minerallerinin nikel iyonlarını adsorplama kapasitesi üzerinde çalışmış, Freundlich izotermine daha uygun olduğunu tespit etmişler ve K_f değerini 4,76 olarak belirlemişlerdir. Çokadar ve ark. (2003) ise, yapmış oldukları çalışmada granül aktif karbon kullanarak sulardan nikel iyonlarının adsorpsiyonunu araştırmış ve Freundlich izotermine uygunluk gösterdiğini bulmuşlardır. K_f değerini ise 1,22 olarak belirlemişlerdir.

4. SONUÇLAR

Optimum çalkalama süresi ve optimum adsorban dozajının belirlenmesinden sonra kurşun ve nikelin tuğla kili üzerinde oldukça iyi adsorbe oldukları görülmüştür. Her iki metalin adsorpsiyonu Feundlich ve Langmuir izotermlerine uyum sağlamıştır. Bu izotermlere göre tuğla kili üzerinde Pb adsorpsiyonu daha yüksek bulunmuştur.

Tuğla kilinin asidik maden drenaj suları için kurşun ve nikel gideriminde etkin adsorban olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Gaziantep iline bağlı İslahiye bölgesinde bol miktarda bulunan tuğla kilinin ve buna benzer çeşitli killerin kolay elde edilebilmeleri ve maliyetlerinin düşük olması kullanım imkânlarını da uygun hale getirmektedir. Ağır metalleri adsorbe eden killerin çevre kirliliği oluşturmayacak biçimde son bertarafı da önemli bir sorundur. Bu bağlamda son bertaraf yöntemi olarak işlem görmüş bu killerin tuğla yapımında kullanılması ve ısıl işlemle kil tabakaları arasına hapsedilen ağır metallerin artık çevreye salınmayacak şekilde yapı malzemesinde kullanılan tuğla içerisinde adsorbe olması oldukça çevresel bir çözümdür. Ayrıca söz konusu kil malzeme eski maden alanlarında yeraltı sularına ağır metal sızmalarını önlemek için adsorptif bariyerlerde kullanılabileceği gibi, ağır metalce kirli

topraklarda iyileştirme ve yeraltı sularını koruma amaçlı uygulamalarda da düşünülebilir.

5. KAYNAKLAR

Çevik, T., Top, S., Sekman, E., Yazıcı, R. Ve Bilgili, S., 2008. Nikelin bentonitle adsorpsiyonunun izoterm, kinetik ve termodinamik analizi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Bölümü, İstanbul.

Çokadar, H., İleri, R., İzgi, B., 2003. Nikel(II) iyonunun sulu ortamdan granül aktif karbon (GAK) ile giderilmesi. Ekoloji Çevre Dergisi, 46: 38-42.

Dönmez, R., 2006. Doğal kil mineralleri kullanarak atık sulardan kurşun (II) iyonunun adsorpsiyonu. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Manisa.

Freedman, B., 1995. Environmental ecology, the ecological effects of pollution. Disturbance and Other Stresses, Academic Press, 27s.

Karakaya, G., 2008. Atık sulardan bakır (II) ve kobalt (III) iyonlarının adsorpsiyon metoduyla uzaklaştırılması. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 55s.

Kuyucak, N., 2002. Acid mine drainage prevention and control options. Golder Associates, Ottawa, ON Canada.

Ruthven, D.M., 1984. Principles of adsorption and adsorption processes. JohnWiley 1968, American Elsevier, New York, NY, 289-298.nd Sons, New York.

Siegel, F., 2002. Environmental geochemistry of potential toxic metals. Verlag Berlin Heidelberg, New York, 12s.

Şahinkaya, E., Bayrakdar, A., Güngör, M., Yücesoy, Z., Uyanık, S., Yeşilnacar M.İ., Atasoy, A.D., 2009. Asidik Maden Sızıntı Sularının (AMS) oluşumu, aktif arıtım sistemleri ve metal geri kazanmı, 3. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Ankara, pp. 108-116.

Özcan, S., 2010. Doğal bentonitin karakterizasyonu ve kurşun (II) iyonlarını adsorpsiyon yeteneği. Anadolu Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Yunus emre Kampüsü. Eskişehir, s-52.

Tümsek, F., Karabacakoğlu, B., 2012. Nikel (II) iyonunun sulu ortamdan Granül Aktif Karbon (GAK) ile giderilmesi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi, 14(2), 1-6.

Yerlikaya, E., 2008. Atık sulardan nikel (II) ve kurşun (II) iyonlarının adsorpsiyon metoduyla uzaklaştırılması. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, s. 38-40.

TUNÇBİLEK KÖMÜR HAZIRLAMA TESİSİNDE BAZI FİZİKSEL ÇEVRE ETKENLERİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF SOME PHYSICAL ENVIRONMENTAL FACTORS FOR TUNÇBILEK COAL WASHERY

Ali UÇAR, Cem ŞENSÖĞÜT*, İ. Göktay EDİZ

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: sensogut@dpu.edu.tr

ÖZET: Kömür, enerji kaynağı olarak geçtiğimiz son iki yüzyılda hızla kullanılmaya başlanmış, sanayilerde önemli hamlelerin atılmasına katkı sağlamış fakat kontrolsüz ve iyileştirilmeden kullanıldığı için de önemli çevresel olumsuzlukların yaşanmasına neden olmuştur. Günümüzde ise temiz kömür teknolojilerinin gelişmesine bağlı olarak kömür kullanımı hala önemini korumakta ve hatta kullanımı giderek artmaktadır.

Kömür üretimi ve tüketimi sırasında her aşamada olumsuz çevresel etkiler oluşmaktadır. Fakat kömürün dünyanın birçok bölgesinde bulunması, güvenilir olması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının yetersiz kalması nedenleri ile birçok ülke için kömür hala vazgeçilmez bir enerji kaynağı konumundadır. Eğer üretim sırasında temiz kömür teknolojileri ve tüketim sırasında da gerekli teknolojik önlemler alınırsa çevreye verilecek zararlar minimuma indirilebilir.

Enerji sorununun çözümünde ülkemiz için de hayati önem taşıyan kömürün üretimi ve hazırlanması sürecinde önemli çevresel problemler ortaya çıkmaktadır. Buna karşı bazı çevresel önlemler alınmaktadır. Fakat bu tedbirler bazen yetersiz kalabilmektedir. Bu çalışmada, üzerinde fazla durulmayan fakat önemli çevresel faktörlerden olan ve daha çok üretimi, çevreyi ve çalışanları etkileyen toz, titreşim ve gürültü gibi çevresel faktörler Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Tunçbilek kömür hazırlama tesisi özelinde incelenmiş; belirlenen sorunlar ve çözüm önerileri ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: Kömür, Fiziksel risk etmenleri, Gürültü, Toz, Titreşim

ABSTRACT: *Coal has been used widely for the past two centuries as a source of energy and has made important moves in the industry, however since it has been used*

with uncontrolled and without being cleaned, it caused severe environmental incidents. Today, the use of coal still holds its importance relying on the development of clean coal technology and it will be increasingly used in the near future.

Negative environmental effects occur at every stage during coal production and consumption. On the other hand, coal is still an indispensable source of energy for many countries because of the fact that the coal is located in many parts of the world, is reliable, and the renewable energy resources are inadequate. If technological precautions are taken during production and clean coal technology and consumption, damage to the environment can be minimized.

Significant environmental problems arise during the production and preparation of the coal, which is vital for any country to solve the energy problem, and some environmental measures are taken against it. Unfortunately, they are sometimes inadequate. For this reason, in this study environmental problems such as dust, vibration and noise affecting production, environment and employees, which were not considered adequately in many works, have been investigated in the context of Tunçbilek Coal Washing Plant, Western Lignite Corporation (WLC) and problems and hence the problems observed and the solutions suggested were revealed.

Keywords: *Coal, Physical risk factors, Noise, Dust, Vibration*

1. GİRİŞ

Kömür, değişen miktarlarda mineral madde içerikli ve farklı tiplerde oluşmuş çok heterojen bir enerji hammaddesidir. Günümüzde yaşanan enerji darboğazı ve savaşları, yüksek güvenirliliği, hemen hemen her bölgede belirli oranlarda bulunuyor olması nedenleri ile kömürün önemini uzun yıllar koruyacağı görülmektedir. Artan nüfus ve gelişen sanayilerdeki yüksek enerji tüketimleri de kömür üretiminin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca kömür katı, sıvı ve gaz haline getirilebilen endüstrinin pek çok alanında kullanılan, değerli ve vazgeçilemez bir enerji kaynağıdır. Fakat bütün bu olumlu durumlara rağmen, çevresel faktörlerden dolayı ya kısıtlanmakta ya da zorluklarla karşılaşılmaktadır. Bunları aşmanın yolu da söz konusu bu çevresel faktörleri çok iyi belirleyip, bunların çözüm yollarını ortaya koymaktan geçmektedir.

Maden sahalarında gerçekleştirilen madencilik işlemleri ve kömür hazırlama faaliyetleri kaynaklı etkilere (büyük miktarlarda atık su, partikül madde, ağır metal

oluşumu ve çok büyük ağır makinelerin çalıştırılması nedeniyle yoğun enerji kullanımı) daha az önem verilmektedir. Sonuçta bu hususlar, hem üretimi, hem çalışanları ve hem de dış çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir

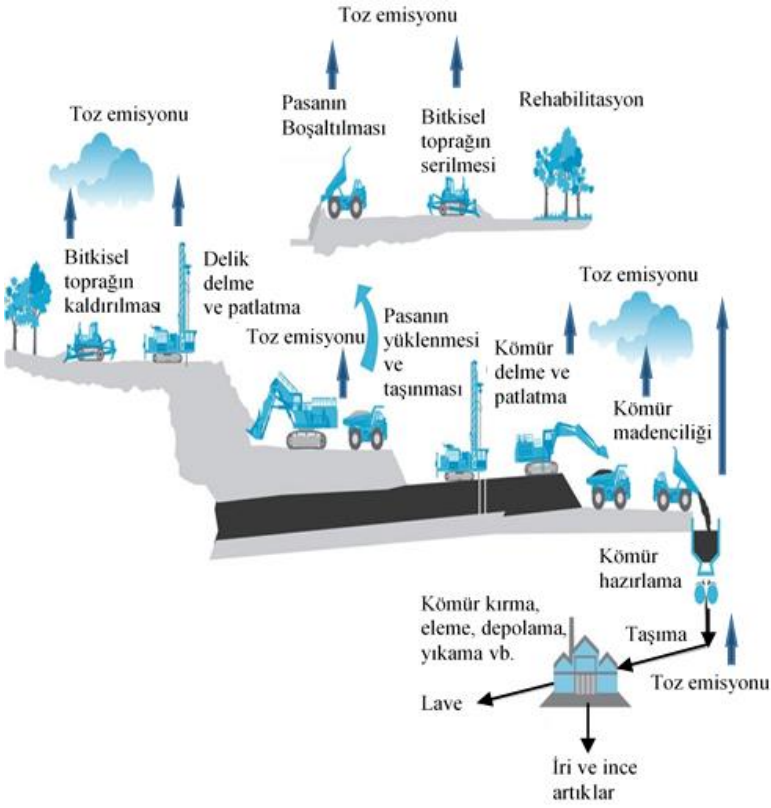
Dünyada, özellikle son yıllarda, hızlı sanayileşmeye paralel olarak ortaya çıkan çevre ve hava kirliliği sorunlarının giderilmesinde, uygulanan teknolojik yöntemlerin ıslahı yanında, insan ve çevre sağlığını bozmayacak kalitedeki hammadde üretimi de gündeme gelmiştir. Ayrıca, belirtilen hammaddelerin kalitelerinin ortaya konulmasında, detaylı bir standartlaşmaya gidilmiş, bilhassa ileri düzeyde sanayileşmiş ülkelerde sözü edilen standartlar hukuksal yaptırımları beraberinde getirmiştir. Aynı durumun gerçekleştirilebilmesi için, sanayileşme yolundaki ülkemizde de, özellikle son yıllarda, gerek insan ve çevre sağlığını etkileyen teknolojilerin yeniden düzenlenmesi ve gerekse hammadde kalitesinin arttırılması çalışmalarına ve bu konudaki hukuksal düzenlemelere başlanmıştır. Bu kapsamda olmak üzere, Çevre Bakanlığı, TSE., yerel yönetimler ve Üniversitelerde, özellikle kömür kalitesi ve hava kirliliğine olan etkilerinin azaltılması konusunda çalışmalar devam etmektedir (Semerkant vd.,1992).

Doğal olarak kömür ocağında ve zenginleştirme tesisinde üretim sırasında çevreye bazı olumsuz etkilerin olması normaldir. Bu çevresel etkiler ocağın içinde ve tesislerde kömürün belirli noktalara nakledilmesi, patlatma yapılması, yükleme ve boşaltma yapılması, kırma ve eleme ve atıklarla ilgili işlemler sonucunda oluşmaktadır (Şekil 1). Bu faaliyetler sonucu oluşan çevresel etkiler; toz, gürültü, titreşim, sıvı ve katı atıklar, floranın bozulması, faunanın yer değiştirmesi gibi etkilerdir.

Şimdiye kadar ocaklardan kaynaklanan çevresel etkiler ve tesis atıkları ile ilgili birçok çalışma yapılmışken tesislerdeki diğer çevresel etkiler hakkında fazla bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle öncelikle kömür hazırlama tesislerindeki olumsuz çevre koşullarının ortaya konulması ve uygun çözüm yöntemlerinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır.

Kömür hazırlama; ocaktan çıkarılmış kömürlerin, istenilen özelliklere sahip satılabilir ürünlere dönüştürülebilmesi için yapılan işlemlerin tümünü kapsar. Kömür temizlemede kullanılan dört temel işlem bulunmaktadır. Bu dört temel operasyon ufalama, boyutlandırma, zenginleştirme (safsızlıkların uzaklaştırılması) ve susuzlaştırmadır (Albrecht, 1980).

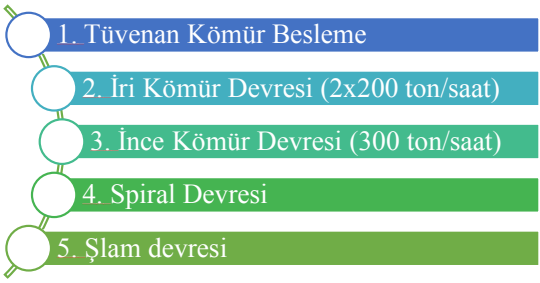
Kömür hazırlama tesislerinin çevreye olabilecek önemli etkileri şöyle sıralanabilir: gürültü, titreşim ve toz. Bu çalışmanın amacı, GLİ'ye ait özel sektör tarafından işletilen Tunçbilek lavvarının gürültü, toz ve titreşim gibi bazı çevresel faktörlerinin incelenmesidir. Bu amaçla ilk önce lavvar hakkında bilgi verilmiş, daha sonrada bu çevresel faktörler araştırılmıştır.



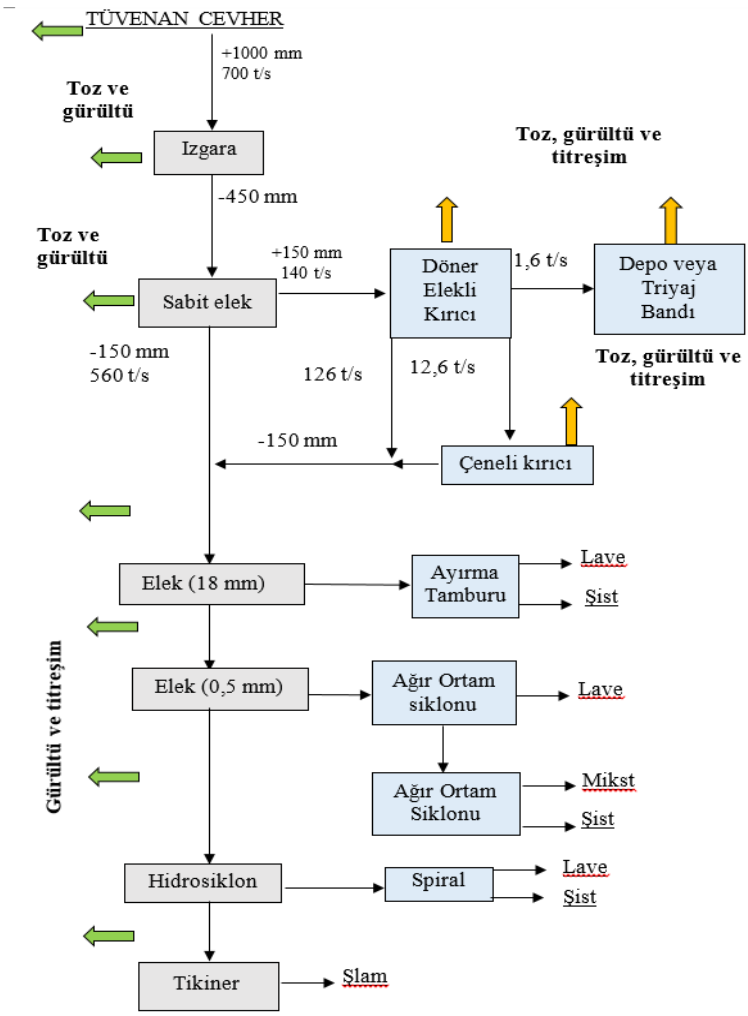
Şekil 1. Yerüstü madenciliğinde ve kömür hazırlamada uygulanan temel faaliyetler ve toz kaynakları (Mining and the Environment, 2015'den değiştirilerek düzenlenmiştir)

2. TUNÇBİLEK KÖMÜR HAZIRLAMA TESİSİ

Tesiste yeraltı ve açık ocaklardan çıkartılan ve kül oranları yüksek olan 1000 mm boyutunun altındaki tüvenan kömürler 350 ton/saat kapasiteli iki gruptan oluşan ve toplam 700 ton/saat kapasitesi bulunan kömür hazırlama tesisinde 150 mm boyut altında zenginleştirmeye tabi tutulmaktadır. Böylece tüvenan kömür piyasanın talep ettiği tane boyutu, rutubet, kül ve kalori değerlerinde temiz ürünlere dönüştürülmektedir. Tunçbilek kömür hazırlama tesisinde aşağıdaki 5 devre bulunmaktadır.



Açık işletmeden ve yeraltından kamyonlarla gelen 0-1000 mm tüvenan kömür tumbadaki 450x450 mm sabit ızgaralar üzerine dökülür. Izgaradan geçemeyen iri parçalar iş makinesi ile kırılarak geçirilmekte ve 1000 mm'den büyük taş blokları makine ile kenara alınmaktadır. Tumba A ve B grubu olarak adlandırılan iki gruptan oluşmakta ve her grupta 150 ton/h kapasiteli 6 adet silo bulunmaktadır. Sabit ızgara altlarına geçirilen tüvenan kömür, tumba altlarında bulunan paletli besleyiciler yardımıyla A ve B grubu bant konveyörlere (40"-100 cm) beslenerek 150 mm'lik sabit eleklerden (grizly) geçirilir. Beslenen cevherin yaklaşık % 80'nini oluşturan elek altı (-150 mm'lik) kısım kömür hazırlama tesisinde tüvenan bant konveyörüne (40"-100 cm) beslenir. Beslenen cevherin % 20'sini oluşturan elek üstü ise döner elekli kırıcıya verilir. Döner elekli kırıcının birinci bölümünden, beslemenin % 18'ini oluşturan ve 150 mm'nin altına kırılan kömür nakil bandına beslenir. Kırıcının ikinci bölümünden ise beslemenin %1,8'ini oluşturan ve -300+150 mm boyutlu kömür çeneli kırıcıya beslenmektedir. Çeneli kırıcıda 150 mm'nin altına kırılan kömür, ara stoğa verilmektedir. Döner elekli kırıcıdan kırılmadan çıkan ve beslemenin %0,2'sini oluşturan +300 mm boyutlu taş ve kömür parçalarından oluşan malzeme taş stoğuna gönderilmektedir. Ancak zaman zaman bu grup (+300 mm) içerisinde bulunacak kömür parçalarını ayıklamak için ayıklama bandına verilir. Ayıklama bandındaki kömürler, işçiler tarafından ayıklanarak temiz kömür silosuna alınır, taşlar ise şist bandı ile stoğa verilir. Her birinin kapasitesi 350 ton/saat olan A ve B hattı bantlarla Lavvara giren -150 mm boyutlu tüvenan yine iki grup olan 18 mm açıklıklı tüvenan eleklerine gelir. Bu elekte yıkanarak elenen tüvenan kömürün elek üstü iri kömür yıkama devresine, elek altı ise 0,5 mm açıklıklı eleğe beslenir. Buradan da elek üstü ince yıkama devresine verilirken elek altı hidrosiklona beslenir. Hidrosiklonda alt akım spiral devresine beslenirken üst akım (şlam) tikiner devresine gönderilmektedir.



Şekil 2. Tunçbilek kömür hazırlama tesisi basit akım şeması ve çevresel faktörleri.

2.1. İri Kömür Devresi;

Başlıca iki kısımdan oluşur.

1. Ağır ortam tambur devresi, (18-150 mm) 2x200 ton/saat kapasiteli olup, 1968 yılında kurulmuştur. Zenginleştirme işlemi 3200x3600 mm ölçülerine sahip iki adet Wemco ağır ortam ayırma tamburu ile yapılmaktadır.

2. Ağır ortam tambur devresi 1. devrenin batan ürününü yeniden yıkayarak ara ürün (mikst) elde etmek amacıyla 2010 yılında kurulmuştur. Zenginleştirme işlemi 250 ton/saat kapasiteli ve 3800x4200 mm ölçülerine sahip bir adet Wemco ağır ortam ayırma tamburu ile yapılmaktadır.

2.2. İnce Kömür Ünitesi:

Başlıca üç kısımdan oluşur.

1. Ağır sıvı siklon devresi, 300 ton/saat kapasiteli olup 0,5-18 mm tüvenan kömürleri zenginleştirir.
2. Ağır sıvı siklon devresi, 1. devrenin batan kısmını tekrar yıkayarak ara ürün (mikst) elde edilir.
3. Spiral devresi, 0,1-0,5 mm boyutlu tüvenan kömürleri zenginleştirir.

3. TUNÇBİLEK KÖMÜR HAZIRLAMA TESİSİ TOZ, GÜRÜLTÜ VE TİTREŞİM ÇEVRESEL FAKTÖRLRİ

Tesiste toz sorunu cevherin kuru olarak işlem gördüğü aşamalarda bulunurken, titreşim ve gürültü sorunu hemen hemen tüm aşamalarda bulunmaktadır.

3.1 Toz

Kömür hazırlama işlemleri sırasında, uygulanan kırma ve öğütme, eleme, besleme ve nakliye işlemleri sonucunda, önemli ölçüde partikül madde oluşumu nedeniyle, hava kirliliği meydana gelmektedir.

05.11.2013 tarihli ve 28812 sayılı resmi gazetede yayımlanan 'Tozla Mücadele Yönetmeliği' Madde 5'e göre işveren;

(1) Her türlü tozun meydana geldiği işyerlerinde çalışanların toz maruziyetini önlemek ve çalışanların toz ile ilgili tehlikelerden korunması için gerekli tüm koruyucu ve önleyici tedbirleri almakla yükümlüdür.

(2) Ayrıca tozdan kaynaklanan maruziyetin önlenmesinde; a) İkame yöntemi uygulanarak, toz oluşumuna neden olabilecek tehlikeli madde yerine çalışanların sağlık ve güvenliği yönünden tehlikesiz veya daha az tehlikeli olan maddelerin kullanılmasını, b) Riski kaynağında önlemek üzere; uygun iş organizasyonunun yapılmasını ve toplu koruma yöntemlerinin uygulanmasını, c) Toz çıkışını önlemek için uygun mühendislik yöntemlerinin kullanılmasını, ç) İşyerlerinin çalışma şekline ve çalışanların yaptıkları işe göre, ihtiyaç duyulan yeterli temiz havanın bulunmasını, d) Alınan önlemlerin yeterli olmadığı durumlarda çalışanlara tozun niteliğine uygun kişisel koruyucu donanımların verilmesini ve kullanılmasını, e) Alınan önlemlerin etkinliğini ve sürekliliğini sağlamak üzere yeterli kontrol, denetim ve gözetim yapılmasını, f) İşyerlerinde oluşan atıkların,

Çevre ve Şehircilik Bakanlığının ilgili mevzuatına uygun olarak bertaraf edilmesini sağlar.

Ayrıca aynı yönetmeliğin 8. Maddesi'ne göre işveren, a) Risk değerlendirmesi sonucuna göre belirlenen periyodik aralıklarla toz ölçümlerinin yapılmasını, b) İşyerinde çalışanların toz maruziyetinin bulunduğu koşullarda herhangi bir değişiklik olduğunda bu ölçümlerin tekrarlanmasını, c) Ölçüm sonuçlarının, Ek-1'de belirtilen mesleki maruziyet sınır değerleri dikkate alınarak değerlendirilmesini, ç) İşyerinde yapılacak denetimler için toz ölçümlerinin Genel Müdürlükçe ön yeterlik veya yeterlik belgesi verilen laboratuvarlarca yapılmasını sağlar.

Tesiste oluşacak toz emisyon miktarları literatürde verilen faktörler yardımıyla veya doğrudan ölçülerek belirlenebilir.

Tunçbilek kömür hazırlama tesisinde Şensöğüt, 2016 tarafından yapılan çalışmada Çizelge 1'deki toz ölçüm değerleri verilmiştir. Fakat burada verilen ölçüm değerleri, sınır değer olan 5 mg/m^3'ün çok altındadır. Çünkü ölçüm alınan yerler tozdan izole edilmiş olan yerlerdir. Halbuki faaliyet alanlarındaki emisyonların bilinmesi önemlidir. Bu nedenle söz konusu çalışmada kömür hazırlama tesisinde oluşacak toz emisyonları 03.07.2009 tarih ve 27277 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan **"***Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği*" Ek-12, Tablo.12.6, US Environmental Protection Agency (USEPA) ve Emission Estimation Techniques (EET)'da verilen kontrollü ve kontrolsüz toz emisyon faktörleri dikkate alınarak Eşitlik 1'den hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Q(Kaynak) = Kapasite (t/saat) x Emisyon faktörü (kg/t) (1)

İşletme aşamasında tozumaya karşı herhangi bir önlem alınmadan çalışıldığında, oluşacak maksimum toz miktarı 48,21 kg/saat olup, "Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde verilen limit değerin (1,5 kg/saat) çok üzerinde kalmakta olup yönetmelik gereği toz yayılım modellemesi yapılması gerekmektedir.

Toz öncelikle kaynağında giderilmeli, daha tozsuz ya da toz çıkartmayan donanım veya üretim yöntemi seçilmelidir. Her şeye rağmen kullanılan makine/donanımın toz çıkartması önlenemiyorsa, toz oluştuğu yerde izole/tecrit edilmeli örneğin toz sızdırmaz oda içerisine montajı yapılmalıdır.

Kırma eleme tesisinde toz kaynağı olan her bir ünitenin (bunker, kırıcılar, elekler, bantlar) kapalı ortam içerisine alınması gerekmektedir. Kapalı ortam içerisine

alınan ünitelere toz indirgeme sistemi kurulmalıdır. Kurulan toz indirgeme sistemleri tek bir kumandadan yönetilerek, tesisin çalıştırılması ile birlikte aynı anda devreye girecek şekilde dizayn edilmelidir. Tesis içi yollar toprak olmamalı. Kamyonların üzeri branda ile örtülmeli ya da malzeme nemlendirilmelidir.

Çizelge 1. Kömür hazırlama tesisinde alınan toz ölçüm sonuçları (Şensöğüt, 2016).

Ölçüm alınan yer	Maruziyet süresi	Toz ölçümü TWA (mg/m^3)
Besleme kontrol tablo	8 saat	0,20
İri kömür kontrol tablo	8 saat	0,75
İri kömür tüvenan çalışan odası	8 saat	0,15

Çizelge 2. Tesisin çalışması sonucunda birimlerde oluşacak toz miktarları.

Toz kaynakları	Kapasite, t/h	Emisyon Faktörleri, kg/t		Emisyon Debileri (kg/saat)	
		Kontrolsüz	Kontrollü	Kontrolsüz	Kontrollü
Boşaltma	700	0,0100	0,0050	07,00	3,500
Eleme	700	0,0068	0,0034	04,76	2,380
Kırma	150	0,2430	0,0243	36,45	3,645
Toplam				48,21	9,525

Mücadele yönteminin en sonuncusu ise, tozun alıcı/çalışanda azaltma yöntemine gidilmesidir. Bunun içinde çalışana uygun kişisel koruyucu donanım sağlanmalıdır. Yani kısaca tesiste oluşacak tozumanın etkileri ve buna karşı alınması gereken önlemler Çizelge 3'de verilmiştir (Tozla Mücadele Yönetmeliği, 2013; Andrew, 2012).

Çizelge 3. Tesiste oluşan tozumanın etkileri ve alınabilecek önlemler.

Etki	Önlem
Görüş alanının azalması, psikolojik rahatsızlık, iş güçlüğü, meslek hastalığı	Toz bastırma sistemleri, iyileştirme, temizleme, toz toplama sistemleri, kapatma, düzenli sağlık kontrolü, eğitim, KKD

3.2 Gürültü

Gürültü; İnsanların işitme sağlığını ve duyusunu olumsuz yönde etkileyen, fizyolojik ve psikolojik dengesini bozan, iş verimini azaltan, mekanik titreşimler sonucu oluşan istenmeyen seslerden oluşan önemli bir çevre kirliliğidir (Ediz, 2002; Çınar & Şensöğüt, 2009; Şensöğüt, 2016; Gürültü Kontrol Yönetmeliği, 2010).

Bunun yansıra, Gürültü Kontrol Yönetmeliğinin 6. maddesinde; Sanayi, yol ve inşaat makinalarının, yönetmelik ekindeki maksimum gürültü seviyelerini aşamayacağı vurgulanmış ve bu değerleri aşan araçların gerekli tedbirler alınmadan kullanılmaları yasaklanmıştır.

Yine, yönetmeliğin 11. maddesinin 3. fıkrası; işyerlerinde tavsiye edilen gürültü seviyelerinin aşıldığı gürültü ve vibrasyonların, kaynağında azaltılması için teknik imkânların yetersiz olduğu durumlarda, İş Kanununda belirtilen koruyucu araç ve gereçlerin sağlanmasını zorunlu tutmaktadır.

Tesiste, taşıma ve boşaltma, kırma ve eleme ve yıkama işlemleri sonucu değişik değerlerde gürültü kirliliği oluşturan makine ve ekipman bulunmaktadır. Gürültü hesabı bu makinelerin aynı anda çalışacağı düşünülerek yapılmıştır.

Şensöğüt ve Düzyol, 2016 tarafından tesiste yapılan çalışmada 8 saat maruziyet sonucunda yapılan gürültü düzeyi ölçümleri çizelge 4'de verildiği gibidir. Fakat bu değerler kapalı alanlarda alınan ölçümler olmasına rağmen yine de Gürültü Yönetmeliği Maruziyet Sınır Değerinin (87 dBA)'nin üzerinde olmuştur.

Çizelge 4. Kömür Hazırlama Tesisinde Alınan Gürültü Ölçüm Sonuçları

Ölçüm Alınan Yer	$L_{EX,\ 8\ saat}$ (dBA)
Besleme kontrol tablo	88
İri kömür kontrol tablo	90
İnce kömür kontrol tablo	94
İri kömür tüvenan personel odası	104
Mühendis odası	102

Kömür Yıkama (Lavvar) Tesisinin çalışması sırasında oluşan çevresel gürültü kirliliği, Çizelge 5'de verilen teçhizat gürültü değerleri kullanılarak Eşitlik 2 (Hansen, 2005)'den hesaplanmıştır.

$$L_{eq} = 10log \sum_{i=1}^{n} 10^{L_i/10} \quad (2)$$

L_{eq}: Toplam gürültü seviyesi n: Gürültü sayısı

L_i: Gürültü düzeyleri, dBA Leq = 116,54 dBA

Çizelge 5. GLİ-Tunçbilek lavvarındaki gürültü kaynakları ve seviyeleri (Ediz vd., 2002, Şensöğüt, 2007, Açık Alanda Kullanılan Teçhizat Tarafından Oluşturulan Çevredeki Gürültü Emisyonu İle İlgili Yönetmelik, 2006).

Ekipmanlar	Ekipman sayısı	Gürültü Seviyesi (dB)
Tüvenan elekler	1	93-94
Bantlar	10	85-86
Tumba	2	92-93
Döner kırıcı	1	91-92
Çeneli kırıcı	1	100-110
Ağır ortam siklon sistemi	2	90-91
Ağır ortam tambur sistemi	1	90-92
Kömür tasnif elekleri	19	98-100
Tumba altı paletli besleyici	2	80-82
Kamyon	3	109 (P >55 kw ⇨ 82+11 log P)

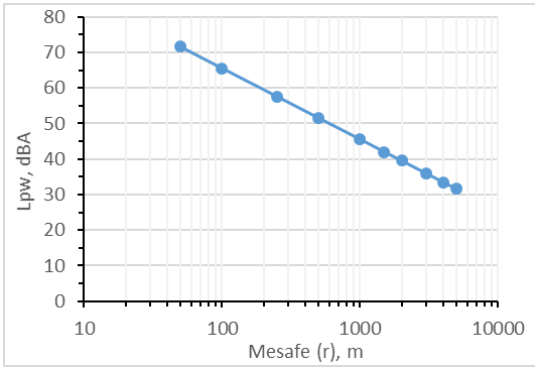
Tesisteki ekipmanların aynı anda ve aynı yerde çalıştıkları sırada meydana gelen gürültü seviyesi 116,54 dBA olarak hesaplanmıştır. Kömür yıkama (Lavvar) tesisinde görevli olarak çalışacak personel gürültüye maruz kalacaktır. Çalışanların Gürültü ile ilgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmeliğe göre, gürültüye maruz kalma durumunda ortaya çıkan olumsuzluklardan işçilerin etkilenmemeleri için Çizelge 6'daki önlemlerin alınması gerekir.

Çizelge 6. Tesşste oluşan gürültünün etkileri ve alınabilecek önlemler

Etki	Önlem
Psikolojik rahatsızlık, iş verimi düşmesi, meslek hastalığı	İzolasyon, çalışma saatlerinin kısaltılması, ikame veya değişmesi gereken aksamların değiştirilmesi, kontrol ve bakım, düzenli sağlık kontrolü, eğitim, KKD

Tesisteki makinelerinin aynı anda çalışması sırasında çeşitli mesafelerde duyulması muhtemel çevresel gürültü kirlilik seviyeleri Eşitlik 3 ile hesaplanmış ve gürültü seviyeleri Şekil 3'de verilmiştir.

$$L_{pw} = L_{eq} + 10[\log(1/(4\pi r^2))] \quad (3)$$



Şekil 3. Kömür yıkama (Lavvar) tesisinin çalışması sırasında çeşitli mesafelerde duyulması muhtemel gürültü seviyeleri.

Faaliyet alanına en yakın yerleşim yeri, alanın 300 m doğusunda bulunan Tunçbilek beldesi olup, yapılan hesaplamalar sonucunda 300 m mesafedeki gürültü düzeyi 55 dBA civarında bulunmuştur. Bu değer 04.06.2010 tarih ve 27601 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren 'Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliğinde belirtilen ve Endüstriyel ve yerleşimin birlikte olduğu alanlar (ağırlıklı yerleşim) için belirtilen 70 dBA sınır değerinin altında kalmaktadır.

Dolayısı ile faaliyet sırasında oluşacak gürültü yerleşim birimleri üzerinde olumsuz bir etkisi oluşturmayacaktır. Ayrıca hesaplanan gürültü düzeyi sınır değerleri aşmadığından herhangi bir kontrol tedbirinin alınmasına da gerek yoktur.

Şekil 4. Tunçbilek beldesinin lavvara göre konumu.

3.3. Titreşim

Titreşim, herhangi bir cismin denge konumu çevresinde tekrarlı salınım yaptığında oluşur (Zeyrek, 2009, Arıtan ve ark., 2016). Titreşim genel olarak frekansı (Hz) ve büyüklüğü (m/s^2) olmak üzere iki parametre ile tanımlanır. Mekanik bir hareketin büyüklük şiddetinin zamanla değiştiği kabul edilir. Titreşim; makine titreşimi ve bu titreşimin etkilediği insan titreşimi olarak iki başlık altında açıklanmaktadır. Çalışanların durumu göz önüne alındığında el-kol ile tüm vücut titreşimi üzerinde durulmaktadır. Zamanında tedbir alınmadığında, çalışanlarda vasküler bozulma nedeniyle, beyaz parmak, raynaud's fenomeni, karpal tünel sendromu, periferik nöropati ve kas zayıflığı sorunları sıklıkla ortaya çıkmaktadır (Beyhan, 2004). El-kol titreşiminden etkilenme genellikle, pnömatik el aletleri kullanımı sırasında ve tüm vücut titreşimi etkileri ise daha çok iş makineleri operatörlerinde görülmektedir.

22 Ağustos 2013 tarihli Resmi Gazete' de yayımlanan "Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik" çalışanları titreşim sonucu ortaya çıkabilecek sağlık problemlerinden korumak amacıyla çıkarılmıştır. Söz konusu yönetmelikte sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet değerleri Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. Titreşim maruziyet değerleri.

Türü	Sınır Değeri (m/s^2)	Eylem Değeri (m/s^2)
El-kol	5	2,5
Tüm Vücut	1,15	0,5

Tunçbilek kömür hazırlama tesisinde el-kol titreşiminden daha çok, çalışanların bulunduğu çalışma ortamında vücut titreşimine tabii oldukları tespit edilmiş, bu nedenle de tüm vücut titreşimleri ölçülmüştür (Çizelge 8).

Çizelge 8. Kömür hazırlama tesisinde alınan tüm vücut titreşim sonuçları.

Ölçümü Alınan Yer	Hesaplanan Değer (m/s^2)
Besleme kontrol tablo	21
İri kömür kontrol tablo	45
İri kömür tüvenan personel odası	3,5

Sonuçlardan da görüleceği üzere her üç ölçüm noktasında da eşik değer olan 0,5 m/sn^2 değeri aşılmış durumdadır. Bu nedenle Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmeliğe dayanarak, titreşim nedeniyle ortaya çıkan etkilere karşı Çizelge 9'da verilen önlemlerin alınması zorunludur.

Çizelge 9. Tesiste oluşan titreşimin etkileri ve alınabilecek önlemler

Etki	Önlem
Disk kayması, omuz başlarında ağrı, yorgunluk, soğuğa karşı hassasiyet, sensomotor kayıp, manipulatif becerilerde kayıp.	Etkileri önemli oranda azaltan oturma yerlerinin sağlanması, odanın tabanının titreşimi absorbe eden malzemeler ile kaplanması, maruziyet süresinin azaltılması, yeterli dinlenme sürelerini kapsayan çalışma programının yapılması, düzenli sağlık kontrolü, eğitim, KKD.

4. SONUÇLAR

Kömür üretimi ve kullanımı sırasında ciddi derecede çevre sorunları ortaya çıkmaktadır. Fakat günümüz koşullarında üretimi ve tüketimi zorunlu olan kömürde bu işlemlerin gerçekleştirilmesinde bilimsel, teknik, sosyal ve hukuksal kriterler uygulanırsa bu sorunlar en aza indirilebilecektir. Bu çalışmada GLİ Tunçbilek lavvarında oluşan toz, gürültü ve titreşim gibi bazı çevre faktörleri bu kriterlere göre araştırılmış ve çözüm önerileri verilmiştir.

Tesiste tozumaya sebep olan işlemler, malzemenin taşınması, boşaltılması, beslenmesi, kırılması, elenmesi olarak sayılabilir. Adı geçen işlemler sonucu oluşacak toz emisyon miktarları literatürde verilen değerler yardımıyla belirlenmiştir.Tesisin çalışması sırasında tozumaya karşı herhangi bir önlem alınmadan çalışıldığında, oluşan

maksimum toz miktarı 48,21 kg/saat olup kontrollü emisyon debisi ise 9,525 kg/saat orak tespit edilmiştir. Bu sonuca göre, bulunan değerin kanuni sınır değerinin çok üstünde olduğu görülmektedir. Buda toza karşı bazı önlemlerin alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Kömür taşınmasının en önemli çevresel etkisi partikül madde oluşumu problemidir. Kömürün ve yolların sulanması partikül madde oluşumunu önemli oranda engelleyebilmektedir. Sulama ile tozlanmanın bastırılması etkisinin artırılması veya tozlanmanın önlenmesi için ayrıca suya katılan bazı kimyasallar da kullanılabilir veya kerosen kömüre katılabilir.

Tesisin çalışması sırasında oluşan önemli fiziksel çevresel faktörlerden biride gürültüdür. Tesiste işleyen hemen hemen tüm ekipman ve sistemler gürültü kaynağı olmaktadır. Tesisteki tüm ekipman ve sistemlerin aynı anda çalışması durumunda gürültü seviyesi 116,54 dBA olarak tespit edilmiştir. Bu değerin de tesiste çalışanlar açısından kanuni sınırların oldukça üzerinde olduğu görülmektedir. Tesiste oluşan gürültünün mesafeye bağlı çevresel etkisi yönetmelikte belirtilen değerlerin altında kaldığı belirlenmiştir. Bu nedenle bununla ilgili herhangi bir kontrol önleminin alınmasına gerek kalmamaktadır. Tesiste çalışan ekipmanların titreşimi sonucunda, çalışanlarda önemli oranlarda tüm vücut titreşimine maruziyet tespit edilmiştir. 45 m/sn^2 değerine kadar oluşan ölçümler yasal sınır olan 0,5 m/sn^2'nin çok üzerinde olduğundan çalışanların korunması için bazı tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Kömür üretimi ve tüketimi sırasında çevreyi bozmayan, zarar vermeyen ve kirletmeyen veya bunların minimuma indirildiği yöntemlerin uygulanması gelişmişliğin, çağdaşlığın ve uygarlığın göstergesidir.

KAYNAKLAR

Açık Alanda Kullanılan Teçhizat Tarafından Oluşturulan Çevredeki Gürültü Emisyonu İle İlgili Yönetmelik (2000/14/At), Resmi Gazete Tarihi/sayısı: 30.12.2006/26392.

Andrew B. Cecala, Andrew D. O'Brien, Joseph Schall, Jay F. Colinet, William R. Fox, Robert J. Franta, Jerry Joy, Wm. Randolph Reed, Patrick W. Reeser, John R. Rounds, Mark J. Schultz, January 2012, Dust Control Handbook for Industrial Minerals Mining and Processing, *Department Of Health And Human Servıces, Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health.* p284.

Arıtan, A.E., Şensöğüt, C., Ören, Ö. & Tümer, M., Kırmataş Tesislerinde Çalışanların Maruz Kaldığı Fiziksel Risk Etmenleri, 8. Uluslararası Kırmataş Sempozyumu, 13-14 Ekim 2016, ss439-444

Albrecht, M. C., Coal Preparation Processes, Unit and Bulk Materials Handling, pp. 279 - 288, ASME Annual Meeting, San Francisco, CA, August 1980.

Beyhan, Y. (Ed: Akbulut,), 2004, *Çalışma Hayatı- Sağlık Riskleri ve Beslenme*, İşyeri Hekimliği Ders Notları, 8. Basım, TTB Yayınları, Ankara, 21-22 s.

Çalışanların Gürültü ile ilgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik, ÇSGB, Resmi Gazete 28 Temmuz 2013, Sayı: 28721

Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik, ÇSGB, *22.08.2013 tarihli ve 28743 sayılı Resmi Gazete.*

Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, Resmi Gazete, 4 Haziran 2010, Sayı 27601, Ankara.

Çınar, İ. & Şensöğüt, C., 2009. Maden İşletmelerinde Meydana Gelen Gürültünün İşçi Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi, Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu, 19-20 Kasım, Adana, s93-99.

Ediz, İ. G., Sunay Beyhan, Hamdi Akçakoca ve Enver Sarı, Madencilikte Gürültüye Bağlı İşitme Kayıplarının İncelenmesi, *Türkiye 13. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 29-31 Mayıs 2002, Zonguldak, Türkiye*

Emission Estimation Technique (EET) For Mining aAnd Processing of Non-Metallic Minerals, National Pollutant Inventory, 1999.

Emission Estimation Technique (EET) Manual for Mining and Processing of Non-Metallic Minerals Version 2.1 Environment Australia, 2014, ISBN 978-1-921733-97-0.

Hansen, C., 2005, Noise Control, From concept to application, *Taylor & Francis Group,* ISBN 0-415-35860-4 (Hbk), p430.

Mining and the Environment, Common Activities in Surface Coal Mining, http://www.miningandtheenvironment.com/res_artwork.aspx?index=C. (January 2015).

Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, 03.07.2009 Tarihli Resmi Gazete, Sayı: 27277.

Semerkant, O., Vedat Arslan, Mevlüt Kemal, Neşet Çoğuplugil, Tuncbilek Kömürü Kükürt İçeriğinin Mevcut Yıkama Sisteminde İncelenmesi, Türkiye 8. Kömür Kongresi Bildiriler kitabı 4-8 Mayıs 1992.

Sensogut, C., Occupational Noise in Mines and Its Control –A Case Study, *Polish J. of Environ. Stud. Vol. 16, No. 6 (2007), 939-942*

Şensöğüt, C., Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Tunçbilek Kömür Hazırlama Tesisinde Toz ve Titreşime Maruziyet, *International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE'16), March 19-20, 2016, Kilis, s1333-1339.*

Şensöğüt, C. ve Selma Düzyol, Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Tunçbilek Kömür hazırlama Tesisi Gürültü Ölçümlerinin İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi, International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE'16), s713-721, March 19-20, 2016, Kilis

Tozla Mücadele Yönetmeliği, 5 Kasım 2013 Tarihli Resmî Gazete, Sayı: 28812.

Zeyrek, S, 2009. Titreşim, İş Sağlığı ve Güvenliği, *Uzmanlık Tezi*, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, 122 s.

KURŞUN-ÇİNKO CEVHERİ FLOTASYON ARTIĞINDAKİ KURŞUNUN HCl İLE ÇÖZÜNÜRLÜĞÜNÜN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF HCl SOLUBILITY OF LEAD FROM LEAD-ZINC FLOTATION TAILINGS

İlgin KURŞUN, Hasan HACIFAZLOĞLU, Mert TERZİ*

İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: mert.terzi@istanbul.edu.tr

ÖZET: Kurşun-çinko cevherinin flotasyon işlemi sonucunda, bir miktar kurşun flotasyon artığı içinde kalmaktadır. Bu çalışmada kurşun-çinko flotasyon artıklarında bulunan kurşunun kimyasal çözündürme yöntemiyle kazanılma olanakları araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, Türkiye'de Balıkesir-Balya yöresinde faaliyet gösteren bir kurşun-çinko flotasyon tesisinden artık numuneleri alınarak laboratuar ölçekli liç deneyleri yürütülmüştür. Deneylerde çözücü reaktif olarak HCl kullanılmış, pülpte katı oranı (PKO), liç süresi, pülp sıcaklığı ve asit konsantrasyonu gibi parametrelerin Pb çözünme verimleri üzerine etkileri incelenmiştir. Liç deneylerinde; -500 µm, -106 µm ve -75 µm tane boyutları, %5-10-15-20-25-30-35 PKO'lar, 15-30-60-90-120-150-180-210 dak. liç süreleri, 0,5-1-2-5-10 M HCl konsantrasyonları ve 25-40-60 ^{o}C pülp sıcaklıkları denenmiş olup, Pb için en iyi sonuçlar 75 µm d_{100} tane boyutu, %35 PKO, 5 M HCl konsantrasyonu, 150 dak. liç süresi ve 60 ^{o}C pülp sıcaklığı koşullarında elde edilmiştir. Belirtilen bu optimum koşullarda gerçekleştirilen deneyler sonucunda, %70,09 Pb çözünme verimi elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kurşun, Çözünme, Hidroklorik asit, Flotasyon, Artık

ABSTRACT: *As a result of the flotation process of the lead-zinc ore, generally some unrecovered lead remains in flotation tailings. In this study, possibility of recovery of lead in lead-zinc flotation tailings by chemical dissolution method were investigated. In this context, tailing samples were taken from a lead-zinc flotation plant operating in Balikesir-Balya region in Turkey and laboratory-scale leaching experiments were carried out on these samples. HCl was used as a solvent reagent in the leaching*

experiments and, effect of solid in pulp ratio, leaching time, pulp temperature and acid dosage on Pb dissolution efficiency were investigated. In leaching experiments; -500 µm, -106 µm and -75 µm particle sizes, 5-10-15-20-25-30-35% solid in pulp ratios, 15-30-60-90-120-150-180-210 min. leaching times, 0.5-1-2-5-10 M HCl concentrations and 25-40-60 °C pulp temperatures were ivestigated and the best result in terms of Pb dissolution efficiency was obtained under the conditions of d_{100} particle size of 75 µm, 35% solid in pulp, 5 M HCl concentration, 150 min. leaching time and 60 °C pulp temperature. As a result of the experiment carried out under these optimum conditions, 70,09% Pb dissolution efficiency was obtained.

Keywords: *Lead, Dissolution, Hydrochloric acid, Flotation, Tailing*

1. GİRİŞ

Eski çağlardan beri, kurşun ve çinko metalleri endüstride en çok ihtiyaç duyulan metaller arasında yer almıştır (Öztürk, 2010). Kurşun-çinko madenciliği ve metalurjisi dünya çapında büyük bir sanayi kolu olup, toplam kurşun ve çinko üretimi; çelik, alüminyum ve bakır gibi metallerle birlikte ilk sıralarda yer almaktadır (Özdemir 2014).

Atom numarası 82 ve atom ağırlığı 207,19 gr/mol olan kurşun, periyodik cetvelde IVA grubunda bulunmaktadır. Kurşun, gümüş görünümünde parlak bir metaldir (Yüce, 1998). Yoğunluğu en yüksek olan metallerden biri olup, 16 °C'deki yoğunluğu 11,34 g/cm^3'dür. Yumuşak, kolaylıkla dövülebilen, kesilebilen ve tel haline getirilebilen bir metaldir (Kurşun vd., 2008). Kurşun, yumuşaklık ve işlenme kolaylığı, yüksek özgül ağırlığı, yüksek kaynama noktası, düşük ergime noktası, aşınmaya karşı direnci, enerji absorbsiyonu ve kısa dalga ışınları geçirmeme gibi özellikleri dolayısıyla geniş kullanım alanına sahiptir (Ateşok, 1991; Turan, 2002; Aykaç, 2006). Doğada 130'dan fazla kurşun minerali bulunmaktadır. Önemli kurşun minerallerine örnek olarak, galen (PbS), seruzit ($PbCO_3$), anglezit ($PbSO_4$), jamesonit ($PB_5FeSb_6S_{14}$), jordait ($Pb_4As_2S_7$), bulanjerit ($Pb_5Sb_4S_{11}$), piromorfit ($Pb_5CI(PO_4)_3$), mimetit ($Pb_5CI(AsO_4)_3$) ve vulfenit ($PbMoO_4$) söylenebilir. (Nunez vd., 1990; Mütevellioğlu, 2007; Zárate-Gutiérrez vd. 2010).

Yüksek tenörlü cevherlerin işlenerek bitmesi ile birlikte, daha düşük tenörlü, fakat büyük rezervli yatakların değerlendirilmek istenmesiyle cevher zenginleştirmede de gelişmeler artmıştır. (Bulut, 1991; Çilingir, 1996; Avcı, 2010). Kurşun-çinko

mineralleri, özellikle düşük tenörlü ve iri boyutta sertbestleşen cevherlerde aralarındaki yoğunluk farkından dolayı, jig ve sarsıntılı masalarla zenginleştirilebilmektedir. Ancak 20. yüzyılın başlarından itibaren gelişen flotasyon yöntemleri ile daha kaliteli konsantrelerin elde edilebilme olanaklarının artması ile gravite yöntemlerinin kullanımı azalmıştır. Flotasyon, ince boyutlarda serbestleşen galenin kazanılmasında en etkili yöntemdir (Bulut, 1991; Ahi, 1994; Uçurum, 2004).

Flotasyon artıkları kimyasal yapı ve oksitlenme derecesi bakımından diğer artıklardan farklılık göstermektedir. Kurşun-çinko üretimi sırasında çeşitli kademelerde üretilen artıklardan metalik değerlerin kazanılmasına yönelik olarak cevher hazırlama ve hidrometalurjik yöntemler mevcuttur. Artıkların değerlendirilmesine yönelik olarak sülfürik asit, sodyum hidroksitli çözücüler, amonyum hidroksitli çözücüler kullanılmakta ve basınç altında liç yapılabilmektedir. Son yıllarda biyoliç uygulamaları da söz konusu olmaktadır (Aykaç, 2006). Bu artıklarda bulunan çinkonun genellikle ferrit yapısında olması nedeniyle geri kazanılması oldukça güçtür. Diğer taraftan, kurşunun hidrometalurjik olarak geri kazanılabilmesi, çözünür kurşun bileşikleri oluşturacak reaktiflerin kullanılmasıyla mümkün olabilir. Bazı endüstriyel artıklardan kurşunun kazanılması için klorür tuzları (Raghavan vd., 1998; Raghavan vd., 2000), mineral asitler (Abdelbasir ve Rabah, 1999) ve asetik asit (Nagib ve Inoue, 2000) gibi reaktifler araştırılmıştır (Okyay, 2013; Yıldız 2015).

Galen mineralinin liç yöntemiyle kazanılması ile ilgili günümüze kadar çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Fuerstenau, 1987; Dutrizac, 1989; Dutrizac ve Chen, 1990; Nunez, 1990; Dutrizac ve Chen, 1995; Wu, 2014). Bu çalışma kapsamında da Balıkesir Balya bölgesi kurşun-çinko flotasyon tesisi artıklarındaki Pb'nin HCl liçi yöntemiyle yüksek verimle kazanılması amaçlanmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Deneylere esas olan flotasyon artık numuneleri, Eczacıbaşı Esan firmasının Balıkesir Balya bölgesinde faaliyet gösteren flotasyon tesisinden temin edilmiştir. Numuneler, tesisin filtrasyon çıkışından periyodik olarak yaklaşık %20 nem içeriğiyle alınmış, plastik variller içinde biriktirilmiş ve deneysel çalışmaların yapılacağı İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Cevher Zenginleştirme Laboratuvarı'na

nakledilmiştir. Numuneler, konileme-dörtleme yöntemi ve numune bölücü ile sistematik olarak azaltılmış ve deneysel çalışmalara hazır hale getirilmiştir.

Kimyasal çözündürme (liç) işlemleri karıştırma hızı ve sıcaklık kontrollü olarak karıştırmalı su banyosunda (Wise Bath, Almanya) erlenmayer içerisinde gerçekleştirilmiştir. Liç deneylerinde karıştırma hızı, pH ve liç sıcaklığı sürekli ölçülmüştür. Liç işlemi sonrasında ise çözeltiler 4 µm açıklığa sahip filtre kâğıtları (Whatman, ABD) ile filtre edilmiştir. Tüm deneylerde katı kalıntı %1'lik seyreltik HCl çözeltisi ile 2 defa yıkanmıştır. Katı faz kurutularak analize hazır hale getirilmiş ve ICP-MS yöntemi kullanılarak kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Liç verimleri ise aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır (L.V.: Liç Verimi, B: Besleme, K: Kalıntı).

$$\% L.V. = \frac{B\ (Pb) - K\ (Pb)}{B\ (Pb)} \cdot 100 \quad (1)$$

Liç deneylerinde Pb içeriklerinin yüksek verimle çözeltiye alınması amaçlanmıştır. %37 analitik sınıfta HCl kullanılarak, %5-35 PKO; 15-210 dak. liç süresi; 0,5-10 M asit konsantrasyonu ve 25–60 ^{o}C pülp sıcaklığı koşullarında, her bir parametre için optimum koşulların belirlenmesi için yapılan deneylerde elek ile kapalı devre halinde çalışılarak istenilen d_{100} tane boyutuna öğütülmüş numuneler kullanılmıştır. Deneyler esnasında söz konusu parametrelerin Pb çözünme verimleri üzerindeki etkileri gözlenmiştir. Liç deneylerindeki olası deney hatasının tespit edilmesi ve verilerin istatistiki açıdan güvenilirliğinin ortaya konulması amacıyla 3 tekrarlı ön liç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu ön liç deneylerinden elde edilen sonuçlar deney hatasının kabul edilebilir bir sınır olan ±0,1 seviyesinde olduğu göstermiş, buna bağlı olarak da sonraki deneylerde deney tekrarı yapılmamıştır.

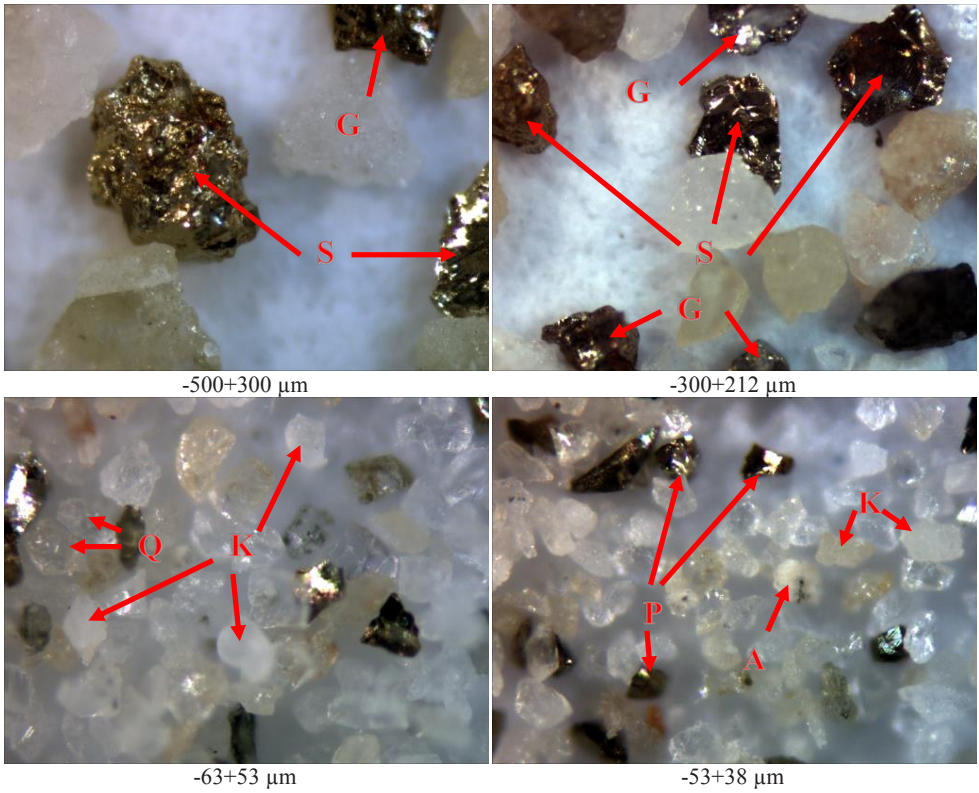
3. BULGULAR

3.1 Numunenin Özellikleri

Numuneler üzerinde yapılan yaş elek analizi sonuçlarına göre malzemenin d_{20} boyutunun 27 µm, d_{50} boyutunun 116 µm ve d_{80} boyutunun 220 µm olduğu tespit edilmiştir. Numunelerinin yoğunluklarının belirlenmesi amacıyla piknometre ile yapılan yoğunluk analizi sonucunda flotasyon artığı numunenin ortalama yoğunluğu 3,29 g/cm^3 olarak tespit edilmiştir.

Elek analizi sonucunda elde edilen fraksiyonlar mineral kompozisyonlarının belirlenmesi amacıyla optik mikroskop altında incelemeler yapılmıştır. Galen ve sfalerit

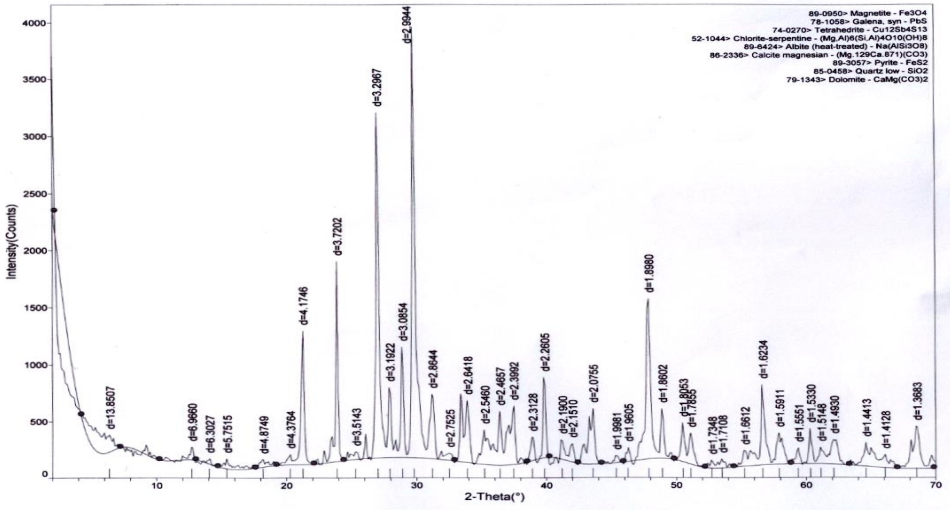
gibi opak cevher minerallerine daha çok iri boyutlarda, kalsit, kuvars, albit ve pirit gibi gang minerallerine de daha çok ince boyutlarda rastlanmıştır. Numuneye ait optik mikroskop fotoğrafları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Numuneye ait optik mikroskop fotoğrafları (G: Galen, S: Sfalerit, P: Pirit, K: Kalsit, Q: Kuvars, A: Albit)

Numunenin ICP-MS yöntemi ile gerçekleştirilen kimyasal analizi sonucunda temel oksitler, baz metaller ve iz elementlerin içerikleri tespit edilerek numunenin özellikle yüksek miktarlarda; 1500 ppm Pb, 1548 ppm Zn, 427 ppm As ve 4 ppm Ag içerdiği belirlenmiştir.

Numunenin mineralojik yapısının belirlenmesi için yapılan XRD analizleri sonucunda numunenin yüksek oranda manyetit ve galen içerdiği belirlenmiştir. Bunların dışında tetraedrit, albit, kalsit, pirit, kuvars ve dolomit minerallerinin de bulunduğu belirlenmiştir. Numunye ait XRD kırınım deseni Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Numunenin XRD kırınım deseni

3.2 Hidroklorik Asitle (HCl) Liç Deneyleri

Balıkesir-Balya Bölgesi'nden temsili olarak alınan kurşun-çinko atık numuneleriyle yapılan liç deneylerinde kurşun içeriklerinin yüksek verimle kazanılması amaçlandığından, konuyla ilgili daha önce yapılan literatür çalışmalarından elde edilmiş bulgular ve numunelerin kimyasal özellikleri göz önünde tutularak, deneylerde çözücü reaktif olarak HCl çözeltisinin denenmesi uygun görülmüş ve bu kapsamda pülpte katı oranı (PKO), liç süresi, pülp sıcaklığı ve asit dozajı parametrelerinin Pb çözünme verimlerine etkileri incelenmiştir.

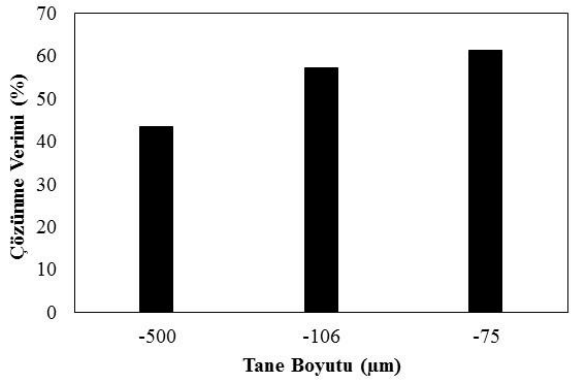
Klorürlerin varlığında galenin HCl ile oksijensiz liç edilmesi, kurşun sülfürün klorüre doğrudan dönüştürülmesine olanak sağladığından büyük önem taşımaktadır (Nunez vd., 1990). Galenin hidroklorik asit ile reaksiyonu Eşitlik 2'de verilmektedir.

$$PbS_{(k)} + 2HCl_{(s)} \rightarrow PbCl_{2(s)} + H_2S_{(g)} \quad (2)$$

3.2.1 Tane boyutunun etkisi

Öncelikli olarak, tane boyutunun liç verimine olan etkisini incelemek için, numunenin orijinal boyutu olan 500 µm *d100* tane boyutundaki artık numunesi ve çelik bilyalı değirmende kapalı devre öğütme sonucunda elde edilen 75 µm ve 106 µm *d100* tane boyutlarındaki artık numuneleri ile deneyler yapılarak optimum tane boyutu belirlenmiştir.

Tane boyutunun Pb çözünme verimi üzerindeki etkisini hassas olarak gözlemleyebilmek amacıyla diğer sabit parametrelerin değerleri %20 PKO, 40 ºC sıcaklık, 2 M HCl konsantasyonu ve 120 dakika liç süresi olmak üzere ortalama değerler olarak seçilmiştir. Pb çözünme veriminin tane boyutuna göre değişimi Şekil 3'de verilmiştir. Pb çözünme verimi 500 µm *d100* tane boyutunda %43,44 iken, 75 µm *d100* tane boyutunda %61,45'e ulaşmıştır. Deneyler sonucunda en yüksek Pb çözünme verimi hem galenin genel olarak ince boyutlarda serbestleşmesinden hem de serbest yüzey alanı artışından dolayı 75 µm *d100* tane boyutundaki malzeme ile gerçekleştirilen deney sonucunda elde edilmiştir. Buna göre sonraki deneylerde besleme tane boyutu -75 µm olarak alınmıştır.



Şekil 3. Pb çözünme veriminin tane boyutuna göre değişimi

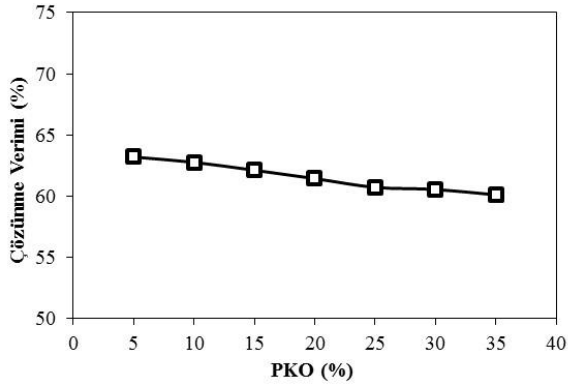
3.2.2 PKO etkisi

Deneylerde %5 ile %35 aralığındaki PKO değerleri denenmiş olup, 40 ºC sıcaklık, 2 M HCl konsantasyonu ve 120 dakika liç süresi parametreleri sabit tutulmuştur. En yüksek Pb çözünme verimi %63,21 ile %5 PKO şartlarında gerçekleşmiş olup bu noktadan sonra azalış doğrusal olarak devam etmiştir (Şekil 4). Ancak, çözünme verimleri arasında önemli bir fark olmadığından ve endüstriyel bazda düşünüldüğünde pülpte katı oranının düşmesi yatırım ve işletme maliyetlerinin artmasına neden olacağından %35'lik PKO şartlarında çalışılması daha doğru olacaktır.

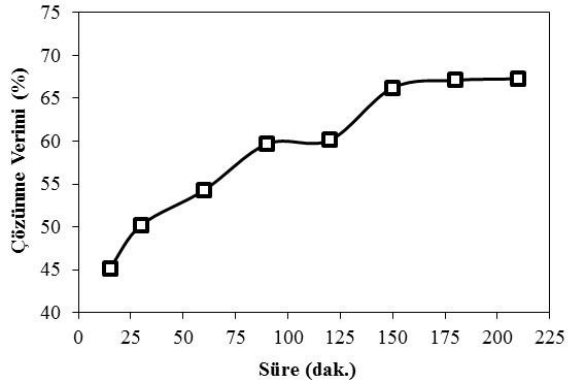
3.2.3 Liç süresinin etkisi

Liç süresinin etkisinin incelendiği deneylerde 40 ºC sıcaklık, 2 M HCl ve %35 PKO sabit koşullarında; 15-210 dakika liç sürelerinde deneyler gerçekleştirilmiş olup, elde

edilen sonuçlar Şekil 5'te verilmiştir. Sonuçlara göre, Pb çözünme verimlerinin genel olarak süreye bağlı olarak artış gösterdiği görülmektedir. Pb çözünme veriminin 150 dakikaya kadar arttığı ve %66,23 çözünme veriminin elde edildiği bu noktadan sonra sabitlendiği gözlenmiştir. Bu nedenle optimum liç süresi en yüksek çözünme veriminin elde edildiği 150 dakika olarak alınmıştır.



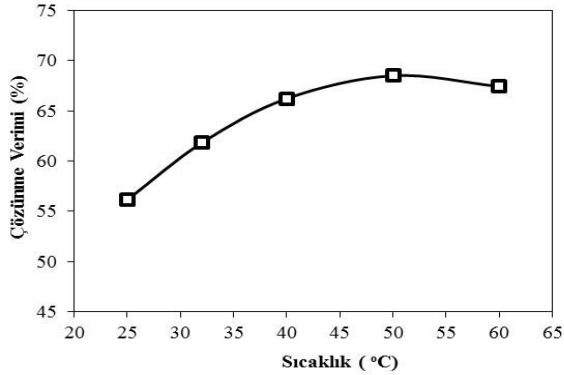
Şekil 4. Pb çözünme veriminin PKO'ya göre değişimi



Şekil 5. Pb çözünme veriminin süreye göre değişimi

3.2.4 Pülp sıcaklığının etkisi

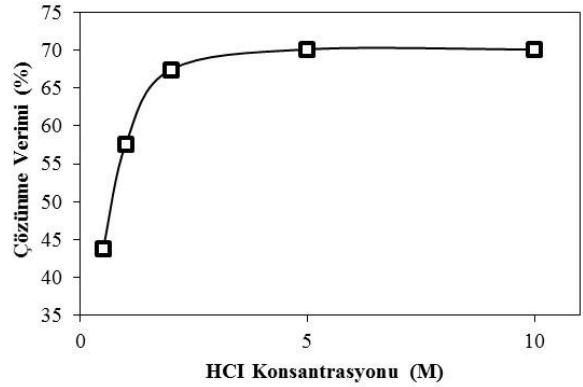
%35 PKO, 2 M HCl ve 150 dakika liç süresi koşullarında; Pb çözünme veriminin 25-60 ^{o}C pülp sıcaklıklarına göre değişimi Şekil 6'da verilmiştir. Pb çözünme verimlerinin pülp sıcaklığı artışına paralel olarak artan bir eğilim izlediği görülmektedir. Buna göre en yüksek Pb çözünme verimi 60^{o}'de elde edilmiştir.



Şekil 6. Pb çözünme veriminin pülp sıcaklığına göre değişimi

3.2.5 Asit konsantrasyonunun etkisi

Önceki deneylerde optimum değerler olarak belirlenmiş olan %35 PKO, 150 dakika liç süresi ve 60 ºC pülp sıcaklığı koşullarında; 0,5 M ve 10 M aralığındaki HCl konsantrasyonlarının Pb çözünme verimine etkisinin incelendiği deneylere ait sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Pb çözünme veriminin asit konsantrasyonuna göre değişim grafiği

Deney sonuçlarına göre; Pb çözünme veriminin genel olarak HCl miktarına paralel olarak artan bir eğilime sahip olduğu görülmektedir. Pb çözünme verimi 5 M asit miktarına kadar önemli bir artış göstermiş, bu noktadan sonra ise çözünme verimi açısından kayda değer bir artışın olmadığı gözlenmiştir. Herhangi bir kıymetli metalin liçi sırasında çözücü reaktif konsantrasyonunun mümkün olduğu kadar düşük tutulması gerekmektedir. Çözücünün konsantrasyonu arttırıldığında, reaktif maliyeti artmakta ve istenmeyen bileşiklerin de çözünmesi gerçekleşebilmekte; ayrıca, liç veriminin az da

olsa düşmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle en yüksek Pb çözünme verimi de %70,09 ile 5 M şartlarında gerçekleştiğinden optimum HCl miktarı 5 M olarak alınmıştır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, kurşun çinko zenginleştirme tesisi artıklarındaki galenin HCl liçi yöntemiyle çözünebilirliği incelenmiştir. Çalışma kapsamında Türkiye'de Balıkesir-Balya yöresinde faaliyet gösteren bir kurşun-çinko flotasyon tesisinden artık numuneleri alınmış, bu numuneler üzerinde laboratuar ölçekli liç deneyleri yürütülmüş ve deneylerde tane boyutu, pülpte katı oranı, liç süresi, pülp sıcaklığı ve asit konsatrasyonunun kurşun çözünme verimlerine etkileri incelenmiştir.

Liç deneylerinde; 500 µm, 106 µm ve 75 µm *d100* tane boyutları, %5-10-15-20-25-30-35 PKO'lar, 15-30-60-90-120-150-180-210 dak. liç süreleri, 0,5-1-2-5-10 M HCl konsantrasyonları ve 25-40-60 ^{o}C pülp sıcaklıkları denenmiş olup Pb için en iyi sonuçlar -75 µm tane boyutu, %35 PKO, 5 M HCl konsantrasyonu, 150 dak. liç süresi ve 60 ^{o}C pülp sıcaklığı koşullarında elde edilmiştir. Belirtilen bu optimum koşullarda gerçekleştirilen deneyler sonucunda, %70,09 Pb çözünme verimi elde edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında kurşun çinko zenginleştirme tesisi artıklarının değerlendirilebilme olanakları araştırılarak elde edilmiş olan verilerin kurşun-çinko artıklarından geri kazanım hususunda teknolojik ve bilimsel katkı sağlaması hedeflenmiştir.

Çalışmaya esas olan tesiste her yıl yaklaşık olarak yaklaşık 1.300.000 ton proses artığı meydana gelmekte ve bunlar atık barajında stoklanmaktadır. Numune üzerinde gerçekleştirilen kimyasal analiz sonuçlarına göre ise ortaya çıkan bu proses artıklarının metal kurşun içerikleri yaklaşık olarak yılda 2.000 ton kadardır. Tesis işletmeye alındığından beri birikmiş olan proses artıkları da göz önünde bulundurulduğunda bu artıkların kurşun içeriği açısından potansiyel bir kaynak olarak tekrar değerlendirilmesi hem ekonomik açıdan hem de artıkların geri dönüşümü açısından oldukça önemlidir.

Kimyasal çözündürme yöntemi ile kurşun-çinko artıklarından kurşun içeriklerinin kazanımının, alternatif kaynakların ortaya çıkması açısından önemli ve uygulanabilir bir proses olduğu bu çalışma ile desteklenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçların yapılacak bir asit geri dönüşümü çalışması sonrasında, hem sınırlı yeraltı

kaynaklarından en üst düzeyde yararlanılması hem de bu atıkların asit maden drenajı gibi potansiyel çevresel etkilerinin azltılması noktasında çevresel açıdan gerekli önlemlerin alınarak endüstriyel olarak da uygulanması önerilmektedir.

5. KAYNAKLAR

AbdelBasir, S.M., Rabah, M.A., 1999. Hydrometallurgical recovery of metal values from brass melting slag, Hydrometallurgy, 53, 1, p. 31-44.

Ahi, A. K., 1994. Bakırlı kurşun-çinko ham cevherinin 500 ton/gün kapasiteli flotasyon tesisinde zenginleştirilmesinin maliyet ve teknolojik etüdü, Dokuz Eylül Üniversitesi, Bitirme Projesi, İzmir.

Altundoğan, H. S., Boyrazlı, M., Turan, M. D., Tümen, F., 2014. Çinko ekstraksiyon artığından çinko ve kurşunun nitrik asit liçi ile kazanılması, UKMK-11, 11. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, Eskişehir.

Ateşok, G., 1991. Balya flotasyon atıklarının klasik flotasyon ve kolon flotasyonu ile zenginleştirilmesinin karşılaştırılması etüdü, İTÜ Maden Fakültesi.

Avcı, S. B., 2010. Balya yeraltı kurşun-çinko işletmesi teknik ofis maden mühendisi eğitim raporu, Eczacıbaşı Esan Endüstriyel Hammaddeler San. Tic. A. Ş.

Aykaç, Y., 2006. Oksit-sülfür karışımlı kurşun-çinko cevherlerinin flotasyon artıklarından hidrometalurjik yöntemlerle çinko kazanılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Bulut, G., 1991. Balıkesir-Balya yöresi kurşun-çinko artıklarının değerlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Çilingir, Y., 1996. Metalik cevherler ve zenginleştirme yöntemleri, Cilt I

Dutrizac J. E., 1989. The leaching of galena in cupric chloride media, Metallurgical Transactions B, 20, 4, p. 475-483.

Dutrizac J. E., Chen T. T., 1990. The effect of the elemental sulfur reaction product on the leaching of galena in ferric chloride media, Metallurgical Transactions B, 21, 6, p. 935-943.

Dutrizac J. E., Chen T. T., 1995. The leaching of galena in ferric sulfate media, Metallurgical Transactions B, 26, 2, p. 219-227.

Fuerstenau M. C., Nebo C. O., Elango B. V., Han K. N., 1987. The kinetics of leaching galena with ferric nitrate, Metallurgical Transactions B, 18, 1, p. 25-30.

Kurşun, İ., Kahriman, A., Demir, İ., Turgut, S., 2008. Türkiye kurşun çinko madenciliğinin genel bir değerlendirmesi, Türkiye Kurşun Çinko Yataklarının Jeolojisi, Madenciliği ve Mevcut Sorunları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Sf:366-379, 14-16 Ocak 2008, İstanbul.

Mütevellioğlu, N.A., 2007. Oksitli kurşun-çinko cevherinin değişik reaktiflerle ve koşullarda flotasyon ile zenginleştirilmesi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sivas.

Nagib, S., Inoue, K., 2000. Recovery of lead and zinc from fly ash generated from municipal incineration plants by means of acid and/or alkaline leaching, Hydrometallurgy, 56, 3, p. 269-292.

Nunez, C., Espiell, F., Garcia Zayas, J., 1990. Kinetics of galena leaching in hydrochloric acid-chloride solutions.

Okyay, V., 2013. Cevher zenginleştirmede liç yöntemi, Madencilik Türkiye Dergisi, s. 96-104.

Özdemir, E., 2014. Oksitlenmiş kompleks bakır-kurşun-çinko cevherinin flotasyonu, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Öztürk, E., 2010. Çanakkale Yenice kalkım çinko kurşun bakır cevherinin selektif flotasyon koşullarının ve kurşunun sodyum metabisülfit ile bastırılmasının araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

Raghavan, R., Mohanan, P.K., Patnaik, S.C., 1998. Innovative processing technique to produce zinc concentrate from zinc production residue with simultaneous recovery of lead and silver, Hydrometallurgy, 48, 2, p. 225-237.

Raghavan, R., Mohanan, P.K., Patnaik, S.C., 2000. Hydrometallurgical processing of lead bearing materials for the recovery of lead and silver as lead concentrate and lead metal, Hydrometallurgy, 58, 2, p. 58, 103.

Turan, M., 2002. Çinko ekstraksiyon artığından çinko ve kurşunun geri kazanılması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.

Uçurum, M., 2004. Kurşun-çinko cevherlerinin kolon flotasyonu ile zenginleştirilmesinin araştırılması, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana.

Wu Z., Dreisinger D. B., Urch H., Fassbender S., 2014. The kinetics of leaching galena concentrates with ferric methanesulfonate solution, Hyrdometallurgy, 142, p. 121-130.

Yıldız, N., 2015. Minerallerin zenginleştirilmesi, Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme 2. Cilt.

Yüce, E.A., 1998. Türkiye kurşun envanteri, İstanbul Maden ve Metaller İhracatçıları Birliği Yayınları (İMİB).

Zárate-Gutiérrez, R., Lapidus, G. T., Morales, R. D., 2010. Pressure leaching of a lead–zinc–silver concentrate with nitric acid at moderate temperatures between 130 and 170 °C.

ATIK SİYANÜR ÇÖZELTİLERİNDEN ANYONİK REÇİNELER İLE AĞIR METALLERİN ADSORPSİYONU

ADSORPTION OF HEAVY METALS FROM WASTE CYANIDE SOLUTIONS WITH ANIONIC RESINS

Fırat AHLATCI, Elif YILMAZ, Ersin Y. YAZICI, Oktay CELEP*, Hacı DEVECİ

Hydromet B&PM Araştırma Grubu, Cevher-Kömür Hazırlama Anabilim Dalı, Maden Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 61080, TRABZON, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: ocelep@ktu.edu.tr

ÖZET: Bu çalışmada, atık siyanür çözeltilerinden ağır metallerin (Cu, Zn ve Fe) anyonik reçineler ile uzaklaştırılması araştırılmıştır. Testler, siyanür liçi tesisinden alınan atık çözeltiler (135 mg/L Cu, 196 mg/L Zn ve 5,3 mg/L Fe) ile gerçekleştirilmiştir. Üç farklı anyonik reçine kullanılarak (Dowex 21K XLT, Purolite A193 ve Purolite S992) Cu ve Zn adsorpsiyon performansları (24 sa.) karşılaştırılmış ve en etkin reçinenin Dowex 21K XLT olduğu belirlenmiştir. Dowex 21K XLT kullanılarak farklı reçine dozajlarında (1-5-10-20 g/L) yapılan 24 saatlik kinetik testlerde, reçine miktarının artması ile metallerin adsorpsiyonları da artmıştır. Bakır adsorpsiyon verimlerinde 1. saatten sonra önemli bir değişim olmazken, 5 g/L reçine dozajında %57 (24 sa.), 10 g/L'de ise yüksek verimler (1 saatte %94) elde edilmiştir. Test edilen en yüksek reçine dozajında (20 g/L) ise bakırın tamamı ilk 1 saatte uzaklaştırılmıştır. Bakır için elde edilen sonuçlara benzer olarak, çinko ve demir için de yüksek adsorpsiyon verimlerine (≥%97) ulaşmak için ≥10 g/L reçine kullanılması gerektiği bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, Dowex 21K XLT anyonik reçine kullanılarak atık siyanür çözeltilerinden ağır metallerin (Cu, Zn ve Fe) yüksek verimlerle uzaklaştırılabileceği görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Siyanür, Atık çözelti, Ağır metaller, Reçine, Adsorpsiyon.

ABSTRACT: *In this study, removal of heavy metals (Cu, Zn and Fe) from cyanidation effluents using anionic resins was investigated. The effluent obtained (135 mg/L Cu, 196 mg/L Zn and 5,3 mg/L Fe) from a cyanide leach plant was used in tests. Cu and Zn*

adsorption performances (24 h.) of three different resins (Dowex 21K XLT, Purolite A193 and Purolite S992) were compared and Dowex 21K XLT was found to be the most effective resin. Kinetic tests at different dosages (1-5-10-20 g/L) of Dowex 21K XLT were carried out for 24 h. significant changes were observed to copper adsorption recoveries after 1. hour. Copper adsorption was fast in that no significant change in adsorption profile was observed after 1 h. A 57% of copper was adsorbed at 5 g/L resin. Adsorption of copper increased to 94% with increasing the resin dosage from 5 g/L to 10 g/L. Copper removal was almost complete at the highest resin dosage tested (20 g/L). Similarly, high resin dosages (≥10 g/L) appeared to be required to achieve high adsorption recoveries (≥%97) for zinc and iron. These findings demonstrate that heavy metals (Cu, Zn and Fe) can be readily removed from cyanidation effluents by using Dowex 21K XLT anionic resin.

Keywords *Cyanide, Effluent, Heavy metals, Resin, Adsorption.*

1. GİRİŞ

Siyanür madencilik, naylon, akrilik plastik vb. kimyasal madde üretimi, sentetik fiber/kauçuk üretimi, elektrolitik kaplama, alüminyum elektrolizi, kömür koklaştırma/gazlaştırma ve endüstriyel gaz temizleme gibi birçok endüstri tarafından kullanılmasına rağmen yüksek toksik özelliğe sahip bir kimyasaldır (Akcil, 2014; Akcil, 2002; Jackson ve Logue, 2017; Zagury vd., 2004). Bununla birlikte Dünya'da üretilen siyanürün %18'i madencilik sektöründe kullanılmaktadır (Yazıcı, 2005; Logsdon vd., 1999).

Siyanür liçi ile değerli metallerin (özellikle Au ve Ag) kazanımı tüm dünyada başarıyla uygulanan bir yöntemdir (Akcil vd., 2015). Değerli metal üretimi sonrasında ortaya çıkan atık çözeltinin, bir atık havuzuna deşarjından önce siyanür içeriğinin çevresel açıdan kabul edilebilir yasal sınırlara indirilmesi gerekmektedir. Örneğin ülkemizde Maden Atıkları Yönetmeliği'ne göre siyanürlü maden atığının atık barajına deşarj noktasında siyanür konsantrasyonu 10 mg/L'yi aşmamalıdır (Resmi Gazete, 2015). Ayrıca değerli metallerin yüklü liç çözeltisinden kazanımı (aktif karbon adsorpsiyonu veya Zn sementasyonu) sonrasında kalan atık çözeltiler, siyanürün yanı sıra ağır metal siyanür kompleksleri de ($Cu(CN)_3^{-2}$, $Zn(CN)_4^{-2}$, $Ag(CN)_2^{-}$, $Ni(CN)_4^{-2}$, $Fe(CN)_6^{-4}$, $Hg(CN)_4^{-2}$, $Co(CN)_6^{-4}$ vs.) içerir. Atık çözeltilerde ağır metallerin varlığı ve

çeşitliliği, maden yatağının jeokimyasal karakteristiği ve cevherin mineralojisi ile ilişkilidir (Jung, 2001). Ağır metaller çevre ve insan sağlığı açısından önemli riskler oluşturmaktadır. İnsanlarda büyüme ve gelişimi olumsuz etkiler, kanser, organlarda ve sinir sisteminde tahribat ve hatta ölüme sebep olabilir (Barakat, 2011).

Atık çözeltilerdeki siyanür konsantrasyonunun düşürülmesi amacıyla bozundurma yöntemleri (INCO SO_2/Hava ve H_2O_2 ile oksidasyon) kullanılmaktadır. Ancak siyanür bozundurma işlemleri hem ilave bir yatırım ve işletme maliyeti oluşturmakta hem de bozundurulan siyanürün yerine sürekli yeni siyanür kullanımını gerektirmektedir (SGS, 2009). Bu nedenlerden dolayı özellikle yüksek siyanür tüketiminin gerektiği cevher (örneğin; bakırlı altın cevherleri) tiplerinde genellikle siyanür geri kazanım yöntemleri tercih edilmektedir (Kuyucak ve Akcil, 2013). Siyanür geri kazanımı için AVR (acidification-volatilisation-resabsorption), SART (sulphidisation-acidification-recycling-thickening), aktif karbon adsorpsiyonu, iyon değişimi ve solvent ekstraksiyon yöntemleri kullanılmaktadır (Adams ve Lloyd, 2008; Zheng vd., 2015; Zhang vd., 2015).

İyon değişimi yöntemi değerli metallerin liç çözeltilerinden kazanımının yanı sıra atık liç çözeltilerindeki ağır metallerin uzaklaştırılması için de kullanılabilmektedir. Bu yöntem, atık çözeltilerdeki metal kirliliğini kontrol altına almak için uygun reçine seçimi ile etkin ve ekonomik bir yöntem olarak uygulanabilir (USEPA, 1981; USEPA, 2000).

Reçinelerin yüksek kimyasal/mekanik duraylılığı ve yüksek kapasiteleri gibi avantajlara sahip olan iyon değişimi yöntemi, siyanürün geri kazanımı için önemli bir alternatiftir (Zhang vd., 2015). Yöntemin bir diğer avantajı da ağır metallerin atık siyanür çözeltilerinden uzaklaştırılması sonrasında temiz atık çözelti, tesis suyu olarak tekrar kullanılarak su ve kısmen siyanür tüketiminin azaltılmasıdır. Siyanür çözeltilerinde bakır, çinko, nikel, demir gibi metaller siyanür ile kararlılığı yüksek kompleksler oluşturur (örn.; $Cu(CN)_3^{-2}$, $Zn(CN)_4^{-2}$, $Ni(CN)_4^{-2}$, $Fe(CN)_6^{-4}$). İyon değişimi esnasında metal siyanür komplekslerinin reçinelere adsorplanması aşağıdaki gibi gösterilebilir (Denklem 1) (Ok ve Jeon, 2014).

$$x\text{R-Cl}^- + [\text{M(CN)}_y]^{-z} \rightarrow \text{R-}[\text{M(CN)}_y]^{-z} + x\text{Cl}^- \quad (1)$$

R: Reçine; x,y,z: atık çözelti içerisinde konsantrasyona/pH'a bağlı katsayılar; M: Metal

Siyanürün reçineler ile geri kazanımı ile ilgili çalışma ilk kez 1950'lerde Goldbaltt (1956, 1959) tarafından yapılmıştır. Çalışma ile iyon değişimi yöntemi sonrasında asitleştirme ve çöktürme işlemlerinin uygulandığı bir proses geliştirilmiştir. Bu proses bir tesis atığından iyon değişimi yöntemi kullanılarak bakır ve diğer metal siyanür komplekslerinin reçinelere yüklenmesi, sonrasında yüklü reçinelerin sülfürik asit ile yıkanması adımlarını kapsamaktadır. Asitleştirme sonrasında gaz formundaki siyanür (HCN) kapalı ve bazik ortamda tekrar çözelti formuna getirilerek siyanür kazanılmaktadır. Özellikle katı/sıvı ayrımının problem olduğu, lateritik, yüksek kil içerikli, yapışkan veya viskoz cevherlerin atıklarından, pulp içinde reçine (RIP) yöntemi ile siyanür geri kazanımı mümkündür (Fleming, 2010; Kuyucak ve Akcil, 2013). Genellikle kuvvetli bazik reçineler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, atık siyanür çözelti içerisinde bulunan ağır metallerin iyon değişimi yöntemi ile uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Farklı anyonik reçinelerin Cu, Zn ve Fe gibi ağır metalleri adsorpsiyon kapasiteleri karşılaştırılmış ve seçilen uygun anyonik reçine ile sürenin ve reçine dozajının etkisi araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada kullanılan atık siyanür çözeltisi 135 mg/L Cu, 196 mg/L Zn ve 5,3 mg/L Fe içermektedir. Çözeltinin serbest siyanür konsantrasyonu ise 1,5 g/L NaCN'dir. Atık çözeltiden metallerin uzaklaştırılması için üç farklı anyonik reçine (Dowex 21K XLT, Purolite A193, Purolite S992) kullanılmıştır (Tablo 1). Reçinelerin metal adsorpsiyon performansları arasındaki farkı belirlemek için 24 saatlik testler yapılmıştır. Bu testler ışığında belirlenen, adsorpsiyon performansı en yüksek reçine ile kinetik testler yapılmış ve metal uzaklaştırma verimleri hesaplanmıştır. Testlerin tümü pH 10,5'te, oda sıcaklığında (25°C) orbital çalkalayıcıda 200 dev/dk. hızda çalkalanarak, 150 mL hacimli flakslar içerisinde ve 100 mL atık siyanür çözeltisi ile gerçekleştirilmiştir. Çözelti metal konsantrasyonları Atomik Adsorpsiyon Spektrometresi (AAS, Perkin Elmer AAnalyst 400) ile belirlemiştir. Çözeltilerin seyreltilmesi 1,5 g/L NaCN çözeltisi ile yapılmıştır. Reçinelerin performansının değerlendirildiği testler 1 g/L reçine dozajında gerçekleştirilmiştir. 24 saatlik çalkalama sonunda çözeltideki Cu ve Zn konsantrasyonları karşılaştırılarak adsorpsiyon performansı en yüksek reçine belirlenmiştir.

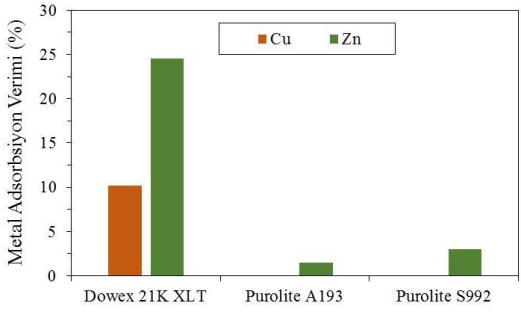
Tablo 1. Deneyler kullanılan reçinelerin özellikleri

Reçine Adı	**Dowex 21K XLT**	**Purolite A193**	**Purolite S992**
Tipi	Kuvvetli bazik	Orta (intermediate) bazik	Orta (intermediate) bazik
Fonksiyonel Grup	Kuaterner aminler	Karma aminler	Karma aminler
Nem İçeriği	%50-60	%46-56	%47-55
Yoğunluk	1,08 g/mL	1,06 g/mL	1,05 g/mL
Kapasite	1,4 eq/L dk	3,8 eq/kg	4,4 eq/kg
Parçacık boyut aralığı	525-625 µm	800-1300 µm	800-1300 µm

Daha sonra performansı en yüksek reçine kullanılarak farklı dozajlarda (1 g/L, 5 g/L, 10 g/L, 20 g/L) kinetik testler yapılmıştır. Kinetik testlerde çözeltiden 1, 2, 4, 8 ve 24 saat sonunda örnekler alınarak Cu ve Zn konsantrasyonlarındaki değişimler takip edilmiştir. Fe konsantrasyonu sadece 24. saat sonunda belirlenmiştir.

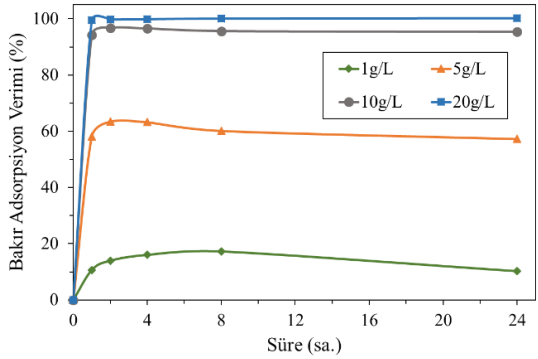
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Reçinelerin performanslarının değerlendirildiği adsorpsiyon testleri sonucunda, Dowex 21K XLT ile 24 saatlik'lik adsorpsiyon sonucunda bakır uzaklaştırma verimi %10,2 ve çinko uzaklaştırma verimi ise %24,5 olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Purolite A193 ile kayda değer bir bakır ve çinko adsorpsiyonu gözlenmemiştir. Benzer şekilde Purolite S992 ile de sadece %2,2 Cu ve %3 Zn adsorpsiyon verimleri belirlenmiştir. Bu verilere göre en yüksek adsorpsiyon performansına sahip Dowex 21K XLT ile çalışmalar yürütülmüştür. Literatürde kuvvetli bazik reçineler ile orta/zayıf bazik reçinelerin karşılaştırıldığı bazı çalışmalarda da benzer şekilde bakır ve çinko adsorpsiyonunun kuvvetli bazik reçinelerde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Schoeman vd., 2017; Bachiller vd., 2004; Fleming ve Cromberge, 1984).

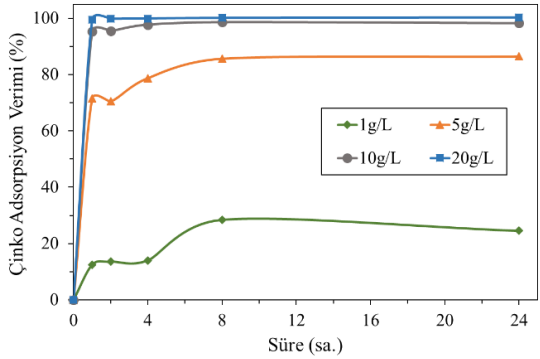


Şekil 1. Farklı anyonik reçinelerin bakır ve çinko adsorplama performansları (Cu: 135 mg/L; Zn: 196 mg/L; Anyonik reçine miktarı: 1 g/L; Serbest siyanür: 1,5 g/L NaCN; pH: 10,5; Adsorpsiyon süresi: 24 saat)

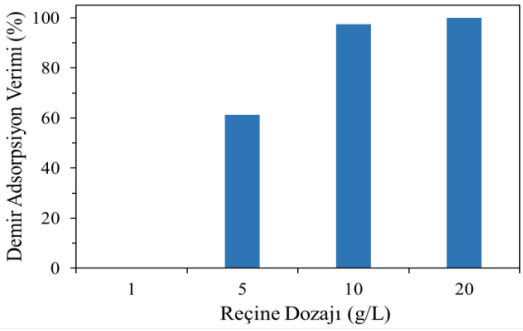
Adsorpsiyon testlerinde en iyi sonucun elde edildiği Dowex 21K XLT reçinesi ile 24 saatlik kinetik testler yapılmıştır. Reçine dozajındaki artışın (1 g/L-20 g/L) Cu, Zn ve Fe adsorpsiyon verimlerine doğrudan etkisi olduğu görülmektedir (Şekil 2-4). İlk 1 saatten sonra 5, 10 ve 20 g/L reçine dozajlarında bakır adsorpsiyon verimlerinde önemli bir artışın olmadığı gözlenmektedir. Reçine dozajının 1 g/L'den 5 g/L'ye arttırılması ile 24 saat sonunda, bakır adsorpsiyon veriminin ~5,5 kat (%10,2'den %57,3'e) arttığı belirlenmiştir. 8. saatin sonunda 1 g/L reçine dozajında bakır adsorpsiyon verimi %17,2'ye ulaşmış ancak 24. saat sonunda verim %10,2'ye düşmüştür. 10 g/L reçine dozajında ise bakır kazanma veriminin 1. saat sonunda %94,3'e, 24. saat sonunda ise biraz daha artış göstererek %95,4'e ulaştığı tespit edilmiştir. Reçine dozajı 20 g/L iken 1. saat sonunda bakırın tamamı çözeltiden uzaklaştırılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Dowex 21K XLT reçine dozajının bakır adsorpsiyon verimine etkisi (Cu: 135 mg/L; Serbest siyanür: 1,5 g/L NaCN; pH 10,5)



Şekil 3. Dowex 21K XLT reçine dozajının çinko adsorpsiyon verimine etkisi (Zn: 196 mg/L; Serbest siyanür: 1,5 g/L NaCN; pH 10,5)



Şekil 4. Dowex 21K XLT reçine dozajının demir adsorplama verimine etkisi (Fe: 5,3 mg/L; Serbest siyanür: 1,5 g/L NaCN; pH 10,5)

Çinko adsorpsiyon veriminin 1 g/L ve 5 g/L reçine dozajlarında, 8. saat sonuna kadar artış gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 3). İlk 8 saatlik adsorpsiyon süresi sonunda, 1 g/L reçine dozajında çinko adsorpsiyon veriminin 2 kattan fazla artış göstererek %12,4'den %28,5'e ulaştığı, 5 g/L reçine dozajında ise verimin %71,5'ten %86,4'e ulaştığı tespit edilmiştir. Daha yüksek reçine dozajlarındaki (10 g/L ve 20 g/L) çinko adsorpsiyon verimlerinde ise ilk bir saatten sonra önemli bir değişimin olmadığı ve çinkonun tamamı ya da tamamına yakınının (sırasıyla %98,2 ve %100) çözeltiden uzaklaştırıldığı belirlenmiştir (Şekil 3). Bu veriler adsorpsiyon işleminin hızlı bir işlem olduğu ve büyük ölçüde ilk bir saat içerisinde tamamlandığını göstermektedir.

Demir adsorpsiyon verimleri incelendiğinde, 24 saat adsorpsiyon süresi sonunda 1 g/L reçine dozajında demirin adsorplanmadığı; ancak, daha yüksek reçine dozajlarında (5, 10, 20 g/L) adsorpsiyon veriminin arttığı görülmektedir (Şekil 4). Demir adsorpsiyon veriminin 5 g/L reçine dozajında %61,3'e ulaştığı tespit edilmiştir. Reçine dozajı 10-20 g/L'ye arttırıldığında, çözeltiden demirin neredeyse tamamı (%97,4-100) uzaklaştırılmıştır (Şekil 4). Bu çalışmada 1 g/L reçine dozajında gözlemlenen düşük bakır, çinko ve demir adsorpsiyon verimlerinin aksine, Schoeman vd. (2017) Fe, Ni, Cu, Zn, Pd, Pt ve Au içeren sentetik çözelti (serbest siyanür 150 mg/L CN^-) ile Dowex 21K XLT (dozaj 1g/L) reçinesini test etmiş ve 24. saat sonunda Cu, Zn ve Fe adsorplanma verimlerinin >%80 olduğunu tespit etmişlerdir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada atık siyanür çözeltisinden ağır metallerin uzaklaştırılmasında Dowex 21K XLT, Purolite A193 ve Purolite S992 gibi bazik anyonik reçineler kullanılarak ağır

metallerin (Cu, Zn, Fe) uzaklaştırılması araştırılmıştır. Dowex 21K XLT anyonik reçinenin bakır ve çinko adsorpsiyon veriminin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında Dowex 21K XLT reçinesi ile farklı dozajlarda (1, 5, 10, 20 g/L) kinetik testler (24 saat) yapılmıştır. Bu testlerde bakır, çinko ve demirin adsorpsiyon verimlerinin reçine dozajının artması ile arttığı tespit edilmiştir. Yüksek reçine dozajlarında >10 g/L bakır, çinko ve demirin yüksek oranlarda (≥%95,4 Cu, ≥%98,2 Zn ve ≥%97,4 Fe) uzaklaştırılabildiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, atık siyanür çözeltilerinden ağır metallerin (Cu, Zn ve Fe) uzaklaştırılması için Dowex 21K XLT reçinesinin kullanılabileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

Adams, M., Lloyd, V., 2008. Cyanide recovery by tailings washing and pond stripping, Minerals Engineering, 21, 501–508.

Akcil, A., 2002. First application of cyanidation process in Turkish gold mining and its environmental impacts, Minerals Engineering, 15, 695–699.

Akcil, A., 2014. Siyanür yönetilebilir bir kimyasal mı? Madencilik Türkiye, 38, 68-72.

Akcil, A., Erust, C., Gahan, C.S., Ozgun, M., Sahin, M., Tuncuk, A., 2015. Precious metal recovery from waste printed circuit boards using cyanide and non-cyanide lixiviants – A review, Waste Management, 45, 258–271.

Bachiller, D., Torre, M., Redueles, M., Diaz, M., 2004. Cyanide recovery by ion exchange from gold ore waste effluents containing copper, Minerals Engineering 17, 767–774.

Barakat, M.A., 2011. New trends in removing heavy metals from industrial wastewater, Arabian Journal of Chemistry, 4, 361-377.

Fleming C.A., 2010. Cyanide management in the gold industry, SGS Minerals Services Technical Paper, 4, 3s.

Fleming, C.A., 2016. Cyanide Recovery, Advances in Gold Ore Processing, 2nd Edition, Edited by Adams, M.D., Western Australia: Elsevier, 647-661.

Fleming, C.A., Cromberge, C., 1984. The elution of aurocyanide from strong- and weak-base resins. J. S. Afr. Min. Metal. 84 (9), 269-280.

Goldblatt, E., 1956. Recovery of cyanide from waste cyanide solutions by ion exchange. Ind. Eng. Chem. 48, 12, 2107.

Goldblatt, E., 1959. Recovery of cyanide from waste cyanide solutions by ion exchange. Ind. Eng. Chem. 51, 241-246.

Jackson, R., Logue, B.A., 2017. A review of rapid and field-portable analytical techniques for the diagnosis of cyanide exposure, Analytica Chimica Acta, 960, 18-39.

Jung, M.C., 2001. Heavy metal contamination of soils and waters in and around the Imcheon Au–Ag mine, Korea, Applied Geochemistry ,16, 1369–1375.

Kuyucak, N., Akcil, A., 2013. Cyanide and Removal Options from Effluents in Gold Mining and Metallurgical Processes, 50-51, 13–29.

Logsdon, M.J., Hagelstein, K. ve Mudder, T.I., 1999. The Management of Cyanide in Gold Extraction, International Council on Metals And The Environment, Ottawa, Ontario, Canada.

Ok, Y.S., Jeon, C., 2014. Selective adsorption of the gold–cyanide complex from waste rinse water using Dowex 21K XLT resin, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 20, 1308-1312.

Resmi Gazete, 2015. Maden Atıları Yönetmeliği, 15 Temmuz.

Schoeman, E., Brandshaw, S.M., Akdoğan, G., Snyders, C.A, Eksteen, J.J., 2017. The extraction of platinum and palladium from a synthetic cyanide heap leach solution with strong base anion exchange resins.

SGS, 2009. Cyanide Recovery, Technical Paper, No. T3 SGS 019, SGS Minerals Services.

USEPA, 1981. Control and treatment technologv for the metal finishinq industry ion exchange, Summary Report, 46 s.

USEPA, 2000. Managing cyanide in metal finishing, Capsule Report, 23s.

Yazıcı, E.Y., 2005. Atık Sulardaki Siyanürün Hidrojen Peroksit, Aktif Karbon Adsorpsiyonu ve Ses Ötesi Dalgalarla Uzaklaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Zagury, G.J., Oudjehani, K., Deschenes, L., 2004. Characterization and availability of cyanide in solid mine tailings from gold extraction plants, Science of the Total Environment, 320, 211–224.

Zhang, Y., Yu, X., Wang, Q., Jiang, Z., Fang, T., 2015. Adsorption of zinc onto anionic ion-exchange resin from cyanide barren solution, Chinese Journal of Chemical Engineering, 23, 646–651.

Zheng, Y., Li, Z., Wang, X., Gao, X., Gao, C., 2015. The treatment of cyanide from gold mine effluent by a novel five-compartment electrodialysis, Electrochimica Acta, 169, 150–158.

ERZİNCAN ÇÖPLER SÜLFÜRLÜ ALTIN CEVHERİNE YAPILAN ÖN İŞLEMLERİN ALTIN ÇÖZÜNME VERİMİNE ETKİSİ

THE EFFECT OF PRETREATMENTS OF ERZINCAN COPLER SULFUR GOLD ORE TO THE DISSOLUTION EFFICIENCY OF GOLD

İlgin KURŞUN, Mert TERZİ*

İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: mert.terzi@istanbul.edu.tr

ÖZET: Yumuşaklığı, kolay şekil alabilmesi, mükemmel elektrik ve ısıl iletkenlik özellikleri nedeniyle metaller arasında özel bir yere sahip olan altın, insanlar tarafından kullanılan en eski metaldir. Altın madenciliği; arama çalışmalarından başlayarak üretim ve zenginleştirme proseslerini de kapsayan genel bir endüstri dalı olup söz konusu çalışmalar mineralojik, kimyasal, fiziksel ve metalurjik faktörlere; cevher sahasına özgü teknikler ve süreç seçimine bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Günümüzde altın madenciliği açık ocak işletmeciliği veya uygun olan lokasyonlarda yeraltı madenciliği şeklinde yapılmakta ve altın cevherlerinin zenginleştirilmesinde temel olarak siyanürleme (%83-85), flotasyon (%10-14) ve gravite (%3-5) gibi çeşitli prosesler uygulanmaktadır. Karakteristik bir metalurjik akışkan yataklı işlem olan kavurmanın amacı ya refrakter altınların siyanür çözeltisiyle temasını sağlamak ya da siyanür harcayan bileşikleri etkisiz hale getirerek altın kazanma verimini arttırmaktır. Kavurma zengin refrakter cevherler için çözüm yollarından birini oluşturmaktadır. Bu çalışma kapsamında, Erzincan Çöpler bölgesi sülfürlü altın cevheri numunelerine oksitleyici kavurma uygulanarak kavurma sıcaklığı ve kavurma süresinin liç verimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneyler kapsamında 30, 60, 120, 240 dk kavurma süresi ve 650, 750, 850, 950 °C kavurma sıcaklığı parametreleri denenmiş olup en yüksek altın kazanma verimi -75 µm tane boyutu, %20 PKO, 1 g/l NaCN miktarı, 360 dk liç süresi, 60 dk kavurma süresi ve 750 °C kavurma sıcaklığı koşullarında % 79,43 olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Altın, Çözünme verimi, Liç, Kavurma sıcaklığı, Kavurma süresi

ABSTRACT: *Gold is the oldest metal used by people because of its special place among metals due to its softness, easy shape, excellent electrical and thermal conductivity properties. Gold mining is a general industry area that includes production and enrichment processes starting from exploration work, and such studies actualize depending on mineralogical, chemical, physical and metallurgical factors; the ore-specific techniques and process selection. Nowadays, gold mining is performed as open pit mining or underground mining in suitable locations and various processes such as cyanidation (83-85%), flotation (10-14%) and gravity (3-5%) are mainly applied in the enrichment of gold ores. The aim of roasting which is a characteristic metallurgical fluidized deposit process, is either to provide contact of the refractory gold with the cyanide solution or to increase the efficiency of gold by neutralizing cyanide-sparing compounds. Roasting is one of the solutions for rich refractory ores. Within the scope of this study, oxidizing roasting was applied to sulfurized gold ore samples taken from Erzincan Çöpler region, and the effect of roasting temperature and roasting time on leaching efficiency were investigated. Within the scope of the experiments, 30, 60, 120, 240 min roasting times and 650, 750, 850, 950 °C roasting temperature parameters have been tried out, and the highest gold dissolution efficiency was obtained as 79.43% at 75 μm particle size, 20% PKO, 1 g/l NaCN amount, 360 min. leaching time, 60 min roasting time and 750 °C roasting temperature conditions.*

Keywords: *Gold, Dissolution efficiency, Leaching, Roasting temperature, Roasting time*

1. GİRİŞ

Yumuşaklığı, kolay şekil alabilmesi, mükemmel elektrik ve ısıl iletkenlik özellikleri nedeniyle metaller arasında özel bir yere sahip olan altın, insanlar tarafından kullanılan en eski metaldir (Küçük, 2007; Sayın, 2010; Habashi, 2016). Saf altın ve birçok altın alaşımı nonmanyetiktir, metalik elementler içinde en inert olandır, korozyona karşı mükemmel bir dayanıklılık ve direnç sergilemektedir (Yannapoulos, 1991; Gad, 2014). Altın doğada genellikle saf veya elektrum denilen altın-gümüş alaşımı olarak, bazen de tellüridler halinde bulunmaktadır. Minerallerin kristal kafeslerinde kendisine kimyasal olarak benzeyen elementlerle yer değiştirebilmekte veya pirit (FeS_2), arsenopirit (FeAsS), kalkopirit ($CuFeS_2$), stibnit (Sb_2S_3), orpiment (As_2S_3) ve realgar (AsS) gibi

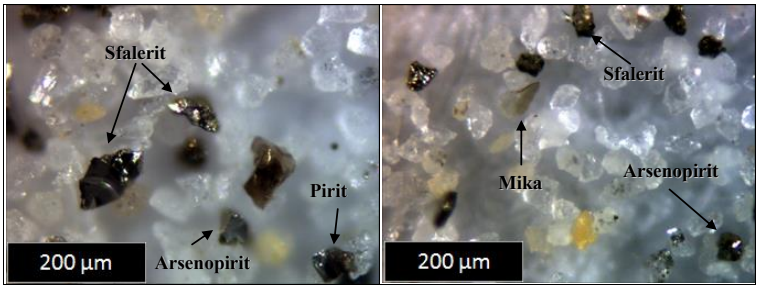
minerallerde küçük kapanımlar halinde de gözlenmektedir (Selengil, 2005; Kurşun, 2007).

Altın madenciliği; arama çalışmalarından başlayarak üretim ve zenginleştirme proseslerini de kapsayan genel bir endüstri dalı olup söz konusu çalışmalar cevher sahasına özgü teknikler ve süreç seçimi; mineralojik, kimyasal, fiziksel ve metalurjik faktörlere bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, herhangi bir altın prosesi için test çalışmalarının oluşturulmasında bu bilgiler önem arz etmektedir (Angove ve Acar, 2016; Adams, 2016). Günümüzde altın madenciliği açık ocak işletmeciliği veya uygun olan lokasyonlarda yeraltı madenciliği şeklinde yapılmakta ve altın cevherlerinin zenginleştirilmesinde temel olarak siyanürleme (%83-85), flotasyon (%10-14) ve gravite (%3-5) gibi çeşitli prosesler uygulanmaktadır (Kurşun, 2010; MTA, 2016; Lampinen vd., 2017). Altının liç yöntemi ile zenginleştirilmesi çeşitli reaktifler kullanılarak geliştirilmiştir (Bas vd., 2015; Breuer vd., 2005). En çok kullanılan yöntemlerden biri olan, 100 yılı aşkın bir süredir efektif olarak uygulanan siyanürleme yöntemi yüksek duyarlılığa, düşük işletme maliyetlerine ve oldukça yüksek verimliliğe sahiptir (Yanuar ve Suprapto, 2015; Anderson, 2016). Siyanür, altın ile güçlü bir kompleks oluşturabilme yeteneğine sahip olup cevherlerden altının kazanılması için en uygun reaktiftir (Güngör ve Kurşun, 2005; Kunter ve Mridha, 2016; Habashi, 2016).

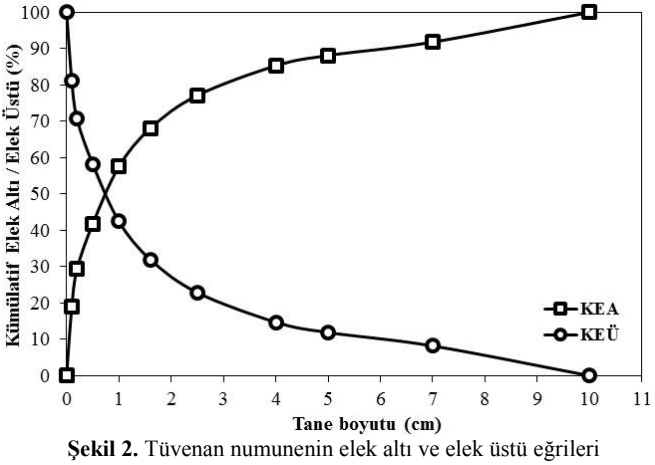
Karakteristik bir metalurjik akışkan yataklı işlem olan kavurmanın amacı ya refrakter altınların siyanür çözeltisiyle temasını sağlamak ya da siyanür harcayan bileşikleri etkisiz hale getirerek altın kazanma verimini arttırmaktır (Çelik, 2005; Hammerschmidt vd., 2016). Uzun periyodda yüksek sıcaklıklı kavurma ve siyanür etkisi sonrası; sülfürler ve oksitler çözünmekte, siyanür atıklarında bulunan minerallerin yüzey özelliklerinde büyük değişim meydana gelmektedir (Bailong vd., 2013). Oksitleyici kavurma gerektiren cevher ve konsantreler genellikle arsenopirit, stibnit, pirotin ve pirit minerallerinin bir ya da birkaçını birlikte içermektedirler. Altın bu mineraller içinde çok ince taneli olarak dağıldığından ince öğütme bile siyanürlemeyle yeterli oranda altın kazanılmasına yetmeyebilir. Kavurma zengin refrakter cevherler için çözüm yollarından birini oluşturmaktadır (Bayraktar ve Yarar, 1990). Bu çalışma kapsamında, Erzincan Çöpler bölgesi sülfürlü altın cevheri numunelerine oksitleyici kavurma uygulanarak kavurma sıcaklığı ve kavurma süresinin liç verimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Deneysel çalışmalara esas olan sülfürlü altın cevheri Erzincan ilinin İliç-Çöpler bölgesinde faaliyet gösteren özel bir firmaya ait maden ocağından alınmıştır. Öncelikli olarak çeşitli numune azaltma işlemlerine tabi tutulan numuneler üzerinde fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerin saptanması amacıyla bir dizi karakterizasyon çalışması yapılmıştır. Deneylere esas olan numunenin nem içeriğini saptamak amacıyla Memmert ULM500 marka etüvde 105°C'de nem analizleri yapılarak tüvenan numunenin toplam %3,82 nem içerdiği belirlenmiştir.Yapılan kimyasal analizlerle numunenin 3,67 g/t Au, 9,81 g/t Ag ve 0,11 g/t Cu içerdiği; optik mineralojik incelemeler sonucunda da numunede sfalerit, arsenopirit, pirit ve mika minerallerine rastlandığı gözlenmiştir (Şekil 1). Kuru eleme yöntemi kullanılarak yapılan tane boyut analizlerinde 7 cm, 5 cm, 4 cm, 2,5 cm, 1,6 cm, 1 cm, 0,5 cm, 0,2 cm ve 0,1 cm açıklığında elek serisi kullanılmıştır. Elek altı–elek üstü sonuçlarından tüvenan numunenin d_{50} boyutu 0,75 cm ve d_{80} boyutu 2,95 cm olarak bulunmuştur (Şekil 2).



Şekil 1. Numunenin optik mikroskop altındaki görüntüleri



Şekil 2. Tüvenan numunenin elek altı ve elek üstü eğrileri

Oksitleyici kavurma ve siyanür liçi deneylerinde kullanılmış olan numuneler çeneli kırıcı (Denver, A.B.D.; maksimum besleme boyutu 10 cm, minimum çıkış boyutu 1 cm ve 50 kg/sa. kapasiteli) ve merdaneli kırıcıda (Ünal Mühendislik, Türkiye; maksimum besleme boyutu 2 cm, minimum çıkış boyutu 0,1 cm ve 500 kg/sa. kapasiteli) sırasıyla -10 mm ve -1 mm tane boyutuna indirilmiş ve bilyalı değirmende (maksimum besleme boyutu 0,5 cm ve 5 kg/sa. kapasiteli) elekle kapalı devre halinde öğütülerek d_{80}=106 µm ve d_{80}=75 µm tane boyutuna getirilmiştir. Tane boyutunun altının çözünme verimine etkisinin araştırılması için yapılan ön deneylerin sonucunda d_{80}=75 µm tane boyutunda daha yüksek altın çözünme verimi elde edildiğinden deneysel çalışmalarda d_{80}=75 µm tane boyutundaki numune kullanılmıştır.

Oksitleyici kavurma işlemleri kül fırınında (Protherm, Türkiye; max. sıcaklık: 1200 °C) porselen krozeler içerisinde gerçekleştirilmiştir. Oksitleyici kavurma işleminde numunenin oksitleyici ortamla maksimum temasını temin etmek için toplam 20 gr numune 10 adet krozeye eşit miktarlarda ve yaklaşık 1 mm kalınlığında tabakalar şeklinde konulmuştur. Kavurma işlemlerinde numuneler hem ortamdaki oksijen miktarının yenilenmesi hem de işlemde homojenizasyonu sağlamak için 10 dakikalık periyotlarla karıştırılmıştır. Kavurma boyunca meydana gelen başlıca reaksiyonlar Eşitlik 1, 2 ve 3'de verilmiştir (Akçıl vd., 2008).

$$3FeS_2 + 8O_2 = Fe_3O_4 + 6SO_{2\,(gaz)} \quad (1)$$

$$12FeAsS + 29O_2 = 4Fe_3O_4 + 3As_4O_{6\,(gaz)} + 12SO_{2\,(gaz)} \quad (2)$$

$$4Fe_3O_4 + O_2 = 6Fe_2O_3 \quad (3)$$

Oksitleyici kavurma işlemi sonrasında numunelere uygulanan siyanür liçi karıştırma hızı ve sıcaklık kontrollü olarak karıştırmalı su banyosunda (Wisebath, Almanya) erlenmayerler içerisinde gerçekleştirilmiştir. Siyanür liçinde aynı numuneler üzerinde kavurma işlemi uygulanmadan en iyi altın çözünme veriminin elde edildiği şartlar olan 1 g/l NaCN miktarı, %20 pülpte katı oranı (PKO), 6 saat liç süresi, 250 dev/dak karıştırma hızı ve 25 ^{o}C pülp sıcaklığı parametreleri sabit tutulmuştur. Liç işlemi sonrasında çözeltilere, 4 µm açıklığa sahip 1 numaralı filtre kağıtları (Whatman, ABD) kullanılarak katı-sıvı ayrımı uygulanmıştır. Katı kısım kurutulmuş ve analize hazır hale getirilerek katı faz kimyasal analize gönderilmiştir. Liç verimleri ise aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır (Eşitlik 4).

$$\%Verim = \frac{Tüvenanda\ Au\ - Artıkta\ Au}{Tüvenanda\ Au} \cdot 100 \quad (4)$$

Oksitleyici kavurma ve siyanür liçi işlemlerinde kullanılan ekipmanlar ve deney düzeneği Şekil 3'de verilmiştir.

(a) **(b)**

Şekil 3. Oksitleyici kavurma ve siyanür liçi işlemlerinde kullanılan ekipmanlar ve deney düzeneği

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Kavurma Süresinin Etkisi

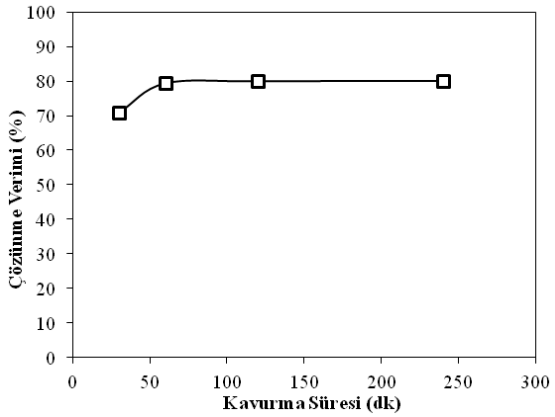
Kavurma süresinin altının çözünme verimine etkisinin araştırılması için yapılan deneylerde 30, 60, 120 ve 240 dakika kavurma süreleri incelenmiştir (Şekil 4).

Deneylerden elde edilen sonuçlara göre kavurma süresi altının çözünme verimine belirli bir süreye kadar etki etmektedir. 30 dakika ile 60 dakika arasında çözünme veriminde ciddi bir artış meydana gelirken 60 dakikadan sonra çözünme veriminde önemli bir artış görülmemektedir. Bunun nedeni numune bünyesindeki metal sülfürlerin neredeyse tamamının bu süre zarfında metal oksitlere dönüşmüş olmasıyla açıklanabilmektedir. Bu nedenle optimum kavurma süresi 60 dk olarak belirlenmiştir.

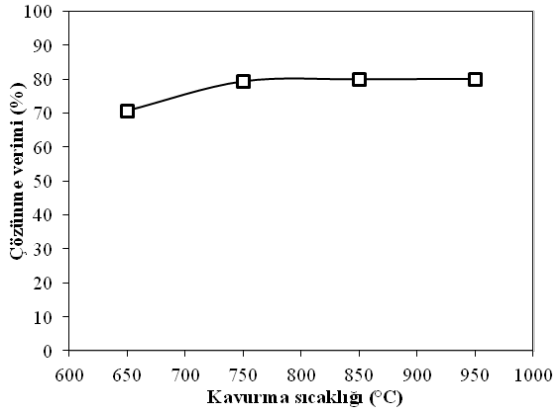
3.2 Kavurma Sıcaklığının Etkisi

650, 750, 850 ve 950 °C kavurma sıcaklıkları denenerek kavurma sıcaklığının altın çözünme verimine etkisi araştırılmıştır (Şekil 5).

Deneylerden elde edilen sonuçlara göre 650 °C ile 750 °C arasında çözünme veriminde ciddi bir artış meydana gelirken 750 °C'den sonra çözünme veriminde önemli bir artış görülmemektedir. Sıcaklığın artması, kristal büyümesine ve sinterlemeye yol açarak özgül yüzey alanını azaltmaktadır. Aynı zamanda, enerji sarfiyatını da arttırmamak adına ideal kavurma sıcaklığı 750 °C olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Altın çözünme veriminin kavurma süresine bağlı olarak değişimi (%1 NaCN konsantrasyonu, 1 g/l NaCN miktarı, %20 pülpte katı oranı (PKO), 6 saat liç süresi, 750ºC kavurma sıcaklığı, d_{80}=75 µm)



Şekil 5. Altın çözünme veriminin kavurma sıcaklığına bağlı olarak değişimi (%1 NaCN konsantrasyonu, 1 g/l NaCN miktarı, %20 PKO, 6 saat liç süresi, 1 saat kavurma süresi, d_{80}=75 µm tane boyutu)

4. SONUÇLAR

Özellikle son yıllarda, endüstriyel alanlarda da kullanımının yükselmesine paralel olarak altına talebin artması daha önceleri işletilemeyen yatakların ekonomik olarak işletilmelerine olanak sağlamıştır. Bu nedenle altının yüksek verimle zenginleştirilebilmesi için, cevherin altın içeriğinin biliniyor olması da tek başına yeterli olmayıp, cevherin mineralojisinin de detaylı bir şekilde biliniyor olması gerekmektedir. Farklı oluşumlara sahip altın cevherlerinden altının yüksek verimle kazanılabilmesi için farklı proseslerin uygulanabilirliğinin incelenmesi günümüzde önem kazanmıştır.

Bu çalışma kapsamında Erzincan ilinin İliç/Çöpler bölgesinde faaliyet gösteren özel bir firmaya ait maden ocağından çıkarılan sülfürlü altın cevherinden altının yüksek

verimde kazanılabilmesi için, temelde karmaşık olmayan ve uygulanabilir bir ön işlem olan oksitleyici kavurma işleminin liç verimini üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kavurma süresi ve kavurma sıcaklığının Au kazanma verimi üzerindeki etkilerinin incelendiği deneylerde, 30-240 dk kavurma süresi ve 650-950 °C kavurma sıcaklığı parametreleri denenmiş olup, en yüksek altın kazanma verimi d_{80}=75 µm tane boyutu, %20 PKO, 1 gr/l NaCN miktarı, 360 dk liç süresi, 60 dk kavurma süresi ve 750 °C kavurma sıcaklığı koşullarında % 79,43 olarak elde edilmiştir.

Bu çalışma sonucunda, Çöpler sülfürlü altın cevherinin ön işlemsiz NaCN liçinde elde edilen % 67,68 altın çözünme verimi oksitleyici kavurma işlemi ile % 79,43 oranına yükseltilmiş ve oksitleyici kavurma prosesinin Çöpler sülfürlü altın cevherinin NaCN liçinde altın çözünme veriminin geliştirlmesi noktasında başarı ile uygulanabileceği ortaya konulmuştur.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmaya katkılarından dolayı Maden Mühendisi Fatih KEKLİK'e teşekkürü bir borç bilir.

KAYNAKLAR

Adams M. D., 2016. Chapter 2 – Overview of the gold mining İndustry and major gold deposits, gold ore processing. Second Edition, p. 25-30, ISBN: 978-0-444-63658-4.

Anderson C. G., 2016. Alkaline sulfide gold leaching kinetics. Minerals Engineering, 92, p. 248-256.

Angove J. E., Acar S., 2016. Chapter 8 – Metallurgical test work: gold processing options, physical ore properties, and cyanide management. Gold Ore Processing, Second Edition, p. 131-140, ISBN: 978-0-444-63658-4.

Bailong L., Zhaohui Z., Linbo L., Yujie W., 2013. recovery of gold and İron from the cyanide tailings by magnetic roasting. Rare Metal Materials and Engineering, 42 (9), p. 1805-1809.

Bas A. D., Koc E., Yazıcı E. Y., Deveci H., 2015. Treatment of copper-rich gold ore by cyanide leaching, ammonia pretreatment and ammoniacal cyanide leaching. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 25, p. 597-607.

Breuer P. L., Dai X., Keffrey M. I., 2005. Leaching of gold and copper minerals in cyanide deficient copper solutions. Hydrometallurgy, 78, 3-4, p. 156-165.

Çelik, H., 2005. Refrakter altın cevherlerinin/konsantrelerinin ön iyileştirilmesinde biyooksidasyon yönteminin kullanımı. Madencilik, Cilt no: 44, Bölüm no: 3, s. 35-46.

Gad S. G., 2014. Gold. Encyclopedia of Toxicology (Third Edition), p. 770-771.

Güngör Y., Kurşun İ., 2005. Evaluation of gold content in coruh placer deposits. Asian Journal Of Chemistry, vol.17, pp.2098-2104.

Habashi F., 2016. Chapter 1 – gold – an historical introduction. Gold Ore Processing, Second Edition, p. 1-20, ISBN: 978-0-444-63658-4.

Hammerschmidt J., Güntner J., Kerstiens B., Charitos A., 2016. Chapter 24 – roasting of gold ore in the circulating fluidized-bed technology. Gold Ore Processing, Second Edition, p. 393-409, ISBN: 978-0-444-63658-4.

Kunter R., Mridha S., 2016. Gold: alloying, properties, and applications, reference module in Materials Science and Materials Engineering.

Kurşun İ., 2010. The application of cyanide leaching with agitation method in kışladag gold mine ore. XIIth International Mineral Processing Symposium, Kapadokya, Nevşehir/Türkiye.

Kurşun İ., 2007. Gold mining in Turkey and environmental impact assessment. 7th. International Conference; Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, SGEM-2007, pp.173-174, Varna, Bulgaria.

Küçük,C., 2007. Siyanürle Liç Yöntemiyle cevherden altın kazanımı, çevresel sorunlar ve Türkiye örnekleri, Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Lampinen M., Seisko S., Forsstrom O., Laari A., Aromaa J., Lundström M., Koiranen T., 2017. Mechanism and kinetics of gold leaching by cupric chloride. Hydrometallurgy, 169, p. 103-111.

MTA, 2016. Türkiye ve dünyada altın. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Dairesi Başkanlığı.

Sayın Z. E., 2010. Altın Konsantresinden Doğrudan Liç ile Altın Eldesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Anabilim Dalı, İzmir.

Selengil, U., 2005. Gümüşhane Kaletaş Cevherinden Tiyoüre ile Altın Özütleme Yönteminin Araştırılması. Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.

Yannapoulos J. C., 1991. The Extractive Metallurgy of Gold, Chapter 2: physical and chemical properties of gold, pp. 11-23, ISBN 978-1-4684-8427-4, Van Nostrand Reinhold, Springer US.

Yanuar E., Suprapto, 2015. Leaching and adsorption of gold from lape-sumbawa rocks (Indonesia) by hypochlorite-chloride, Procedia Chemistry, 17, p. 59-65.

PİRİTİK ATIKLARIN PASİFLEŞTİRİLMESİ VE ASİT MADEN DRENAJI (AMD) POTANSİYELİNİN AZALTILMASI

PASSIVATION OF PYRITIC TAILINGS AND MITIGATION OF ITS ACID MINE DRAINAGE (AMD) POTENTIAL

Elif YILMAZ, Fırat AHLATCI, Oktay CELEP, Ersin Y. YAZICI, Hacı DEVECI*

Hydromet B&PM Araştırma Grubu, Cevher-Kömür Hazırlama Anabilim Dalı, Maden Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 61080, Trabzon, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: hdeveci@ktu.edu.tr

ÖZET: Sülfürlü cevherlerin zenginleştirilmesi sonucu açığa çıkan atıkların atmosferik koşullarda depolanması bazı çevresel sorunlara neden olmaktadır. Özellikle pirit gibi sülfürlü minerallerin atmosferik oksijen ve yağmur sularının etkisiyle oksitlenmesi sonucunda sülfürik asit açığa çıkmakta ve böylece Asit Maden Drenajı (AMD) oluşmaktadır. Bu çalışmada, sodyum silikat (Na_2SiO_3) kullanılarak bir flotasyon tesisinden çıkan piritik atıkların pasifleştirilmesi ve AMD oluşumunun azaltılması araştırılmıştır. Sodyum silikat (23,0% SiO_2, 11,5% Na_2O, pH 12) dozajının (13-67 mL/L) artışı ile birlikte pH seviyesinde artış ve redoks potansiyelinde düşüş gözlenmiştir. Ayrıca, reaktif dozajındaki artışın metal salınımını da önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir. Elde edilen veriler, sodyum silikatın piritik atıkların pasifleştirilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Sülfürlü atıklar, Pirit, Asit maden drenajı (AMD), Sodyum silikat, Çevre

ABSTRACT: *If stored in areas open to atmospheric effects, tailings generated by mineral processing of sulphide ores may lead to environmental problems. Sulphuric acid is generated through the oxidation of sulphide minerals, particularly pyrite, under the effect of atmospheric oxygen and rain waters, leading to the formation of Acid Mine Drainage (AMD). In the current study, passivation of pyritic tailings of a flotation plant with concurrent mitigation of AMD was investigated using sodium silicate (Na_2SiO_3). It was observed that increasing the sodium silicate (23,0% SiO_2, 11.5% Na_2O, pH 12)*

dosage (13-67 mL/L) resulted in an increase in pH and a reduction in redox potential. In addition, it also remarkably reduced the release of metals. These findings demonstrated potential use of sodium silicate for passivation of pyritic tailings.

Keywords: *Sulphide tailings, Pyrite, Acid mine drainage (AMD), Sodium silicate, Environment*

1. GİRİŞ

Sülfürlü cevher yataklarının üretim faaliyetleri öncesinde, esnasında ve/veya sonrasında hava ve suya maruz kalması nedeniyle sülfürlü mineraller (pirit başta olmak üzere pirotin, markazit vd.) oksitlenmektedir. Buna bağlı olarak ortamdaki su asidikleşmekte (pH'sı düşmekte) ve böylece Asit Maden Drenajı (AMD) oluşmaktadır (Akcil ve Koldas, 2006; Karadeniz, 2005; Naidoo, 2017). Benzer şekilde, sülfürlü cevherlerin zenginleştirme faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan atıkların atmosfere açık ortamda depolanması da aynı sonuçları getirmektedir. Eski madencilik sahalarında AMD oluşumuna sık rastlanmaktadır (Güneş vd. 2013). Pirit kaynaklı AMD oluşumu kömür madenciliğinde de gerçekleşebilmektedir (Kefeni vd., 2017; Kotsiopoulos ve Harrison, 2017; Salmon, 2003). Sülfür minerallerin oksitlenmesi sürecinde bazı asidofilik bakteriler (*Acidithibacillus thiooxidans*, *Acidithibacillus ferrooxidans*, *Leptosprillum ferrooxidans* vd.) başta olmak üzere farklı mikroorganizmalar önemli bir rol oynayarak AMD oluşumunu hızlandırmaktadır (Akcil ve Koldas, 2006). Pirit'in oksitlenme reaksiyonları Denklem 1-3'de sunulmuştur. Demirin ferrus formundan ferrik formuna yükseltgenmesi ve ferrik hidroksit olarak çökme reaksiyonları sırasıyla Denklem 4 ve 5'te gösterilmiştir. Şekil 1'de piritin oksitlenmesi ve demirin redoks döngüsü görülmektedir. Ortamda oksijen, su ve bakteri varlığında piritin oksitlenmesi hızlanmaktadır (Akcil ve Koldas, 2006; Chen vd., 2015; Neculita vd., 2007; Pierre Louis vd., 2015; Salmon, 2003; Dold, 2017).

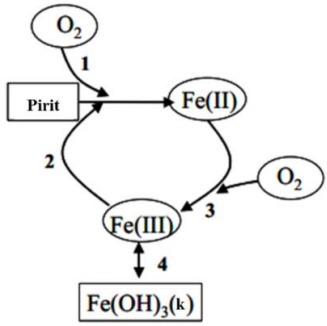
$FeS_2 + 7/2O_2 + H_2O \rightarrow Fe^{+2} + 2SO_4^{-2} + H^+$ ($\Delta G_{25°C}$= -1234 kJ) (1)

$FeS_2 + 14Fe^{+3} + 8H_2O \rightarrow 15Fe^{+2} + 2SO_4^{-2} + 16H^+$ ($\Delta G_{25°C}$= -557 kJ) (2)

$FeS_2 + 15/4O_2 + 7/2H_2O \rightarrow Fe(OH)_3 + 2SO_4^{-2} + 4H^+$ ($\Delta G_{25°C}$= -1257 kJ) (3)

$Fe^{+2} + 1/4O_2 + H^+ \rightarrow Fe^{+3} + 1/2H_2O$ ($\Delta G_{25°C}$= -193 kJ) (4)

$Fe^{+3} + 3OH^- \rightarrow Fe(OH)_3$ ($\Delta G_{25°C}$= -214 kJ) (5)



Şekil 1. Piritin oksitlenmesi ve demirin redoks döngüsü (Salmon, 2003)

AMD oluşumu, ortamın asidikleşmesine, bu asidik şartlara bağlı olarak metallerin salınımının ve sülfat konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak önemli çevresel sorunlara neden olabilmektedir (Kefeni vd., 2017; Dold, 2017; Kotsiopoulos ve Harrison, 2017; Shim vd., 2015). AMD oluşumu/gelişimi, cevherin/atığın tane boyutu, sülfürlü mineral türleri/miktarı, asit nötralizasyon kapasitesine sahip mineral (karbonatlar, silikatlar vd.) miktarı, atmosferik koşullar (hava sıcaklığı, nem, yağış miktarı vd.), cevher/atık ile temas eden suyun özellikleri (pH, oksijen içeriği, biyolojik aktivite) başta olmak üzere birçok parametreye bağlıdır (Akcil ve Koldas, 2006; Karadeniz, 2005).

AMD oluşumu, gerçekleşmeye başladıktan sonra kontrol altına alınması zordur ve maliyeti yüksektir (Kefeni vd., 2017; Qureshi vd., 2016). Bu nedenle madencilik faaliyetlerinin planlama aşamasında cevherin/yan kayacın özellikleri, hidrojeolojik koşullar ve atmosferik şartların detaylı olarak araştırılarak AMD oluşum potansiyelinin değerlendirilmesi gerekmektedir (Karadeniz, 2005). AMD oluşumunu ve çevresel etkilerini önlemek amacıyla yeraltı, açık ocak işletmelerinde açığa çıkan pasaların, tesis atıklarının ve stok sahasında zenginleştirme işlemine tabi tutulmak üzere bekletilen malzemelerin hava, su ve bakteri etkisinden korunması gerekmektedir (Kefeni vd., 2017). En uygun arıtma yöntemi (kimyasal/biyolojik, aktif/pasif) seçilerek AMD kontrol altına alınmaya çalışılmaktadır. Biyolojik aktif arıtma yöntemi olarak sülfat-indirgeyici bakteriler kullanılabilir (Hedrich ve Johnson, 2014; Johnson ve Hallberg, 2005). Kimyasal aktif arıtma yöntemleri (nötralizasyon/çöktürme, adsorpsiyon, iyon değişimi ve ters osmoz) arasında nötralizasyon/çöktürme yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu yöntemde kireç/kireç taşı, soda külü, kostik soda, toprak alkali metallerin oksit, hidroksit ya da karbonatları vb. reaktiflerin ilave edilerek nötralizasyon

sağlanması ve metallerin çöktürülmesi amaçlanmaktadır. Ortamdaki ferrus demirin, ferrik hidroksit ($Fe(OH)_3$) olarak uzaklaştırılması için hava verilmesi gerekebilir (Johnson ve Hallberg, 2005). Asidik çözeltiye doğal ortamında (örneğin, ömrünü tamamlamış bir açık işletme ocağı) veya bir toplama havuzunda uygun alkali kimyasallar ilave edilmek suretiyle çözeltinin nötralizasyonu ve metallerin çökmesi sağlanır (Karadeniz, 2005 ve 2008). Arıtmanın gerçekleştirildiği AMD çözeltisinde pH, metal konsantrasyonu (Fe, Mn, Al gibi), askıda taneler ve sülfat konsantrasyonu vb. parametreler takip edilmelidir (Dold, 2017; Kefeni vd., 2017). Arıtma işleminin maliyetini kullanılan kimyasalın türü, maden işletmesinin ömrü, işçilik vd. işletme giderleri ve drenaj edilecek çözeltinin hacmi belirlemektedir (Karadeniz, 2005). Pasif arıtma yöntemleri 1990'lı yıllardan itibaren kullanılmaya başlanmıştır (Kefeni vd., 2017). Kimyasal artıma yöntemi olarak genellikle anoksik kireçtaşı drenleri kullanılmaktadır. Biyolojik yöntemlerin başında ise doğal/yapay sulak alanların oluşturulması gelmektedir (Akcil ve Koldas, 2006; Johnson ve Hallberg, 2005). Pasif yöntemlerin bakım ve işletme giderleri daha düşüktür. Bu yöntemler genellikle terkedilmiş madencilik sahaları/atıkları için tercih edilmektedir (Kefeni vd., 2017). Çizelge 1'de aktif ve pasif arıtma işlemlerinin genel özelliklerinin karşılaştırılması sunulmuştur. Literatürde, sodyum silikat, fosfat vb. farklı reaktifler yardımıyla pirit yüzeylerinin pasifleştirililerek oksitlenmesinin ve dolayısıyla AMD oluşumunun azaltılması da araştırılmıştır (Belzile vd., 1997; Fytas vd., 1999; Zeng vd., 2013).

Bu çalışmada, sodyum silikat (Na_2SiO_3) kullanılarak piritik atıkların pasifleştirilmesi ve AMD oluşumunun azaltılması araştırılmıştır. Farklı sodyum silikat dozajlarında (13-67 mL/L %23 SiO_2) testler yapılmıştır. Çözeltiden pH, redoks potansiyeli, metal konsantrasyonları (Fe, Cu, Zn ve Co) takip edilerek sodyum silikatın AMD oluşumuna etkisi irdelenmiştir.

Çizelge 1. Aktif ve pasif arıtma yöntemlerinin bazı özelliklerini karşılaştırılması (Akcil ve Koldas, 2006; Karadeniz, 2005 ve 2008; Kefeni vd., 2007; Johnson ve Hallberg, 2005).

Aktif Arıtma Yöntemleri	Pasif Arıtma Yöntemleri
Etkinliği yüksektir. Arıtma öncesi katı/sıvı ayrımı için ilave ekipman gerekebilir Metallerin çökmesini sağlayarak kirliliği azaltmaktadır İşletme maliyeti daha yüksektir Kullanılan amonyak gibi bazı kimyasalların çevre açısından olumsuz etkileri bulunmaktadır	Eski madencilik alanları için daha uygundur İlave ekipman gereksinimi yoktur Basit bir uygulamadır Bakım maliyet düşüktür İşletme maliyeti düşüktür Yatırım maliyeti daha yüksektir

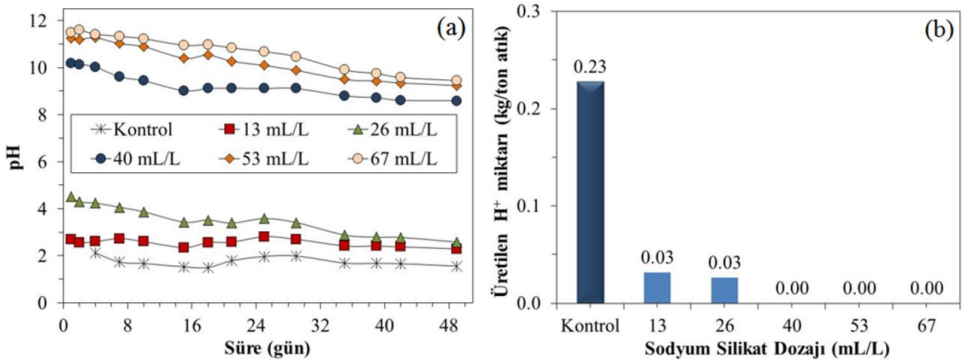
2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada bir flotasyon tesisinden çıkan piritik atıklar (>%86 FeS_2, az miktarda sülfürlü mineraller ve kuvars) kullanılmıştır. Piritik atıkların oksitlenmesi ve AMD oluşumu potansiyelinin sodyum silikat kullanılarak azaltılması için deneyler yapılmıştır. Testler, %10 (ağırlık/hacim) katı oranını sağlayacak şekilde 15 g atık (d_{90}=80 μm) ve 150 mL saf su kullanılarak 250 mL Erlenmayer flasklarda yapılmıştır. Sodyum silikat ilavesi yapılmadığı kontrol deneyleri de tasarlanmıştır. Reaktif dozajının etkisinin araştırıldığı testlerde, belirli miktarlarda (13-67 mL/L) sodyum silikat (Na_2SiO_3; 23,0% SiO_2, 11,5% Na_2O, pH 12) ilave edilerek deneyler sürdürülmüştür. Karıştırma işlemi orbital çalkalayıcı (DAIHAN Wisecube WIS-20) ile sıcaklık kontrollü olarak (25°C) (185 dev/dk) yapılmıştır. Test süresi (49 gün) boyunca belirli aralıklarda çözeltiden pH, redoks potansiyeli ($E_{Ag/AgCl}$) oksijen ölçümleri Thermo Scientific Orion pH metre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Sülfat (SO_4^{-2}) analizi Palintest Photometer 5000 ile 520 nm dalga boyunda yapılmıştır. Test bitimini takiben katı/sıvı ayırımı yapılarak berrak çözeltiden metal analizleri Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (Perkin Elmer AAnalyst 400) ile gerçekleştirilmiştir.

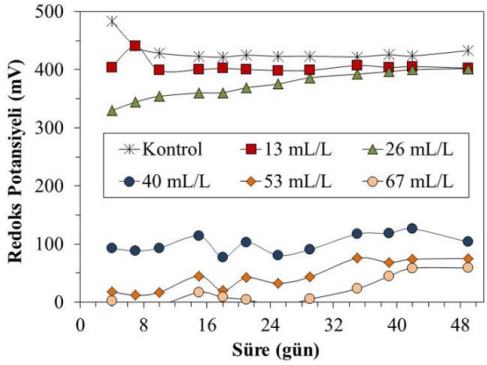
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Sodyum silikat ilavesinin pH'ya (asit oluşumuna) etkisi Şekil 2'de sunulmuştur. Denklem 1-3'de gösterildiği gibi piritin oksitlenmesi asit üreten bir reaksiyondur ve AMD oluşumuna neden olmaktadır. Sodyum silikat varlığının (eklenen miktara bağlı olarak) pH'yı önemli seviyede arttırdığı (asitliği nötralize ettiği) görülmüştür (Şekil 2).

Test süresi sonunda, kontrol deneylerinde pH 1,5 iken 67 ml/L Na_2SiO_3 dozajında pH 9,45 olarak kaydedilmiştir. Nispeten daha yüksek reaktif dozajlarında (>13 mL/L) süreye bağlı olarak pH'da düşüş gözlenmiştir (Şekil 2). Üretilen asit miktarları (kg H^+/t katı) hesaplanarak sonuçlar Şekil 2'de sunulmuştur. Buna göre, kontrol deneyinde üretilen asit miktarı 0,23 kg/t iken en düşük sodyum silikat ilavesinde (13 mL/L) asit üretimi ≈8kat azalarak 0,03 kg/t'a gerilemiştir (Şekil 1). Bu sonuçlar, sodyum silikatın piritik atık kaynaklı AMD oluşumunu azaltmada kullanılabileceğini göstermektedir. Redoks potansiyelinin değişimi Şekil 3'te görülmektedir. Redoks potansiyeli ortamın oksitleyici ve indirgeyici özelliğinin bir göstergesidir.



Şekil 2. Sodyum silikat ilavesinin (13-67 mL/L) pH'ya **(a)** ve asit oluşumuna (kg H^+/ton katı) **(b)** etkisi (%10 a/h katı oranı, 25°C)



Şekil 3. Sodyum silikat ilavesinin (13-67 mL/L) redoks potansiyeline ($E_{Ag/AgCl}$, mV) etkisi (%10 a/h katı oranı, 25°C)

Piritin oksitlenmesi asit üretimine (AMD oluşumu) (Şekil 1, Denklem 1-3) neden olduğu için ortamın redoks potansiyelinin düşük olması AMD oluşumun da engellendiğini gösteren bir faktördür (Belzile vd., 1997). Bu çalışmada, sodyum silikat ilavesi ile redoks potansiyellerinde önemli ölçüde düşüşler gözlenmiştir (Şekil 3). Kontrol deneylerinde 433-483 mV seviyelerinde belirlenen redoks potansiyeli, reaktif dozajındaki artış ile beraber çok düşük seviyelerde kalmıştır. Özellikle yüksek reaktif dozajlarında (≥40 mL/L) çok düşük redoks potansiyelleri gözlenmiştir (Şekil 3). Örneğin, redoks potansiyeli, 49 gün sonunda 40 mL/L reaktif dozajında 104 mV olarak ölçülmüştür.

Literatürde piritik malzemelerin yüzeyinin pasifleştirilmesi suretiyle AMD oluşumunun engellenmesinde sodyum silikatın olumlu etkisi farklı araştırmacılar tarafından ortaya konulmuştur (Belzile vd., 1997; Fytas vd., 1999; Zeng vd., 2013). Sodyum silikatın ortamdaki ferrik demir ile ferrik hidroksit-silika bileşikleri oluşturarak

pirit yüzeyini kapladığı (pasifleştirdiği) ve böylece piritin oksitlenmesini engellediği ileri sürülmektedir (Fytas vd., 1999; Zeng vd., 2013). Bu çalışmada belirlenen sodyum silikatın olumlu etkisi bu etkiye bağlanabilir. Bunun yanı sıra, sodyum silikat çözeltisinin, alkali karakterine (pH 12) bağlı olarak çözeltiyi nötralize etmek suretiyle de AMD gelişimini engellediği değerlendirilmektedir. Sülfat konsantrasyonlarının, muhtemelen jips, sülfat/hidroksit çökelekleri gibi ikincil mineral oluşumlarına bağlı olarak 1550-1930 mg/L arasında dalgalandığı gözlenmiştir.

Çizelge 2. Test süresi (49 gün) sonundaki metal konsantrasyonları, pH ve E (mV) ölçümleri (25°C)

Sodyum Silikat Dozajı	Metal Konsantrasyonu (mg/L)				pH	E (mV)
	Fe	Cu	Zn	Co		
Kontrol	2770	256	104	82,3	1,56	433
13 mL/L Sodyum Silikat	1588	256	96,4	76,8	2,29	403
26 mL/L Sodyum Silikat	355	218	81,7	67,7	2,58	402
40 mL/L Sodyum Silikat	60,7	6,8	3,1	2,0	8,59	104
53 mL/L Sodyum Silikat	14,6	2,1	0,4	0,8	9,24	76
67 mL/L Sodyum Silikat	47,1	6,0	2,2	1,8	9,45	59

Çizelge 2'de test süresi (49 gün) sonundaki metal konsantrasyonları (Fe, Cu, Zn ve Co) sunulmuştur. Sodyum silikat dozajının artışı ile metallerin salınımının önemli ölçüde azaldığı gözlenmiştir. Kontrol testinde sırasıyla 2770, 256 ve 104 mg/L olan Fe, Cu ve Zn konsantrasyonları, en yüksek sodyum silikat dozajında (67 mL/L) 47,1, 6,0 ve 2,2 mg/L olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar (Şekil 2 ve 3, Çizelge 2), sodyum silikat ilavesinin piritik atıklardan kaynaklanabilecek AMD oluşumunu (ve metal kirliliğini) azaltmak için kullanılabileceğini göstermiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada piritik atıklardan kaynaklanabilecek AMD oluşumunun azaltılması araştırılmıştır. Testlerde sodyum silikat ilavesinin (13-67 mL/L %23,0 Na_2SiO_3) AMD oluşumuna etkisi 49 gün boyunca izlenmiştir. Sodyum silikat dozajındaki artışın pH'yı önemli seviyede arttırdığı ve redoks potansiyelinde de azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Sodyum silikat varlığında, kontrol testleri ile karşılaştırıldığında üretilen asit miktarında (kg H^+/t katı) önemli seviyede düşüş (≥8 kat) belirlenmiştir. Sodyum silikat dozajının artışı ile metal konsantrasyonlarında (Cu, Fe, Zn, Co) azalma (örneğin, Fe için 59 kata varan) gözlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgular, sodyum silikat ilavesinin piritik atıkları pasifleştirmek (oksitlenmesini engelleyerek) ve/veya çözeltide

oluşan asitliği nötralize etmek suretiyle AMD oluşumunu (ve metal salınımını) önemli seviyede azalttığını göstermiştir.

KAYNAKLAR

Akcil, A. ve Koldas, S., 2006. Acid Mine Drainage (AMD): Causes, Treatment and Case Studies, Journal of Cleaner Production 14, 1139-1145.

Belzile, N., Maki S, Chen, Y-W., Goldsack, D., 1997. Inhibition of Pyrite Oxidation by Surface Treatment. Science of The Total Environment 196, 177-186

Chen, M., Lu, G., Guo, C., Yang, C., Wu, J., Huang, W., Yee, N., Dang, Z., 2015. Sulfate Migration in A River Affected by Acid Mine Drainage from The Dabaoshan Mining Area, South China, Chemosphere, 119, 734-743. (http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.07.094)

Dold, B., 2017. Acid Rock Drainage Prediction: A Critical Review, Journal of Geochemical Exploration 172, 120–132.

Fytas, K., Bousquet, P., Evangelou, V.,1999. Application of Silicate Coatings on Pyrite to Prevent Acid Mine Drainage, Sudbury, 1199-1207

Johnson, D.B., Hallberg, K.B., 2005, Acid Mine Drainage Remediation Options: A Review, Science of The Total Environment, 338, 3-14

Güneş, C., Tokgöz-Güneş, S., Akıncı, G., Bektaş, C., Özdemir, Ş., 2013. Terkedilen Balya Pb-Zn Madeni Atıklarında Asit Maden Drenajı Verileri ve ÇED (Acid Mine Drainage Data of Abandoned Balya Pb-Zn Mine Waste and EIA), Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Istanbul

Karadeniz, M., 2005. Asit Maden (Kaya) Drenajında Aktif ve Pasif Çözüm Yöntemleri, Madencilik ve Çevre Sempozyumu, 5-6 Mayıs 2015, 91-97, Ankara.

Karadeniz, M., 2008. Sülfürlü Madenlerin Sorunu Asit Maden Drenajı ve Çözümü, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 231 syf.

Kefeni, K. K., Msagati, T. A.M. ve Mamba, B. B., 2017. Acid Mine Drainage: Prevention, Treatment Options, and Resource Recovery: A Review, Journal of Cleaner Production, 151, 475-493.

Kotsiopoulos, A. ve Harrison, S.T.L., 2017. Application of Fine Desulfurised Coal Tailings As Neutralising Barriers in The Prevention of Acid Rock Drainage, Hydrometallurgy, 168, 159–166.

Naidoo, S., 2017. Acid Mine Drainage in South Africa: Development Actors, Policy Impacts, and Broader Implications Springer, 128 s.

Neculita, C., Gerald, J., Bussi ere, B., 2007. Passive Treatment of Acid Mine Drainage in Bioreactors Using Sulphate-Reducing Bacteria: Critical Review and Research Needs. Journal of Environmental Quality, 36, 1-16.

Pierre Louis, A.-M., Yu, H., Shumlas, S.L., Van Aken, B., Schoonen, M.A.A., Strongin, D.R., 2015. Effect of Phospholipid on Pyrite Oxidation and Microbial Communities Under Simulated Acid Mine Drainage (AMD) Conditions, Environmental Science & Technology, 49, 7701-7708. (http://dx.doi.org/10.1021/es505374g)

Qureshi, A., Maurice, C. ve Ohlander, B., 2016. Potential of Coal Mine Waste Rock for Generating Acid Mine Drainage, Journal of Geochemical Exploration, 160, 44-54. (http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.10.014)

Salmon, S. U., 2003. Geochemical Modelling of Acid Mine Drainage in Mill Tailings: Quantification of Kinetic Processes from Laboratory to Field Scale, KYH Land and Water Resources Engineering, TRITA-LWR PHD 1009, 61syf.

Shim, M.J., Choi, B.Y., Lee, G., Hwang, Y.H., Yang, J.-S., O'Loughlin, E.J., Kwon, M.J., 2015. Water Quality Changes in Acid Mine Drainage Streams in Gangneung, Korea, 10 Years After Treatment with Limestone, Journal of Geochemical Exploration, 159, 234-242. (http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.09.015)

Zeng, S., Li, J., Schumann, R., Smart, R., 2013.Effect of pH and Dissolved Silicate on the Formation of Surface Passivation Layers for Reducing Pyrite Oxidation. Computational Water, Energy, and Environmental Engineering 2, 50-55

OKSİTLİ KURŞUN-ÇİNKO CEVHERİNİN GRAVİTE YÖNTEMLERİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

PROCESSING OF OXIDIZED LEAD-ZINC ORES BY GRAVITY METHODS

Oktay BAYAT[1], Zehra ÇETİNKAYA[2*], Tayfun ÇiÇEK[3], Nil YAPICI[1]

1: Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, TÜRKİYE

2: Atatürk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Erzurum, TÜRKİYE

3: Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: zaltincelep@cu.edu.tr

ÖZET: Bu çalışmada, Karakaya (Hakkari, Türkiye) bölgesinde bulunan düşük tenörlü kurşun-çinko cevherinin gravite yöntemleri (jig, sallantılı masa ve MGS) ile zenginleştirilmesi araştırılmıştır. Tüvanan cevher; başlıca %17,31 Zn, %7,32 Pb, %43,42 Fe_2O_3 ve %12,09 CaO içermektedir. Ayrıca, cevherdeki başlıca mineraller; simitsonit, hidrozinkit, galen, serüzit ve götit minerallerinden oluşmaktadır. Gravite zenginleştirmesi öncesinde tüvanan cevher, mekanik yüzeysel aşındırma işlemine tabi tutulmuştur. Jig deneysel çalışmasında; -10+5 mm ve -5+1 mm tane boyutlarına sahip sınıflandırılmış cevher kullanmıştır. Jig'in en uygun çalışma şartlarında (-10+5 mm, 100 dev/dk) %28,43 Zn ve %7,23 Pb ve (-5+1 mm, 80 dev/dk) %22,00 Zn ve %6,54 Pb içeren konsantre elde edilmiştir. -1+0,5 mm tane boyutuna sınıflandırılmış cevher ise sarsıntılı masa (Wilfley) testlerine tabi tutulmuştur. Sarsıntılı masa'nın en uygun çalışma şartlarında (-1+0,5 mm, 3^o eğim, 10 mm strok (genlik), 10 L/dk yıkama suyu, 470 dev/dk) %18,90 Zn ve %36,09 Pb içeren konsantre elde edilmiştir. -0,5 mm tane boyutundaki tüvanan cevher ise MGS (Multi Gravity Separator) testlerine tabi tutulmuştur. MGS en uygun çalışma şartlarında (4^o eğim, 5 L/dk yıkama suyu, 160 dev/dk, %25 katı oranı) %28,73 Zn ve %10,86 Pb içeren konsantre elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kurşun, Çinko, Jig, Sarsıntılı masa, MGS

ABSTRACT: *In this study, beneficiation of low grade lead-zinc ores from Karakaya (Hakkari, Turkey) region was investigated using gravity methods such as jigging, shaking table and MGS. The representative sample contains mainly 17.31% Zn, 7.32%*

Pb, 44.56% Fe_2O_3 and 11.83% CaO. The ore contains mainly simitsonite, hydrozincite, galena, cerussite and goethite. Mechanical scrubbing was used before gravity concentration tests. Jigging tests were applied to -10+5 mm and -5+1 mm sized fractions. A concentrate having 28.43% Zn and 7.23% Pb grade was obtained at the optimum conditions (-10+5 mm particle size, 100 rpm) and also a concentrate having 22.00% Zn and 6.54% Pb was obtained for -5+1 mm particle size at 80 rpm. -1+0.5 mm sized sample was fed into shaking (Wilfley) table. A concentrate having 18.90% Zn and 36.09% Pb was obtained at the optimum conditions (3^o for tilt angle, 10 mm stroke, 10 L/min washing water and 470 rpm) for -1+0.5 mm sized particles. MGS was applied to -0.5 sized fractions. A concentrate having 28.73% Zn and 10.86% Pb was obtained at the optimum conditions (4^o for drum tilt angle, 5 L/min washing water, 160 rpm and 25% solids) for <0.5 mm sized particles.

Keywords: *Lead, Zinc, Jig, Shaking table, MGS.*

1. GİRİŞ

Kurşun ve çinkonun geniş kullanım alanına sahip olması, hâlihazırda yerlerine ikame edebilecek malzemelerin olmaması ve yüksek tenörlü maden rezervlerinin gittikçe azalması gibi nedenlerle kurşun–çinko madenciliği ile üretilen ve üretilecek cevherlerin zenginleştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Talebin büyük çoğunluğu sülfürlü Pb-Zn cevherlerinden karşılansa bile gerek dünyada gerekse ülkemizde kayda değer miktarda oksitli Pb-Zn maden rezervleri de bulunmaktadır (Atak, 1974).

Kurşun-çinko cevherlerinin doğrudan izabe edilmeleri ekonomik olmadığından, bunların önce çeşitli cevher zenginleştirme yöntemleriyle konsantre olarak elde edilmeleri gerekmektedir. Genellikle flotasyon ve gravite yöntemleri konsantre üretimi için uygulanmaktadır (Güney, 1998; Bulut, 1991).

Önemli kurşun mineralleri; galen (PbS), serüzit ($PbCO_3$), anglezit ($PbSO_4$), jamesonit (Pb_2Sb_2S5), jordanit ($Pb_4As_2S_7$), bulanjerit ($Pb_3Sb_2S_6$), piromorfit ($Pb_5Cl(PO_4)_3$), mimemit ($Pb_5Cl_2(AsO_4)_6$) ve vulfenit ($PbMoO_4$)'dir. Ekonomik olarak işletilmekte olan yataklarda en çok bulunan kursun minerali galen olup, genellikle çinko, bakır, gümüş, altın ve demir mineralleriyle birlikte bulunmaktadır. Çinko üretimine en büyük katkıyı sağlayan en önemli minerali sfalerittir (çinko blend: ZnS). Bunun dışındaki ticari değer taşıyan çinko mineralleri ise simitsonit ($ZnCO_3$), zinkit

(ZnO), villemit (Zn_2SiO_4), franklinit $(Fe,Zn,Mn)O.(Fe,Mn)_2O_3$ ve hemimorfit (H_2Zn_2SiOs)'dir (Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2001).

Günümüzde kurşun-çinko cevherlerinin zenginleştirmesinde yoğunluk farkına (gravite) dayalı zenginleştirme yöntemi; flotasyon tesisine beslenen cevher tenörünü yükseltmek veya gangın flotasyona girmesini önlemek için ön zenginleştirme işlemi olarak uygulanmaktadır (Çilingir, 1996).

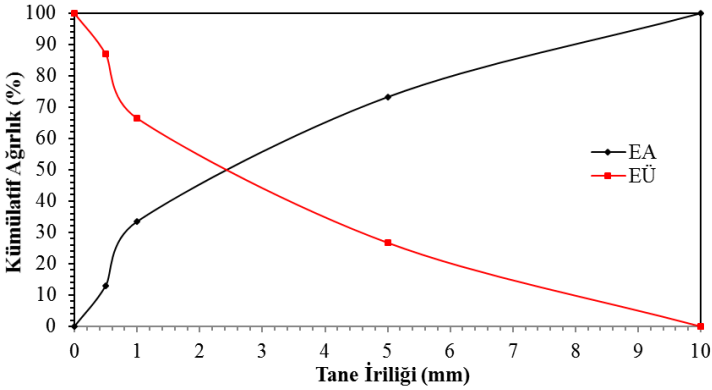
Bu çalışmada; Karakaya (Hakkari) bölgesinde bulunan oksitli kurşun- çinko cevherinin izabe öncesi gravite yöntemleri ile (jig, sallantılı masa ve MGS) ile zenginleştirilmesi araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

Deneysel çalışmada, Karakaya (Hakkâri, Türkiye) bölgesinden elde edilen tüvanan cevher kullanılmıştır. Bölgenin içinde bulunduğu jeolojik yapısı gereği büyük rezervli Zn-Pb yataklarının bulunması açısından önemli bir potansiyele sahip olabileceği belirtilmektedir. Zira bölgenin kıvrımlı ve naplı yapısı, gömülü karbonatlı kayaçlarda gelecekte büyük rezervli sülfürlü veya karbonatlı Zn-Pb yataklarının bulunabileceğini de düşündürmektedir (Hanilçi ve Öztürk, 2008).

Maden ocağından alınmış olan temsili cevher numunesi, Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği laboratuvarlarında çeneli kırıcıda kırıldıktan sonra yaş eleme ile farklı tane boyutlarına sınıflandırılmış ve numunenin tane boyut dağılımı Şekil 1'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi d_{80} = 6 mm'dir. Tüvanan cevherin kimyasal analizi X-ışınları floresans spektrometresi (XRF) cihazı ile yapılmış ve cevherin kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir. Tüvanan cevherin mineralojik analizi XRD (X-Ray Diffraction) Rigaku Minflex II marka difraktometre ile Cu $K\alpha$ tüple, 2θ 10^o-70^o arasında, 0,02^o/dk ganyometre hızında ve XRD paterninin kalitatif faz analizleri PDXL yazılımı ile yapılmıştır. Numuneye ait kristal faz diyagramı Şekil 2'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi cevherdeki başlıca mineraller sırasıyla; simitsonit, hidrozinkit, hematit, götit ve gang minerallerinden (kalsit, kuvars) oluşmaktadır. -10+5 mm tane sınıfındaki malzemenin kıymetli mineraller ile gang mineralleri arasındaki serbestleşme tane iriliği yaklaşık 8 mm iken -5+1 mm tane sınıfındaki malzemenin serbestleşme tane iriliği yaklaşık 4 mm'dir (Şekil 3-4). Ancak şekillerden de görüldüğü gibi kıymetli mineraller ile gang mineralleri arasında belirgin bir ayrım gözlenmemiştir.

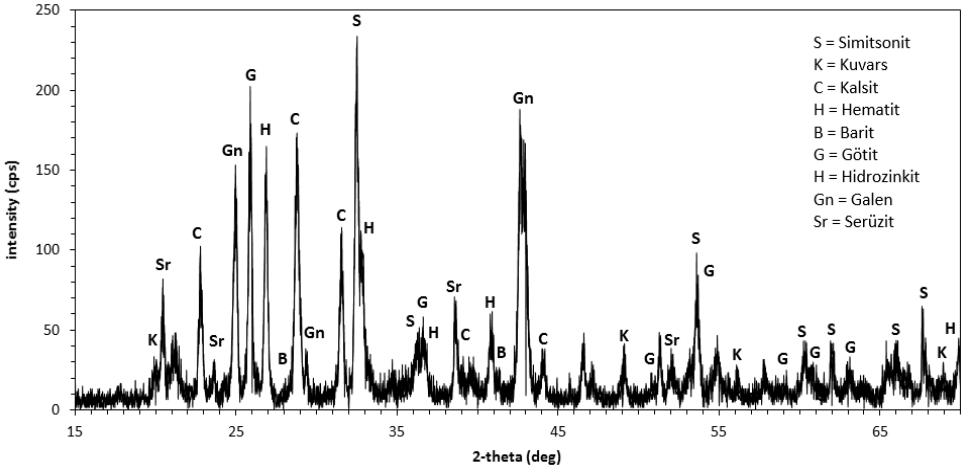
Ayrıca kıymetli mineraller (simitsonit, galen ve hidrozinkit) üzerinde belirgin bir hematit sıvaması şeklinde bir yapı mevcuttur. Sarsıntılı masa ve MGS'ye beslenen tüvanan cevherlerin mikroskop görüntüleri de Şekil 5-6'da verilmektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi mineraller arasında iç içe geçmiş bir yapı görülmekte (yoğun bir birleşik tane yapısı) ve gang minerallerinden yaklaşık %60-65 arasında serbestleşme görülmektedir.



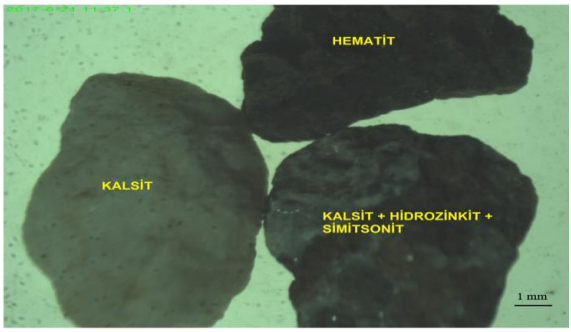
Şekil 1. Numunenin tane irilik dağılımı

Çizelge 1. Tüvanan cevherin kimyasal bileşimi

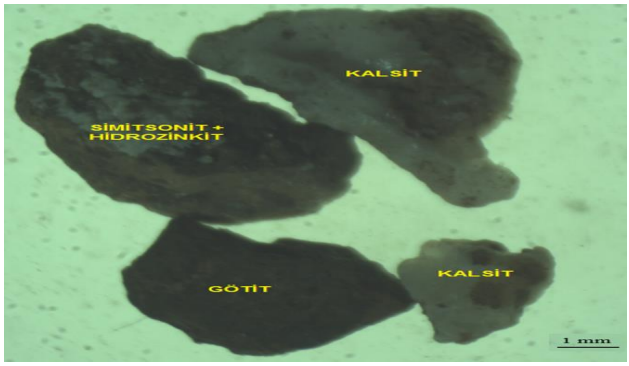
İçerik, %									
SiO_2	SO_3	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	**Zn**	Al_2O_3	BaO	**Pb**
3,55	0,74	11,83	0,06	0,04	44,56	**17,31**	0,40	5,57	**7,32**



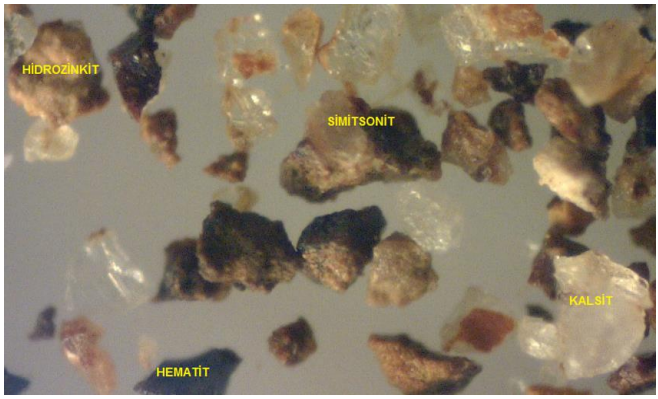
Şekil 2. Tüvanan cevherin faz diyagramı



Şekil 3. Tüvanan cevher (-10+5 mm) mikroskop görünümü



Şekil 4. Tüvanan cevher (-5+1 mm) mikroskop görünümü



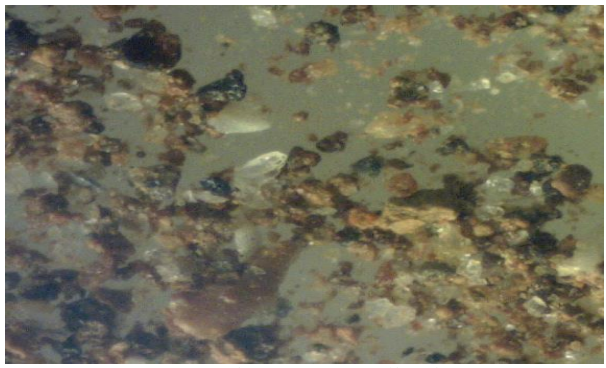
Şekil 5. Tüvanan cevher (-1+0,5 mm) mikroskop görünümü

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Mekanik Yüzeysel Aşındırma

Gravite zenginleştirmesi öncesinde -10+5 mm ve -5+1 mm tane boyutlarına sınıflandırılmış tüvanan cevher (jig besleme malı), 2 ve 5 dk sürelerde mekanik yüzeysel aşındırma işlemine tabi tutulmuştur. Yıkanmış ürünlerin kimyasal bileşimleri

Çizelge 2-3'de verilmektedir. Çizelge 2'de görüldüğü gibi yüzeysel aşındırma süresinin artması ile Zn'de artış Fe_2O_3 değerlerinde ise bir düşüş görülmektedir. Bu tane sınıfı (-10+5 mm) için yüzeysel aşındırma süresi 5 dk olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. Tüvanan cevher (-0,5 mm) mikroskop görünümü

Çizelge 2. Mekanik yüzeysel aşındırma sonucu numunelerin (-10+5 mm) kimyasal analiz sonuçları

	Tüvanan Cevher, %	**Mekanik Yüzeysel Aşındırma, %**	
		2 dk	**5 dk**
SiO_2	2,90	2,90	2,70
CaO	17,70	18,80	21,4
TiO_2	0,03	0,07	0,05
MnO	0,04	0,06	0,04
Fe_2O_3	42,19	39,31	34,70
Zn	**16,54**	**19,11**	**19,19**
BaO	5,29	4,46	5,52
Pb	**6,13**	**6,72**	**5,49**

Çizelge 3. Mekanik yüzeysel aşındırma sonucu numunelerin (-5+1 mm) kimyasal analiz sonuçları

	Tüvanan Cevher, %	**Mekanik Yüzeysel Aşındırma, %**	
		2 dk	**5 dk**
SiO_2	3,70	3,70	3,70
SO_3	0,99	0,99	1,20
CaO	11,04	13,00	12,00
TiO_2	0,06	0,06	0,05
MnO	0,05	0,03	0,02
Fe_2O_3	45,65	44,16	45,40
Zn	**18,71**	**18,79**	**18,39**
BaO	5,44	5,04	5,43
Pb	**7,14**	**6,48**	**6,07**

Ancak Çizelge 3'de görüldüğü gibi -5+1 mm tane sınıfındaki malzemenin yüzeysel aşındırma işlemi sonrasında Zn ve Pb değerlerinde herhangi bir kayda değer bir değişimin olmadığı ancak Fe_2O_3 miktarının ise azaldığı tespit edilmiştir. Bu tane sınıfı için yüzeysel aşındırma süresi 2 dk olarak belirlenmiştir. Mekanik yüzeysel

aşındırma sonrası cevher yüzeyinde sıvama şeklinde bulunan demir içerikli minerallerin uzaklaştırıldığını söylemek mümkündür.

3.2 Jig

Jig deneysel çalışmasında elde edilen sonuçlar Çizelge 4-5'de verilmiştir. -10+5 mm tane sınıfında mekanik yüzeysel aşındırmada sonrası yıkanmış malzemeler kullanılarak yapılan jig testlerinde %28,43 Zn ve %7,23 Pb ve -5+1 mm tane sınıfında yine mekanik yüzeysel aşındırmada sonrası yıkanmış malzemeler kullanılarak yapılan jig testlerinde ise %22,00 Zn ve %6,54 Pb içeren konsantreler elde edilmiştir. Jig pülsasyon hızı -10+5 mm tane sınıfındaki malzeme için 100 dev/dk ve -5+1 mm tane sınıfındaki malzeme için ise 80 dev/dk en uygun çalışma parametresi olarak seçilmiştir.

Çizelge 4. Jig zenginleştirme testleri sonuçları (-10+5 mm)

Devir sayısı (dev/dk)	**Ürün**	**%Zn**	**Zn% V**	**%Pb**	**Pb% V**
80	Konsantre	26,00	69,39	7,76	82,35
	Artık	12,04	30,64	2,32	17,65
100	**Konsantre**	**28,43**	**58,96**	**7,23**	**83,24**
	Artık	13,08	41,04	2,50	16,76
174	Konsantre	26,32	83,48	8,58	79,25
	Artık	8,10	16,52	2,31	20,75
	Besleme Malı	19,19	100,00	5,49	100,00

Çizelge 5. Jig zenginleştirme testleri sonuçları (-5+1 mm)

Devir sayısı (dev/dk)	**Ürün**	**%Zn**	**Zn% V**	**%Pb**	**Pb% V**
80	**Konsantre**	**22,00**	**67,82**	**6,54**	**98,83**
	Artık	14,37	32,18	3,63	1,17
100	Konsantre	19,83	89,44	6,99	91,20
	Artık	13,01	10,56	3,69	8,80
174	Konsantre	19,75	90,65	6,60	97,98
	Artık	12,77	9,35	3,46	2,02
	Besleme Malı	18,79	100,00	6,48	100,00

3.3 Sarsıntılı Masa

Sarsıntılı masa testlerinde -1+0,5 mm tane boyutuna sahip tüvanan cevher kullanmıştır ve numunenin kimyasal bileşimi Çizelge 6'de verilmiştir.

Çizelge 6. -1+0,5 mm tane boyutunun kimyasal bileşimi

İçerik, %									
Al_2O_3	SiO_2	SO_3	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	**Zn**	BaO	**Pb**
0,53	3,66	1,15	8,85	0,07	0,02	41,75	**17,98**	6,58	**8,77**

Sarsıntılı masa deneylerinde Wilfley laboratuvar tipi sallantılı masa kullanılmıştır. Sarsıntılı masa çalışma şartları aşağıdaki gibidir:

Sallantılı Masa Tipi	Wilfley
Masa Boyutları	1270 mm x 480 mm
Strok (Genlik)	10 mm
Devir	470 dev/dk
Masa eğimi	3^0
Yıkama suyu	10 L/dk

-1+0,5 mm tane boyutuna sahip cevher sarsıntılı masa testlerine tabi tutulmuş ve deney sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi sarsıntılı masa ile zenginleştirmede -1+0,5 mm sınıflandırılmış numuneden %18,90 Zn ve %36,09 Pb içeren konsantre elde etmek mümkün olmuştur. Ancak zenginleştirme işleminin çinko için istenen sonuç verdiği söylenemez.

3.4 MGS

MGS testlerinde -0,5 mm tane boyutuna sahip tüvanan cevher kullanmıştır ve numunenin kimyasal bileşimi Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 7. Sarsıntılı masa zenginleştirme deney sonuçları

Ürün	**%Zn**	**Zn% V**	**%Pb**	**Pb% V**
Konsantre	18,90	93,35	36,09	52,44
Artık	10,68	6,65	4,78	47,56
Besleme Malı	17,98	100,00	8,77	100,00

Çizelge 8. -0,5 mm tane boyutunun kimyasal bileşimi

İçerik, %									
Al_2O_3	SiO_2	SO_3	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	**Zn**	BaO	**Pb**
1,40	4,48	0,76	5,98	0,11	0,08	54,63	**20,47**	4,20	**7,72**

MGS çalışma şartları aşağıdaki gibidir:

Tambur hızı	160 dev/dk
Tambur eğimi	4^o
Yıkama suyu	5 L/dk
Pülp besleme debi	2 L/dk
Besleme debi katı	Yaklaşık 50 kg/saat (hesapla)
Besleme malı katı oranı	%25 (ağırlıkça)

MGS testleri sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 9'da verilmiştir.

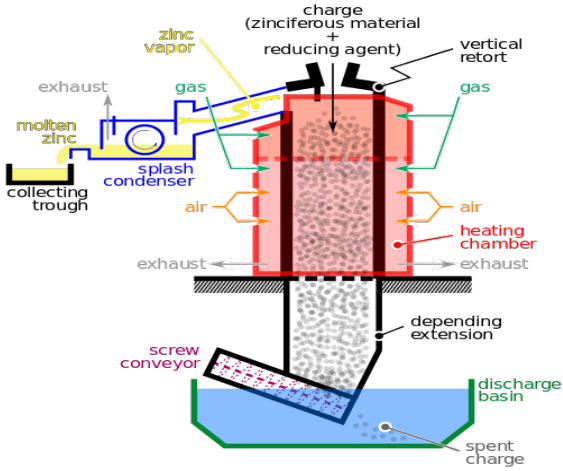
Çizelge 9. MGS zenginleştirme deney sonuçları

Ürün	**%Zn**	**Zn% V**	**%Pb**	**Pb% V**
Konsantre	28,73	56,95	10,86	67,66
Artık	14,83	43,05	4,81	32,34
Besleme Malı	20,47	100,00	7,72	100,00

4. SONUÇLAR

Optimal jig çalışma şartlarında (-10+5 mm, 100 dev/dk) %28,43 Zn ve %7,23 Pb ve (-5+1 mm, 80 dev/dk) %22,00 Zn ve %6,54 Pb içeren konsantreler elde edilmiştir. Optimal sarsıntılı masa çalışma şartlarında (-1+0,5 mm, 3^{o} eğim, 10 mm strok (genlik), 10 L/dk yıkama suyu, 470 dev/dk) %18,90 Zn ve %36,09 Pb içeren konsantre elde edilmiştir. Optimal MGS çalışma şartlarında (-0,5 mm, 4^{o} eğim, 5 L/dk yıkama suyu, 160 dev/dk, %25 katı oranı) 28,73 Zn ve %10,86 Pb içeren konsantre elde edilmiştir. Hâlihazırda madenden çıkarılan tüvanan cevher triyaj sonrası (%17-18 Zn) direkt izabe (düşey retort yöntemi, Imperial Smelting prosesi) için yurt dışına satılmaktadır. Farklı tane boyutlarına uygulanan gravite zenginleştirme sonrası Zn ve Pb tenörlerinde nispeten bir artış olduğu görülmektedir.

Diğer yandan özellikle mekanik yüzey aşındırma sonrası cevher yüzeyinde sıvama halinde bulunan şlam boyutundaki demirli bileşenlerin uzaklaştırılmasının hali hazırda düşey bir şaft fırını içerisinde cevherdeki çinkonun buhar şeklinde prodüksiyonu (Imperial Smelting prosesi) (Şekil 7) için kullanılan tüvanan cevherin gravite zenginleştirme sonrası izabe işlemleri için olumlu yönde katkı sağlayacağı söylenebilir.



Şekil 7. Imperial smelting proses şeması

KAYNAKLAR

Atak, S., 1974. Flotasyon İlkeleri ve Uygulamaları, İTÜ, İstanbul.

Güney, A., 1998. Türkiye Çinko Envanteri, İstanbul Maden ve Metaller İhracatçıları Birlikleri (İMİB).

Bulut, G., 1991. Balıkesir-Balya Yöresi Kursun-Çinko Artıklarının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Çilingir, Y., 1996. Metalik Cevherler ve Zenginleştirme Yöntemleri Cilt I.

Hanilçi, N., Öztürk H., 2008. Aladağlar-Zamantı (Kayseri) Bölgesi Zn-Pb Yataklarının Jeolojisi ve Oluşumu, Türkiye Kurşun-Çinko Yataklarının Jeolojisi Madenciliği ve Mevcut Sorunları Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, 18-20 Mayıs 2008, ss.184-199.

Özel İhtisas Komisyonu Raporu (ÖİKR), 2001. Madencilik (Metal Madenler: Kurşun-Çinko-Kadmiyum), Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Ankara.

ASİT MADEN DRENAJI NÖTRALİZASYONUNDA KİREÇTAŞININ KULLANILMASI

THE USE OF LIME IN ACID MINE DRAINAGE NEUTRALIZATION

Diler KATIRCIOĞLU-BAYEL

Ömer Halisdemir Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Niğde, TÜRKİYE

dkatircioglu@ohu.edu.tr

ÖZET: Dünyanın her yerindeki endüstrileşmiş bütün toplumlarda önemli bir çevresel problem olan çoğunluğu asidik madenlerin ve endüstriyel ticari atıkların işlenmesi veya atılması sürecinde su ve oksijene maruz kalmasıyla asit konsantrasyonunda önemli artışlar (asit maden drenajı) meydana gelmektedir. Asit maden drenajı, özellikle düşük pH, potansiyel olarak toksik çözünmüş metallerin ve sülfatın yüksek konsantrasyonları nedeniyle mevcut ve gelecek kuşaklara ciddi bir kirlilik sorunu yaşatmaktadır.

Genel olarak bu derlemede, uygun maliyetli bir malzeme olan kireçtaşı ile asit nötralizasyonunun sağlanması ve asit maden drenajının oluşumunun önlenmesinin önemi vurgulanmaktadır. Asit nötralizasyonunda birçok malzeme kullanılabilmesine rağmen maliyet, kullanım kolaylığı, çamurdaki ağır metallerin taşınabilirliği gibi özelliklerinden dolayı kireçtaşının kullanımı da artmaktadır. Asitleşme sonucu düşen pH'ın yeniden yükselmesini sağlayan bu alkali malzeme asit nötralizasyonunu sağlayarak, asit oluşumunu engeller.

Anahtar Kelimeler: Asit nötralizasyonu, Asit maden drenajı, Kireçtaşı, Çevre kirliliği

ABSTRACT: *A significant environmental problem in all industrialized communities throughout the world is the significant increase in acid concentration (acid mine drainage) due to exposure to water and oxygen during the processing or disposal of acidic minerals and industrial commercial wastes. Acid mine drainage poses a severe pollution problem to current and future generations, especially due to low pH, high concentrations of potentially toxic dissolved metals, metalloids, and sulphate. In general, this review emphasizes the importance of achieving acid neutralization with limestone, an affordable material, and preventing the formation of acid mine drainage. Although there are several other chemicals that can also be used, due to cost, mobility*

of heavy metals in the sludge of limestone, the use of it is also increases. This alkaline material, which allows the pH to rise again after the acidification, prevents acid formation by providing acid neutralization.

Keywords: *Acid neutralization, Acid mine drainage, Limestone, Environmental pollution*

1. GİRİŞ

Asit maden drenajı, dünyanın her yerinde önemli bir çevresel problemdir. Asit maden drenajı ortaya çıktıktan sonra yüksek maliyet gerektiren kontrolü zor bir süreçtir (Aguiar vd., 2016; Baruah ve Khare, 2010; Grande vd., 2010; Qureshi vd., 2016). Bu olay özellikle toprak ve su kaynakları üzerinde ciddi çevresel etkilere neden olmaktadır (Galhardi ve Bonotto, 2016; Shim vd., 2015).

Yoğun madencilik faaliyetlerinde, sülfürlü minerallerin özellikle pirit, çevre koşullarına maruz kalması sonucu doğal oksidasyona uğraması ile asit maden drenajı oluşmaktadır (Blodau, 2006; Han vd., 2015; Pierre Louis vd., 2015).

Pirit oksidasyonu farklı koşullar altında farklı reaksiyonlarla temsil edilir. Örneğin, reaksiyon (1)-(6) pirit oksidasyonunda önemli ve yaygın olan reaksiyonları temsil eder. Reaksiyon (1)'de, nötr pH değerinde ve fazla su varlığında piritin moleküler oksijen altında oksidasyonu verilmiştir (Neculita vd.,2007). Pirit oksidasyonunda tüm reaksiyonlar (reaksiyon (1)-(3)), reaksiyon (4) tarafından temsil edilir. Reaksiyon (5), ferritin oksitleyici ajan olarak piritin tam oksidasyonunu gösterir ve aynı zamanda reaksiyon (1)'e göre daha hızlı bir reaksiyon olarak kabul edilir (Pierre Louis vd., 2015). Benzer şekilde düşük su içeriğinde piritin tam oksidasyonu reaksiyon (6) ile temsil edilir (Chen vd., 2015).

$$FeS_2 + 7/2O_2 + H_2O \rightarrow Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 2H^+ \quad (1)$$

$$Fe^{2+} + 1/4O_2^- + H^+ \rightarrow Fe^{3+} + 1/2H_2O \quad (2)$$

$$Fe^{3+} + 3H_2O \rightarrow Fe(OH)_3 + 3H^+ \quad (3)$$

$$FeS_2 + 15/2O_2 + 7/2H_2O \rightarrow Fe(OH)_3 + 2SO_4^{2-} + 4H^+ \quad (4)$$

$$FeS_2 + 14Fe^{3+} + 8H_2O \rightarrow 15Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 16H^+ \quad (5)$$

$$FeS_2 + 15/4O_2 + 1/2H_2O \rightarrow Fe^{3+} + 2SO_4^{2-} + H^+ \quad (6)$$

Ortamdaki karbonatlı ve silikatlı minerallerle asit oluşumunu engelleme ve nötürleştirme amacıyla ortaya çıkan olay reaksiyon (7) ile özetlemek mümkündür.

$$CaCO_3 + 2H^+ \rightarrow H_2CO_3 + Ca^{2+} \quad (7)$$

Asit maden drenajı, özellikle düşük pH, potansiyel olarak toksik çözünmüş metallerin ve sülfatın yüksek konsantrasyonları nedeniyle mevcut ve gelecek kuşaklar için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Birkaç çözünmüş toksik metalden oluşan asit nötralizasyonu giderilmesi zor, karmaşık ve pahalı bir işlemdir. Düzgün şekilde yapılmazsa çevresel bozulmalar, su ve toprak kirliliği, civardaki topluluklar üzerinde ciddi sağlık etkisi ve biyolojik çeşitlilik kaybına neden olur ve bu olumsuz çevresel etkiler nesilden nesile geçer (Albanese vd., 2014; Anawar, 2015; Durand, 2012; Hakkou vd., 2009; Khalil vd., 2014; Lghoul vd., 2014; Luptakova vd., 2012; Mulopo, 2015; Nejeschlebova vd., 2015; Ngure vd., 2014; Niane vd., 2014; Roychoudhury ve Petersen, 2014; Vanek vd., 2013). Bu yüzden, çevrenin korunması ve ekolojik sürdürülebilirliği artırmak için kullanılacak yöntemin doğru şekilde seçilmesi çok önemlidir. Asit maden drenajının temizlenmesi için iki temel yöntem olan aktif ve pasif kategoriler vardır. Aktif arıtma yöntemleri, metalleri çöktürmek için alkalin kimyasalların uygulanması, adsorpsiyon, iyon değişimi ve membran teknolojisi gibi diğer teknikleri içerir. Geleneksel aktif kimyasal arıtma seçenekleri arasında, kalsiyum hidroksit ($Ca(OH)_2$) veya kireçtaşı ($CaCO_3$) gibi endüstriyel kimyasalların kullanılması yaygın bir metottur. Bu metotta metaller metal hidroksit çökeltileri ve alçıtaşı çamuru şeklinde sülfat ($CaSO_4.H_2O$) olarak ortamdan uzaklaştırılabilirler.

Asit nötralizasyonunda aktif yöntemlere bir diğer örnekte, alkalin baryum kalsiyum (ABC) desalinasyon (tuzdan arındırma) işlemidir. Bu, hem metallerin hem de sülfatın toksik seviyenin altına düştüğü en yeni teknolojilerden biridir. Bu teknolojide farklılık, düşük seviyedeki çamurun yararlı kimyasallar veya metaller kurtarıldıktan sonra atılmasıdır. Bu teknolojinin ayrıntılı çalışmaları Mulopo (2015) tarafından yapılmıştır.

Pasif arıtma sistemleri olarak adlandırılan ikinci yöntem ise 1990'ların başlarından beri kullanılmaktadır. Kireçtaşının kimyasal işlemlerle ve sülfat içeren biyoreaktörlerle yapay sulak alanların biyolojik olarak arıtılması işlemidir. Pasif yöntemler, düşük maliyeti ve bakım avantajlarından dolayı daha uygundur. Örneğin, Zn ve Mn gibi metaller pH<6 değerlerde kolayca uzaklaştırılamaz. Bu nedenle, kireçtaşı drenlerinin kullanıldığı pasif yöntemler yüksek konsantrasyonda Zn ve Mn gibi metallerin giderilmesinde tercih edilmez. Bu metallerin yüksek derişiminin başarılı bir

şekilde giderilmesi için asit maden drenajının pasif yöntemlerle giderilmesinde alternatif bir yöntem olarak MgO veya kireçtaşı ile MgO kombinasyonu daha fazla tercih edilebilir (Caraballo vd., 2010; Rötting vd., 2008; Macías vd., 2012).

Dünyada ve ülkemizde terk edilmiş ve aktif madenlerin sayısı oldukça fazladır. Ağır metal yüklü tozların yayılması, kükürtlü gazların yayılımı, sulardaki bulanıklık asit maden drenajının başlıca etkileridir. Bunların sonucunda toprakta asitlenmenin fazla olması nedeniyle tarımdan beklenilen verim alınamaz ve aynı zamanda da suların kalitesi düşer. Yağışlı dönemlerde, yağışlardan sonra biriken asitli ürünler akarsulara geçebilmektedir. Bu nedenle, uzun vadeli çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması, asit maden drenajının olumsuz etkilerini en aza indirecek etkin ve verimli bir teknolojiye ihtiyaç vardır (Bussiere, 2009). Asit maden drenajının çevre üzerinde yarattığı bazı olumsuz etkiler Şekil 1'de verilmiştir. Drenajın pH'sını kontrol altına almak çok önemlidir; çünkü pH metallerin çözünürlüğü, oksidasyon ve hidroliz işlemlerinin kinetiği dâhil birçok şeyi etkiler.

Bu derlemede kireçtaşı ile asit nötralizasyon yöntemleri ve ayrıca asit maden drenajının önlenmesi vurgulanarak alınması gereken önlemler özetlenmiştir.

Şekil 1. Asit maden drenajının neden olduğu çevre kirliliğinin görüntüleri (Kefeni vd., 2017)

2. ASİT NÖTRALİZASYONUNDA KULLANILAN ALKALİ REAKTİFLER

Asit nötralizasyonunda kullanılan reaktifler Çizelge 1'de detaylı olarak verilmiştir. Kostik soda ve soda külü rafine edilmiş oldukça saf kimyasallardır. Kireçtaşları ise doğal yollarla oluşan minerallerdir. Sönmemiş ve hidratlı kireçtaşları ise bünyesinde birçok safsızlığı içermektedir. Nötrleştirici bir malzeme seçerken dikkate alınması gereken faktörler, malzemenin maliyeti, üretilen çamur miktarı, çamurun taşıma özellikleri, çamurun süzdürme özellikleri ve çıkan atık kalitesidir. Kireçtaşı genellikle en ucuz ve en kolay erişilebilir, alkali nötrleştiricidir. %75- %100 arasında nötrleştirme potansiyeline sahip olup ulaşılması kolay ve güvenlidir (Hill ve Willmote, 1972). Kireçtaşı tepkimede hidrojen iyonlarını tüketerek ve karbonat iyonlarıyla alkalinite sağlayarak suyun pH'ını artırır (Younger vd., 2002). Asidik suyun pH'ı yükseldikten sonra metaller hidroksitleri ve oksihidroksitleri oluşturacak kadar hızlı çökebilirler.

Çizelge 1. Asit nötralizasyonunda kullanılan alkali reaktifler

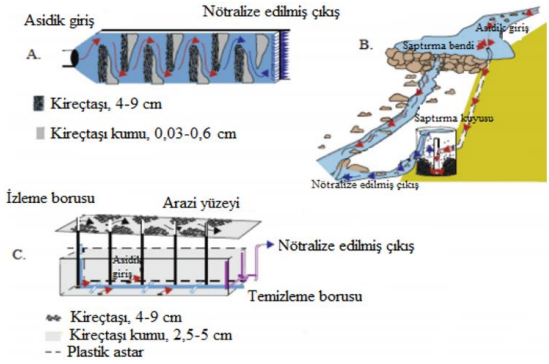
Reaktif	**Teorik formülü**	**Kimyasal tanımlaması**
Kostik soda	NaOH	Sodyum hidroksit
Soda külü	Na_2CO_3	Sodyum karbonat
Yüksek kalsiyumlu kireçtaşı	$CaCO_3$	Kalsiyum karbonat
Yüksek kalsiyumlu sönmemiş kireçtaşı	CaO	Kalsiyum oksit
Yüksek kalsiyumlu sulu kireçtaşı	$Ca(OH)_2$	Kalsiyum hidroksit
Magnezyum hidroksit	$Mg(OH)_2$	Magnezyum hidroksit

Atık sudaki en yüksek katı içeriği ve en düşük çamur hacmi ile kostik soda ve soda külü genellikle daha az etkilidir. Bu nötralize edici ajanlar aynı zamanda jel benzeri ve kontrol etmesi zor çamurlar üretirler. Dahası, sodyum esaslı çamurlardaki ağır metaller aşırı sızıntı yapabilirler. Çoğu atık akışı için, en çok kullanılan iki reaktif kireç ve magnezyum hidroksittir. Kireç, daha çabuk ve tamamen nötralize edici bir ajandır. Magnezyum hidroksit, birim hacim başına kirece kıyasla biraz daha az çamur üretir. Fakat magnezyum hidroksit atığı genel olarak toplam çözünmüş katılarda daha yüksektir. Kireç hemen hemen tüm uygulamalarda tercih edilen nötrleştirici ajandır. Kireç çamurları ağır, düşük hacimli kullanımı kolay ve temizlenmesi kolaydır. Çamur içindeki çoğu metaller çözünmez ve çevreye kolayca sızmaz.

2.1. Kireçtaşına Dayanan Pasif Yöntemler

Kireçtaşı ile yapılan asit nötralizasyonu pasif yöntemler olarak bilinir ve geçmişte birçok araştırmacı tarafında çalışılmıştır (Mihok ve Duel,1968; Hill ve Wilmote, 1972;

Ford, 1974; Geidel ve Caruccio, 1984; Bejan ve Bunce, 2015; Maree vd., 1996; Johnson ve Hallberg, 2005; Boonstra vd., 1999). Yapılan bazı çalışmalarda kireçtaşı olumlu sonuçlar verirken, bazı çalışmalarda ise daha yüksek bozundurma giderlerine sebep olan metal giderim veriminin düşük olduğu ve bunun sonucu olarak uygulamada ve prosesin etkinliğinde ciddi sınırlamalara yol açtığı belirtilmiştir. Bu yöntemde yaygın olarak kullanılan anoksik (oksijen seviyesi çok düşük ortam) kireçtaşı drenajı (ALD), oksik kireçtaşı drenajı (OLD) ve açık kireçtaşı drenajıdır (OLC) (Şekil 2).



Şekil 2. Pasif yöntemlerin şematik gösterimi; A. Açık kireçtaşı drenajı, B. Kireçtaşı saptırma kuyusu, C. Anoksik ya da oksik kireçtaşı drenajı (Cravotta III, 2010)

ALD, kireçtaşı ile dolgulanmış kanallardan oluşur. Kireçtaşı ile temas eden çözelti kireçtaşını çözer ve çözeltinin pH değeri yükselir. Giren maddeden oksijeni çıkarmak için bir ön-muamele aşamasına sahiptir ve çoğu durumda, kanalın giriş kısmı, oksijenin önceden çıkarılması için organik maddelerle doldurulabilir. Kanalların oksijen girişini önlemesi ile metal hidroksit çöker ve asitin girişi kireçtaşının erimesi ile önlenir (Bejan ve Bunce, 2015; Hedin vd., 1994; Santamartino ve Webb, 2007). Uzun süreli kullanımdan sonra ALD'lerin temel dezavantajları, partiküller ve metal hidroksit çözeltileri ile tıkanmasıdır (Bejan ve Bunce, 2015). OLD ve OLC'de, ALD'ye benzer yöntemlerdir.

OLD, oksik kireçtaşı kanallarından oluşan ALD'ye benzer fiziksel bir sistemdir. OLD sisteminde, Fe^{+3} ve Al^{+3} sistemden çökelme yoluyla çıkarılır ve metal hidroksitlerin büyük çökeltileri süspansiyon halinde kalır ve herhangi bir tıkanmaya sebebiyet vermezler (Younger vd., 2002). OLC yönteminde ise açılan kanallar kireçtaşı ile kaplanır. Kanalın eğimi, uzunluğu ve drenaj besleme hızı sistemin etkinliğinde oldukça önemlidir.

3. SONUÇLAR

Atık miktarını azaltmak, mali kaynakların iyileştirilmesini ve yeniden kullanılmasını sağlamak amacıyla asit nötralizasyon yöntemleri büyük ölçüde tercih edilir. Bununla birlikte, literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde günümüzde bu konuda hala etkili bir yöntem olmadığı görülmektedir. Bu nedenle daha etkili, uygun maliyetli ve çevresel açıdan sağlıklı asit nötralizasyon yöntemlerinin ortaya çıkması için biraz daha zamana ihtiyaç olduğu görülmektedir. Kaynakların tamamen kurtarıldığı ve kullanıldığı yöntemlerin bulunması ile asit nötralizasyonu ve çevre kirliliğinin azaltılması ile ilgili sürdürülebilirlik sorunu garanti altına alınmış olacaktır. Asit drenajını en aza indirgemek ve temiz bir çevre açısından aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır.

- Bir yönetim stratejisi tasarlanarak, maden sahasındaki atıkların kontrol altına alınması sağlanmalıdır.
- Asit drenaj atıkları farklı endüstrilerde kullanılması için geri dönüştürülmeli ve yeniden işlenmelidir.
- Asit nötralizasyonu sağlanan kaynakların iyileştirilmesi ve yeniden kullanılabilmesi için gereken özen gösterilmelidir.

KAYNAKLAR

Aguiar, A.O., Andrade, L.H., Ricci, B.C., Pires, W.L., Miranda, G.A., Amaral, M.C., 2016. Gold acid mine drainage treatment by membrane separation processes: an evaluation of the main operational conditions. Sep. Purif. Technol., 170: 360-369.

Albanese, S., De Vivo, B., Lima, A., Frattasio, G., Kríbek, B., Nyambe, I., Majer, V., 2014. Prioritising environmental risk at the regional scale by a GIS aided technique: the Zambian Copperbelt Province case study. J. Geochem. Explor., 144: 433-442.

Anawar, H.M., 2015. Sustainable rehabilitation of mining waste and acid mine drainage using geochemistry, mine type, mineralogy, texture, ore extraction and climate knowledge. J. Environ. Manag., 158, 111-121.

Baruah, B.P., Khare, P., 2010. Mobility of trace and potentially harmful elements in the environment from high sulfur Indian coal mines. Appl. Geochem., 25, 1621-1631.

Bejan, D., Bunce, N.J., 2015. Acid mine drainage: electrochemical approaches to prevention and remediation of acidity and toxic metals. J. Appl. Electrochem., 45: 1239-1254.

Blodau, C., 2006. A review of acidity generation and consumption in acidic coal mine lakes and their watersheds. Sci. Total Environ., 369: 307-332.

Boonstra, J., Janssen, G., Dikman, H. and Buisman, C.J.N., 1999. Biological treatment of acid mine drainage, ın biohydrometallurgy and the environment toward the mining of the 21st Century, Part B. Eds: Amils, R., Ballester, A., Elsevier, Amsterdam, 559-567.

Bussiere, B., 2009. Acid mine drainage from abandoned mine sites: problematic and reclamation approaches. In: Proc. of Int. Symp. on Geoenvironmental Eng. September 8-10. Hangzhou, pp. 111-125.

Caraballo, M.A., Santofimia, E., Jarvis, A.P., 2010. Metal retention, mineralogy and design considerations of a mature Permeable Reactive Barrier (PRB) for acidic mine water drainage in Northumberland, UK. Am. Min., 95: 1642-1649.

Chen, M., Lu, G., Guo, C., Yang, C., Wu, J., Huang, W., Yee, N., Dang, Z., 2015. Sulfate migration in a river affected by acid mine drainage from the Dabaoshan mining area, South China. Chemosphere, 119: 734-743

Cravotta III, C.A., 2010. Abandoned mine drainage in the Swatara Creek Basin, Southern Anthracite Coalfield, Pennsylvania, USA: 2. performance of treatment systems. Mine Water Environ., 29: 200-216.

Durand, J.F., 2012. The impact of gold mining on the Witwatersrand on the rivers and karst system of Gauteng and North West Province, South Africa. J. Afr. Earth Sci., 68: 24-43.

Ford, C.T., 1974. Use of limestone in AMD treatment. Coal mine drainage., 5th Coal and the env. Tech.conf., Louisville, Ky. Proceedings, 205-228.

Galhardi, J.A., Bonotto, D.M., 2016. Hydrogeochemical features of surface water and groundwater contaminated with acid mine drainage (AMD) in coal mining areas: a case study in southern Brazil. Environ. Sci. Pollut. Res., 23: 18911-18927.

Geidel, G., Caruccio, F.T, 1984. Evaluation of a surface application of limestone for controlling acid mine drainages from abandoned strip mines. Sewellsville, Ohio.

Grande, J.A., de la Torre, M.L., Ceron, J.C., Beltran, R., Gomez, T., 2010. Overall hydrochemical characterization of the Iberian Pyrite Belt. Main acid mine drainage-generating sources (Huelva, SW Spain). J. Hydrol., 390: 123-130.

Hakkou, R., Benzaazoua, M., Bussiere, B., 2009. Laboratory evaluation of the use of alkaline phosphate wastes for the control of acidic mine drainage. Mine Water Environ., 28: 206-218.

Han, Y., Youm, S., Oh, C., Cho, Y., Ahn, J.S., 2015. Geochemical and eco-toxicological characteristics of stream water and its sediments affected by acid mine drainage. Catena.

Hedin, R.S.,Watzlaf, G.R., Nairn, R.W., 1994. Passive treatment of acid mine drainage with limestone. J. Environ. Qual., 23: 1338-1345.

Hill, R.D., Wilmote, R.C., 1972. Limestone treatment of acid mine drainage. Trans. Soc. Mining Eng., 250(2): 162-166.

Johnson, D.B., Hallberg, K.B., 2005. Acid mine drainage remediation options: a review. Sci. Total Environ., 338: 3-14.

Kefeni, K.K., Msagati, T.A.M., Mamba, B.B., 2017. Acid mine drainage: prevention, treatment options and resource recovery: a review. Journal of cleaner production, 151: 475-493.

Khalil, A., Hanich, L., Hakkou, R., Lepage, M., 2014. GIS-based environmental database for assessing the mine pollution: a case study of an abandoned mine site in Morocco. J. Geochem. Explor., 144 (Part), 468-477.

Lghoul, M., Maqsoud, A., Hakkou, R., Kchikach, A., 2014. Hydrogeochemical behavior around the abandoned Kettara mine site, Morocco. J. Geochem. Explor., 144 (Part), 456-467.

Luptakova, A., Ubaldini, S., Macingova, E., Fornari, P., Giuliano, V., 2012. Application of physicalechemical and biologicalechemical methods for heavy metals removal from acid mine drainage. Process Biochem., 47: 1633-1639.

Macías, F., Caraballo, M.A., Nieto, J.M., 2012. Environmental assessment and management of metal-rich wastes generated in acid mine drainage passive remediation systems. J. Hazard. Mater., 229-230:107-114.

Maree, J.P., du Plessis, P., 1994. Neutralization of acid mine water with calcium carbonate. Water Sci. Technol., 29: 285-296.

Mihok, E.A., and Deul, M., 1968. Limestone neutralization: a low cost and effective treatment for acid mine waters. Coal Age, 73(12): 65-70.

Mulopo, J., 2015. Continuous pilot scale assessment of the alkaline barium calcium desalination process for acid mine drainage treatment. J. Environ. Chem. Eng., 3: 1295-1302.

Neculita, C., G_erald, J., Bussi_ere, B., 2007. Passive treatment of acid mine drainage in bioreactors using sulphate-reducing bacteria: critical review and research needs. J. Environ. Qual., 36: 1-16.

Nejeschlebova, L., Sracek, O., Mihaljevic, M., Ettler, V., Kríbek, B., Knesl, I., Vanek, A., Penízek, V., Dolnícek, Z., Mapani, B., 2015. Geochemistry and potential environmental impact of the mine tailings at Rosh Pinah, southern Namibia. J. Afr. Earth Sci., 105: 17-28.

Ngure, V., Davies, T., Kinuthia, G., Sitati, N., Shisia, S., Oyoo-Okoth, E., 2014. Concentration levels of potentially harmful elements from gold mining in Lake Victoria Region, Kenya: environmental and health implications. J. Geochem. Explor 144: 511-516.

Niane, B., Moritz, R., Guedron, S., Ngom, P.M., Pfeifer, H.R., Mall, I., Pote, J., 2014. Effect of recent artisanal small-scale gold mining on the contamination of surface river sediment: case of Gambia River, Kedougou region, southeastern Senegal. J. Geochem. Explor., 144: 517-527.

Pierre Louis, A.-M., Yu, H., Shumlas, S.L., Van Aken, B., Schoonen, M.A.A., Strongin, D.R., 2015. Effect of phospholipid on pyrite oxidation and microbial communities under simulated acid mine drainage (AMD) conditions. Environ. Sci. Technol., 49: 7701-7708.

Qureshi, A., Maurice, C., Ohlander, B., 2016. Potential of coal mine waste rock for generating acid mine drainage. J. Geochem. Explor., 160: 44-54.

Roychoudhury, A.N., Petersen, J., 2014. Geochemical evaluation of soils and groundwater affected by infiltrating effluent from evaporation ponds of a heavy mineral processing facility, West Coast, South Africa. J. Geochem. Explor., 144: 478-491.

Rötting, T.S., Caraballo, M.A., Serrano, J.A., Ayora, C., Carrera, J., 2008. Field application of calcite Dispersed Alkaline Substrate (calcite-DAS) for passive treatment of acid mine drainage with high Al and metal concentrations. Appl. Geochem., 23: 1660-1674.

Santomartino, S., Webb, J.A., 2007. Estimating the longevity of limestone drains in treating acid mine drainage containing high concentrations of iron. Appl. Geochem., 22: 2344-2361.

Shim, M.J., Choi, B.Y., Lee, G., Hwang, Y.H., Yang, J.-S., O'Loughlin, E.J., Kwon, M.J., 2015. Water quality changes in acid mine drainage streams in Gangneung, Korea, 10 years after treatment with limestone. J. Geochem. Explor., 159: 234-242.

Vanek, A., Ettler, V., Skipalov_a, K., Novotný, J., Penízek, V., Mihaljevic, M., Sracek, O., Drabek, O., Tejnecký, V., Mapani, B., 2013. Environmental stability of the processing waste from sulfide mining districts of Namibia - a model rhizosphere solution approach. J. Geochem. Explor., 144: 421-426.

Younger, P.L., Banwart, S.A., Hedin, R.S., 2002. Mine water: hydrology, pollution, remediation. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

NÖTRLEŞTİRME POTANSİYELİNİN SAPTANMASI İÇİN pH6 TESTİ İŞLEM SÜRECİNDE DEĞİŞİKLİK ÖNERİSİ

A PROPOSAL FOR MODIFICATION OF THE pH6 TEST FOR DETERMINATION OF NEUTRALIZATION POTENTIAL

Mehmet KARADENİZ

TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar: mhmtkaradeniz@gmail.com

ÖZET: Asit- baz hesaplama yöntemleri; temelde, mineralojik yapıların değişkenliğine, minerallerin çözünme davranışlarının farklılığına ve uygulanan test koşullarına dayanan zaafları bağlamında, sadece asit üretme potansiyelinin (AÜP) değil, aynı zamanda nötrleştirme potansiyelinin (NP) saptanması açısından da her daim tartışma konusudur. Modifiye ABA (acid- base accounting), pH6 (Lapakko) ve EN15875 gibi bazı yöntemler, bu çerçevede geliştirilmiştir. Bu çalışmada, söz konusu yöntemlerden, Standard ABA pH6, Balıkesir- Balya Kurşun- Çinko Madeni sahasındaki flotasyon artığı dört ayrı yığında yapılan sondajlarla alınan numuneler üzerinde, NP değerlerinin kestirimi amacıyla uygulanmıştır. Deneylerde bulunan NP değerleriyle kıyaslama yapılabilmesi için, tek kaynağının karbonatlar olduğu varsayımıyla, karbon (C) varlığı dikkate alınarak, NP değerleri [HesNP (C)] de hesaplanmıştır. Maden sahasındaki yığınların tane boyut dağılımına ve örneklerin mineralojik bileşimlerine bakıldığında, her iki yöntemin de NP ile ilgili hatalı sonuçlar verebileceği, zaten öngörülmüştür. Neticede; tane boyutu, asit türü, sıcaklık gibi hata kaynağı olabilecek değişkenler gözetilerek farklı denemeler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre de daha iyi sonuç vereceği düşünülen ve pH6 yönteminin modifikasyonunu içeren bir öneri getirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Asit maden drenajı, Kestirim, Statik yöntemler, pH 6

ABSTRACT: *Acid- base accounting (ABA) methods have been always under discussion from the point of determination of not only acid production potential (APP), but also neutralization potential (NP) in the context of deficiencies based on the changeability of mineralogical structures and compositions, differences of behaviors of mineral*

solubility and test conditions applied. Some methods, such as Modified ABA, pH6 (Lapakko) and EN 15875 have been developed in this framework. In this study, Standard ABA and pH6 which is the modified BCRI (British Columbia Research Initial) test, have been applied for the prediction of NP values on the drilling samples taken from the four separate piles of flotation tailings on the field of Balıkesir- Balya Lead-Zinc mine site. In addition to that, NP values [CalNP (C)] have been calculated in consideration of the presence of carbon(C) so as to be compared with the NP values found in the experiments by assuming that carbonates are the only source of carbon.

When the mineralogical composition of the samples is examined, it is foreseen that both methods can give erroneous results for NP values. Eventually; different experiments have been carried out by taking into consideration the variables such as particle size, acid type, temperature that may be the source of error. According to the findings obtained, a proposal of modification of pH6 method, which is thought to give better results, has been introduced.

Keywords: *Acid mine drainage, Prediction, Static methods, pH 6*

1. GİRİŞ

Sülfitli maden sahalarının sorunu olan asit maden drenajının (AMD) oluşumu tetiklenmişse, kontrolü güçtür. Bundan ötürü, oluşum potansiyelinin ve olası etkilerinin ÇED (Çevresel Etki Değerlendirme) sürecinde belirlenip (kestirim) önlemler alınması teknik ve ekonomik bakımdan hayati değerdedir. Jeokimyasal statik testler; belirsizlikler içermelerine rağmen, bu amaçla yaygın biçimde kullanılmaktadır, çünkü basit, hızlı sonuç veren, düşük maliyetli olma üstünlükleriyle, eleme niteliği taşımakta, sonraki kademelere yön verebilmektedirler (Karadeniz, 2011).

Maden atık/artıklarının asit üretme potansiyelini önceden tahmin etmeye dönük çeşitli statik testler geliştirilmiştir. Bunların bir kısmı; Standard ABA (EPA- 600 adıyla da bilinir- Sobek vd., 1978), BCRI test (Duncan ve Bruynesteyn, 1979), Alkali Üretme Potansiyeli: S Oranı (Alkaline Production Potential: Sulfur Ratio (APP:S)- Carrucio vd., 1981), Modified ABA (Lawrence, 1990) ve pH6 (Lapakko, 1994) Sobek NP Siderite Correction (Skousen vd., 1997), EN15875 (Kaartinen ve Wahlström, 2009) toplam veya piritik kükürt ile beraber nötrleştirme potansiyelinin ölçümüne dayanır. Asit- baz hesabı (acid- base accounting) yapılırken, numunelerin, azami asitlik potansiyeliyle toplam

nötrleştiricileri arasındaki dengeye bakılır. Buna karşın; NAP (net acid production- Coastech, 1989) ve NAG (net acid generation- Miller vd., 1994) testleri, H_2O_2 gibi güçlü bir oksitleyici yardımıyla numunenin üretebileceği net asit miktarının doğrudan ölçümünü sağlar. Çamur veya Doygun Çamur pH'ı (Paste pH- Sobek vd., 1978), suyla muamele edilen numunenin hazır asitliğini tayin etmekte kullanılır.

Statik yöntemler, kısmen katı faz analizlerine, kısmen de belirli koşullar altındaki çözündürme süreçlerine dayalı olduklarından, mineral tepkimelerinin mertebesi ve tepkimelerin birbirlerine göre hızları ile ilgili kabuller yapılması gereklidir (Lapakko, 1992). Özellikle, mineralojik yapı uygun olmadığında, kabuller geçerliliğini kaybetmekte ve varılan sonuçlar yanıltıcı olabilmektedir. Aynı örneklere uygulanan farklı testlerin bulguları, belki, kimyasal analiz üzerinden hesaplamayla bulunan AÜP değil, fakat NP değerleri için ciddi sapmalar gösterebilmektedir.

NP'nin saptanması daha karmaşık ve sorunludur, çünkü kayaç yapıcı birçok mineral, oluşan asidi nötrleştirebilmektedir, ama nötrleştirme kapasiteleri ve tepkime hızları değişkendir (Hammarstrom ve Smith, 2002). Bu kapasite, maden sahasına özgü çevresel koşullara, mineralojik yapıya, minerallerin tepkime hızlarına bağlıdır. Diğer bir deyişle, bir numune için bir "gerçek NP" veya "etkin NP" değeri vardır (Morin ve Hutt, 2001). Kapasite ile gerçek arasındaki farklılık, hatalı ölçüm durumunda, numunelerin, dolayısıyla da sahanın yanlış sınıflandırılmasına yol açabilir (Lapakko, 1994).

Bu çalışmada; Standard ABA ve pH6 yöntemlerindeki hata kaynakları NP açısından irdelenmiş, pH6 yöntemi, daha güvenilir sonuçlara ulaşmak doğrultusunda modifiye edilmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

Deneysel çalışmalarda, karot numuneleri, "Büyük pasa" olarak adlandırılan artık yığınında 7 (1, 2, 3, 4, 5, 9 ve 10 numaralı sondajlar), diğer 2 yığında da birer adet (6 ve 7 numaralı sondajlar) olmak üzere 9 tane sondaj yapılmak suretiyle temin edilmiştir. Büyük pasadan alınan sondaj karotları, temsil ettikleri metrajlar dikkate alınarak birleştirildikten sonra, diğer karotlar ise doğrudan boylamasına dörde bölünerek ayrılmıştır. Mekanik bölücü yardımıyla azaltılmış ve şişeli bölücüyle bölünerek sahayı

temsil eden numuneler hazırlanmıştır. Gerektiğinde boyut küçültme işleminden geçirilerek mineralojik ve kimyasal analizlere tâbi tutulmuştur.

Numunelerin S ve C analizleri Leco CS 300 cihazıyla yapılmıştır. Ayrıca orijinal boyuttaki malzemenin asitte çözünen S içeriği de yaş analiz yöntemi uygulanarak belirlenmiştir. XRF (Philips Axios model IQ+ programı) ile de Na_2O, MgO, Al_2O_3, SiO_2, K_2O, CaO, MnO, Fe_2O_3, SO_3 analizleri gerçekleştirilmiştir. Ateş zayiatı yaş yöntemle tespit edilmiştir (Çizelge 1- 4). Numunelerin mineralojik bileşim tayinleri, Cu X-ışın tüplü Philips PW 3710/1830 XRD analiz cihazı ile yapılmış, çekimler 2,5-70º arasında gerçekleştirilmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 1. Büyük Pasa numunelerinin XRF analizi sonuçları

Bileşik, %	**BP 1**	**BP 2**	**BP 3**	**BP 4**	**BP 5**	**BP 6**	**BP 7**	**BP 8**
Na_2O	1,0	1,0	1,4	0,7	1,0	1,0	1,3	1,7
MgO	0,4	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	<0,1	0,3
Al_2O_3	4,8	4,5	3,7	3,7	3,2	3,6	2,6	2,2
SiO_2	26,3	27,5	24,1	21,8	19,2	21,2	16,2	13,1
K_2O	1,8	2,1	1,6	1,4	1,2	1,3	1,0	0,7
CaO	7,7	9,3	7,2	7,3	7,1	8,9	5,6	2,8
MnO	0,2	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1
Fe_2O_3	11,5	12,3	11,8	15,0	15,0	15,0	15,6	16,3
SO_3	21,57	21,60	21,22	27,37	27,78	27,14	28,96	32,59
Ateş zayiatı	19,65	15,10	21,45	17,65	19,2	15,7	21,9	23,7

Çizelge 2. SK6 ve SK7 sondaj numunelerinin XRF analizi sonuçları

Bileşik-%	**SK6 10**	**SK6 11**	**SK6 12**	**SK7 16**	**SK7 17**	**SK7 18**	**SK7 19**
Na_2O	1,6	1,6	1,6	0,1	0,1	0,4	0,3
MgO	0,8	0,8	0,7	2,8	2,6	3,0	3,6
Al_2O_3	10,1	8,6	8,2	1,9	2,1	2,2	2,1
SiO_2	39,3	34,2	31,8	42,9	40,5	44,3	42,8
K_2O	3,2	3,5	2,9	0,2	0,3	0,3	0,2
CaO	12,6	10,0	11,6	21,6	20,8	21,0	21,4
MnO	0,3	0,3	0,4	8,3	9,7	7,7	7,4
Fe_2O_3	5,6	6,2	5,9	13,4	12,7	12,2	12,4
SO_3	9,08	12,25	13,26	1,15	1,83	1,44	1,17
Ateş zayiatı	7,95	10,0	10,7	6,1	7,5	6,25	7,45

Çizelge 3. Büyük Pasa numunelerinin C ve S analizi sonuçları

Element	**BP 1**	**BP 2**	**BP 3**	**BP 4**	**BP 5**	**BP 6**	**BP 7**	**BP 8**
C- %	1,007	1,574	2,140	1,480	1,900	2,200	1,340	0,880
S- %	12,100	11,010	13,300	14,800	14,200	12,800	17,050	16,840
***S- %**	3,50	4,35	2,50	1,95	1,85	1,60	2,40	2,20

Çizelge 4. SK6 ve SK7 sondaj numunelerinin C ve S analizi sonuçları

Element	SK6 10	SK6 11	SK6 12	SK7 16	SK7 17	SK7 18	SK7 19
C- %	2,256	2,248	2,620	1,986	2,324	2,200	2,300
S- %	5,226	7,463	7,570	0,590	0,844	0,720	0,640
***S- %**	1,05	1,15	1,15	0,05	0,35	0,50	0,25

*Asitte çözünen S'ün yaş analiz sonucudur.

Çizelge 5. XRD grafiğine göre, yığınların mineral varlığının derinlikle değişimi

Numune	Miktar Sıralamasına Göre İlk Beş Mineral				
BP1	Jips	Kuvars	Pirit	Amorf malzeme	Serüzit
BP2	Jips	Kuvars	Pirit	Serüzit	Feldispat
BP3	Jips	Kuvars	Pirit	Kalsit	Feldispat
BP4	Kuvars	Jips	Kalsit	Pirit	Feldispat
BP5	Kuvars	Jips	Kalsit	Pirit	Sfalerit
BP6	Kalsit	Jips	Kuvars	Pirit	Dolomit
BP7	Jips	Kuvars	Pirit	Feldispat	Bassanit
BP8	Kuvars	Kalsit	Pirit	Jips	Sfalerit
SK6 10	Kuvars	Sfalerit	Kalsit	Jips	Serüzit
SK6 11	Kalsit	Kuvars	Jips	Serüzit	Feldispat
SK6 12	Kalsit	Kuvars	Serüzit	Sfalerit	Jips
SK7 16	Hedenberjit	Kuvars	Kalsit	Jips	Sfalerit
SK7 17	Hedenberjit	Kuvars	Kalsit	Amorf malzeme	Simektit
SK7 18	Kuvars	Kalsit	Hedenberjit	Simektit	Amorf malzeme
SK7 19	Kuvars	Kalsit	Hedenberjit	Simektit	Jips
SK8 23	Jips	Kuvars	Feldispat	Anglezit	Jarosit
SK8 24	Jips	Kuvars	Feldispat	Jarosit	İllit/Mika
SK8 25	Jips	Kuvars	Feldispat	Pirit	Jarosit

2.2 Deneysel Çalışmalar

2.2.1 Standard ABA testleri

Standard ABA deneylerinde NP için, örnekler, agat el havanında -250 µm tane boyutuna öğütülmüş, ardından, fışırdama testi (fizz rating) ve deney için 0,5 ve 2,0'şer g'lık numuneler alınmıştır. İlk aşamada, deneylerde, her bir numunede kullanılacak asidin hacim ve molaritesini, buna bağlı olarak da bazın molaritesini saptamak için fışırdama testi yapılmıştır. Teste tâbi tutulacak numuneden 0,5 g saat camı üzerine alınarak birkaç damla %25'lik HCl damlatılmış, gelişen tepkimelerle oluşan kabarcıkların yoğunluğu ve büyüklüğünden testte kullanılacak asidin hacim ve molaritesi belirlenmiştir.

NP testinde, önce 2 g'lık numune 250 ml'lik erlene alınıp üzerine, asit ilâve edilmiştir. Ardından, erlen ısıtılarak sıcaklığı 85 ^{0}C'a sabitlenen su banyosuna yerleştirilmiş ve 5'er dk aralıklarla çalkalanmıştır. Erlen, en az 2 h veya tepkime tamamlanıncaya (baloncuklaşma veya gaz çıkışı duruncaya) değin su banyosunda tutulmuştur. Sonrasında, toplam hacim 125 ml olacak biçimde saf su eklenip, çözelti 1

dk kadar daha su banyosunda bekletilmiştir. Ortam sıcaklığının biraz üzerinde bir sıcaklığa geldiğinde (~28-30 ^{0}C), erlenin ağzı kendi kapağı ile sıkıca kapatılıp, ortam sıcaklığına ininceye dek soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan çözelti, malzemenin muamele edildiği asit şiddetindeki NaOH çözeltisi ile dijital büret vasıtasıyla pH 7,0'ye geri titre edilerek test tamamlanmıştır. Her numune için en az iki paralel deney yapılmıştır. Deney tamamlandığında, Eşitlik 1 kullanılarak, NP değeri hesaplanmıştır. Hesaplama;

$$NP = \frac{50 \times a_M \times (v_A - (\frac{b_M}{a_M}) \times v_B)}{n_A} \quad (1)$$

Burada; NP, Nötrleştirme potansiyeli (kg $CaCO_3$/t); a_M, asidin molaritesi (M); b_M, bazın molaritesi (M); n_A, numune ağırlığı (g); v_A, ilâve edilen asidin hacmi (ml) ve v_B, ilâve edilen bazın hacmidir (ml).

2.2.2 pH6 deneyleri

Bölünecek numuneler, şişeli bölücüler vasıtasıyla ayrılarak tam 10'ar g'lık değil, ancak buna en yakın ağırlığa ulaşacak biçimde bölünmüştür. Agat el havanı ile öğütülerek malzeme, en az %70'i -45 µm tane boyutuna indirilmiştir. Numune behere alınmış ve üzerine 100 ml saf su eklenmiştir. Hazırlanan çözelti ısıtıcı-karıştırıcı ile 15 dk kadar karıştırılıp 15 dk süreyle çökelmeye bırakılmıştır. Ardından çözeltinin başlangıç pH'ı ve sıcaklığı ölçülüp kaydedilmiştir. Sonrasında, 1,0 N H_2SO_4 ilâvesiyle titrasyona başlanmış ve işlem pH yaklaşık 6,0'ya ulaşıp sabitleninceye dek sürdürülmüştür. Her bir test en az iki kez tekrar edilmek suretiyle, paralel çalışma gerçekleştirilmiştir.

Deney tamamlandığında, tüketilen asit hacimleri saptanmış ve ortalaması bulunmuştur. Ortalamalar alınarak da $CaCO_3$ eşdeğerliğinden her bir numune için ortalama NP değeri hesaplanmıştır (Eşitlik 2);

$$NP = \frac{49 \times v_A \times a_N}{n_A} \quad (2)$$

Burada; NP, numunenin nötürleştirme potansiyeli (kg $CaCO_3$/t); v_A, ilâve edilen H_2SO_4 miktarı (ml); a_N, asidin normalitesi (1,0 N); n_A, deneydeki numunenin miktarıdır (g).

2.2.3 Modifiye pH6 deneyleri

Her bir deneyde, boyut küçültme işlemi uygulanmaksızın hazırlanan 10'ar g'lık deney numuneleri, 400 ml'lik behere alınıp 100 ml saf su eklenmiştir. Çözelti cam bagetle 10

sn kadar karıştırılıp 15 dk süreyle çökelmeye bırakılmıştır. Ardından çözeltinin başlangıç pH'ı ve sıcaklığı ölçülüp kaydedilmiştir. Sonrasında, 1,0 N H_2SO_4 ilâvesiyle titrasyona başlanmış, pH ölçümünden ve asit ilâvesinden sonra, cam bagetle karıştırma işlemi tekrarlanmıştır. Süreç, en az iki saat arayla yapılan iki ölçümde kararlılık gözlemlenmek kaydıyla, pH yaklaşık 6,0'ya ulaşıp, o civarda sabitleninceye dek sürdürülmüştür. pH sabitlendiğinde, çözelti içeren beher, sıcaklığı 70 ^{0}C'a ayarlanmış sıcak su banyosuna alınmış, 2 saat ya da tepkimeler bitinceye dek (kabarcıklaşma veya gaz çıkışının durması) su banyosunda tutulup, sonra ortam sıcaklığına ininceye kadar soğumaya bırakılmıştır. Şayet, ısıl işlem sonrasında pH yeniden yükselme eğilimi göstermişse, yeniden asit eklenmeye başlanmıştır. pH 6,0 civarında sabitlenene değin işlemlere devam edilmiştir. pH dengeye erişince (iki saat arayla yapılan iki ölçümde kararlılık görülmesi), deney sonuçlandırılmıştır. NP değeri, 2 numaralı eşitlikten hesaplanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 NP'nin Belirlenmesi

Standard ABA test sonuçlarına göre hesaplanan NP değerleri Çizelge 6-7'de verilmiştir. Çizelgelerden görüldüğü üzere, Büyük pasa yığınından alınan numuneler için belirlenen NP değerleri, 37,16 ilâ 169,27 kg $CaCO_3$/t arasında değişmektedir. En küçüğü BP2, en büyüğü BP6 numunesine aittir. SK6 ve SK7 sondajlarına ait numunelerin NP değerleri BP numunelerine kıyasla daha büyük ve sırasıyla, 184,70 (SK6 11) – 208,10 (SK6 10) ve 152,77 (SK7 16) – 200,75 (SK7 19) kg $CaCO_3$/t aralığındadır.

Çizelge 6. Büyük pasa sondaj numunelerinin Standard ABA deney sonuçlarına göre ortalama NP değerleri

Numune	**BP 1**	**BP 2**	**BP 3**	**BP 4**	**BP 5**	**BP 6**	**BP 7**	**BP 8**
NP (kg $CaCO_3$/t)	50,19	37,16	139,56	145,50	134,48	169,27	85,11	48,82

Çizelge 7. SK6 ve SK7 sondaj numunelerinin Standard ABA deney sonuçlarına göre ortalama NP değerleri

Numune	**SK6 10**	**SK6 11**	**SK6 12**	**SK7 16**	**SK7 17**	**SK7 18**	**SK7 19**
NP (kg $CaCO_3$/t)	208,10	184,70	203,38	152,77	172,37	189,97	200,75

Çizelge 8 ve 9'da verilen pH6 test sonuçlarına ait NP değerlerine bakıldığında, büyük pasa için BP2 numunesinin 20,31 kg $CaCO_3$/t ile en düşük – Standard ABA testinde en büyük değeri veren BP6'dan farklı olarak, BP5 numunesinin 70,03 kg

$CaCO_3$/t ile en yüksek oldukları görülmektedir. SK6 numunelerinde bulunan sonuçlar büyüklük sıralaması bakımından aynıdır. SK6 11 55,75 kg $CaCO_3$/t ile en küçük iken, SK6 10 71,92 değeriyle en büyüktür. Ancak, SK7 numunelerinde koşutluk bozulmaktadır. Çünkü SK7 19'un NP değeri 83,88 kg $CaCO_3$/t, SK7 18'inki 99,92 kg $CaCO_3$/t olup hem en küçük, hem de en büyük NP açısından da farklılık vardır.

Çizelge 8. Büyük pasa sondaj numunelerinin pH6 deney sonuçlarına göre ortalama NP değerleri

Numune	**BP 1**	**BP 2**	**BP 3**	**BP 4**	**BP 5**	**BP 6**	**BP 7**	**BP 8**
NP (kg $CaCO_3$/t)	35,65	20,31	53,53	69,90	70,03	65,89	36,84	23,78

Çizelge 9. SK6 ve SK7 sondaj numunelerinin pH6 deney sonuçlarına göre ortalama NP değerleri

Numune	**SK6 10**	**SK6 11**	**SK6 12**	**SK7 16**	**SK7 17**	**SK7 18**	**SK7 19**
NP (kg $CaCO_3$/t)	71,92	55,75	59,04	94,50	91.81	99,92	83,88

Orijinal tane boyutunda gerçekleştirilen Modifiye pH6 testlerine ait sonuçlar Çizelge 10 ve 11'de verilmiştir. Bu testte de, Standard ABA gibi, BP numuneleri arasında en yüksek değer, kg $CaCO_3$/t ile BP6, en düşük değer 24,40 kg $CaCO_3$/t olarak BP2 için elde edilmiştir.

Çizelge 10. Büyük pasa sondaj numunelerinin Modifiye pH6 deney sonuçlarına göre ortalama NP değerleri

Numune	**BP 1**	**BP 2**	**BP 3**	**BP 4**	**BP 5**	**BP 6**	**BP 7**	**BP 8**
NP (kg $CaCO_3$/t)	26,10	24,40	75,27	96,69	104,61	116,96	62,92	42,98

Çizelge 11. SK6 ve SK7 sondaj numunelerinin Modifiye pH6 deney sonuçlarına göre ortalama NP değerleri

Numune	**SK6 10**	**SK6 11**	**SK6 12**	**SK7 16**	**SK7 17**	**SK7 18**	**SK7 19**
NP (kg $CaCO_3$/t)	130,96	120,69	127,24	130,99	127,43	111,31	145,59

Diğer testlerde olduğu gibi, SK6 numuneleri arasında en küçük NP değeri 120,69 kg $CaCO_3$/t olup SK6 11'e aitken, en büyük olan 130,96 kg $CaCO_3$/t ile SK6 10 numunesinindir. Fakat SK7 numuneleri açısından durum farklıdır. SK7 19'un NP değeri 145,59 kg $CaCO_3$/t, SK7 18'in 111,31 kg $CaCO_3$/t'dur.

Testlerin genel eğilimine bakıldığında, en yüksek NP değerlerinin beklendiği üzere, Standard ABA yönteminde ortaya çıktığı görülmektedir. İlginç bulgu, orijinal, dolayısıyla da daha iri tane boyutuna sahip numunelerin kullanıldığı Modifiye pH6 testinde elde edilen NP değerlerinin, BP1 numunesi dışında, pH6 testiyle bulunanlardan yüksek olmasıdır.

3.2 Karbon Hesabıyla NP

AÜP'dekine benzer kabuller yapılarak NP'nin de hesaplanması kabildir. Tüm C'un kaynağının karbonatlar olduğu ve tamamının çözüneceği varsayıldığında, moleküler ağırlıklar kullanılarak ve binde değerine çevrilerek, kg $CaCO_3$/t biriminden bir NP değeri bulunabilir. Buna göre, NP'nin sadece karbonatlardan kaynaklanacağı kabul edilerek, karşılaştırma amacı güdülerek, %ΣC analiziyle NP değeri hesaplanmıştır (Eşitik 3). Çizelge 3 ve 4'te verilen "C" analizi sonuçlarına göre hesaplanan HesNP(C) değerleri Çizelge 9 ve 10'da verilmiştir.

$$\text{HesNP (C)} = \frac{\%\text{C}}{83{,}33} \qquad (3)$$

Nötrleşme tepkimelerinin karbonatlı mineral ya da kayaçlar olduğunun ve tümünün çözüneceğinin kabul edildiği "C" hesabıyla bulunan NP değerlerine bakıldığında (Çizelge 12), Büyük pasa için en büyük NP, 183,35 kg $CaCO_3$/t olup, BP6'ya aitken, en düşük değer 83,92 kg $CaCO_3$/t ile BP8 numunesinindir. Hesaplanan NP değerlerine göre, SK6 numunelerinde büyüklük sıralaması değişmekte; 188,01 kg $CaCO_3$/t ile SK6 10 en küçük ve 218,35 kg $CaCO_3$/t ile SK6 12 en büyük NP değeri vermektedir (Çizelge 13). SK7 numunelerinde ise, en düşüğü olan SK7 16'nın NP değeri 170,15 iken, SK7 17 ile birlikte SK7 19'un NP değeri 190,17 kg $CaCO_3$/t olup, eşittir. Testlerde elde edilen verilerle karşılaştırıldığında; SK6 10 hariç, HesNP(C) değerleri tüm numuneler için daha yüksektir.

Çizelge 12. Büyük pasa numunelerinin C hesabıyla bulunan NP değerleri

	BP1	**BP2**	**BP3**	**BP4**	**BP5**	**BP6**	**BP7**	**BP8**
%C	1,007	1,574	2,14	1,48	1,90	2,20	1,34	0,88
C HesNP (kg $CaCO_3$/t)	83,92	131,18	178,35	123,34	158,34	183,35	111,67	73,34

Çizelge 13. SK6 ve SK7 sondaj numunelerinin C hesabıyla bulunan NP değerleri

	SK6 10	**SK6 11**	**SK6 12**	**SK7 16**	**SK7 17**	**SK7 18**	**SK7 19**
%C	2,2561	2,248	2,62	1,986	2,324	2,2	2,3
C HesNP (kg $CaCO_3$/t)	188,01	190,17	218,35	170,15	190,17	180,16	190,17

3.3 Tartışma

ABA temelli testlerde NP, deneysel süreçler sonunda belirlenmektedir. Tabii ki, bu esnada, numune tane boyutu ve temsiliyet derecesi, kullanılan asidin türü, miktarı ve molaritesi, tepkimeler için bekleme süresi ve ısıl işlem uygulanıp uygulanmaması gibi parametreler minerallerin çözünme düzeyini etkilemektedir. Sonuçta, deneysel süreçle

elde edilen NP değerleri, farklılık gösterebilmektedir. Balya artıklarındaki uygulamada da görüldüğü gibi, aslında doğal olarak, sonuçlar birbirini teyit etmeyebilmektedir.

3.3.1 Standard ABA

Birçok modifiye yöntemin geliştirilmesini sağlayan, en yaygın kullanılan yöntem olmasına karşın; kullanılan asit türü, asit şiddeti ve miktarının belirlenme tekniği, numune tane boyutu, geriye titrasyonda nihai pH seviyesi gibi bazı zaafları da içinde barındırmaktadır.

Standard ABA yönteminde; NP tayin edilirken, karbonatlar çözündürülmesi hedefiyle HCl kullanılmaktadır. Oysa bir maden sahasında AMD geliştiğinde, sözü edilen asit H_2SO_4'tür. Kloritoid $(Mg,Fe)_2Al_4Si_2O_{10}(OH)_4$) ve biyotit H_2SO_4'de çözünürken, HCl'de çözünmemektedir. Karışık tabakalılar içinde yer alan klorit grubu (talk, serpantin vs.) HCl'de çözünmezken, derişik H_2SO_4'de yüksek sıcaklıkta çözünebilmektedir (Kumbasar, 1977). Örneğin klorit ve başka karışık tabakalı kil mineralleri Balya maden artıklarında bulunmaktadır. Bu da demektir ki, Standard ABH yöntemi uygulandığında, numunelerdeki nötrleştirici bazı mineraller HCl ile muamele edildiğinde çözünmemiştir.

Bu yöntemde, asidin seçilen molaritesi ve hacmi, değerlendirilip yorumlanması subjektif nitelik taşıyan fışırdama testi ile belirlenmektedir. Böylelikle, minerallerin çözünme kinetikleri, bu iki faktörden doğrudan etkilenmektedir.

Standard ABH yönteminde geriye titrasyon için nihai pH 7,0'dir. Oysa pH6 ve Modifiye pH6 yöntemlerinde nihai pH 6,0'dır. Doğal olarak, Standard ABH yönteminde geriye titrasyonda tüketilen NaOH miktarı yükselmekte, sonuçta, NP değeri de diğerlerinden fazla görünmektedir.

3.3.2 pH6

Numunelerin H_2SO_4 ile muamele edilmesi, su hakkındaki çevre mevzuatları göz önünde tutularak nihai pH'ın 6,0 seçilmesi, kolaylıkla uygulanabilmesi ve kısa sürede sonuç verdiğinin belirtilmesi pH6 yöntemini güvenilir kılmakta ve cazip hâle getirmektedir. Ancak, testler sırasında, pH6 yönteminin de kimi zaafları olabileceği düşünülmüştür.

Birincisi, pH6 yönteminde, numuneler -45 µm tane boyutuna öğütülür. Tane boyutunun ve buna bağlı olarak tane yüzey alanının tepkimelerin gelişebilmesindeki

önemi göz önünde tutularak, depolama sonrasında malzemenin boyutu değişmeyeceğinden, analizler ve deneyler için de aslolanın depolama boyutu olması gerekir. Çünkü malzeme hangi boyutta depolanmışsa, doğadaki kimyasal, fizikokimyasal ve biyokimyasal davranışlarını da o boyutta gösterecektir. Burada, aşırı boyut küçültmenin, tepkime süreçlerini etkileyeceği, elde edilenin gerçek NP değeri olmayacağı açıktır.

İkinci sebep, ısıl işlem uygulanmamasıdır. Piritin oksitlenmesi ile gelişen tepkime (1), egzotermiktir ve yığınlarda, çevreye ısı yayarak, ortam sıcaklığının 70 ^{0}C'a kadar çıkabildiği saptanmıştır (Gelinas vd., 1994).

$FeS_2(k) + H_2O + 7/2O_2(g) \rightarrow Fe^{2+}(k) + 2SO_4^{2-}(s) + 2H^+ + ısı$ (Tepkime 1)

Ortam sıcaklığı, tepkime hızlarını etkiler ve tepkime hızı, genelde, artan sıcaklıkla artar (Arrhenius Eşitliği- 4).

$$k = A * e^{-Ea_a/RT} \quad (4)$$

Oda sıcaklığındaki H_2SO_4'de çözünmeyen, ama yüksek sıcaklıkta çözünen klorit gibi bazı mineraller, zaten Balya maden artıklarında bulunmaktadır. Bir ısıl işlemin, NP değerinin belirlenmesinde, çözünmeyi kolaylaştırarak ve yüksek sıcaklıkta çözünebilenleri sürece dâhil ederek doğruya yakın sonuçlar elde edilmesine yardımcı olacağı rahatlıkla söylenebilir.

Üçüncüsü, ilk karıştırmadan başlayarak, müdahale edilmediği takdirde, beherin dibine çökelen katı kısım giderek sıkışıp pekişmekte ve çözeltinin tabanındaki su hareketini engellemektedir. Çok uzun zaman askıda kalan sub-mikron boyutlu malzeme çökeldiğinde de, tabandaki taneler arası mevcut boşlukları doldurarak çözeltinin tabandaki hareketinin engellenmesine katkı yapmaktadır. Diğer yandan, mineralojik bileşimdeki killer, çok ince tane boyutlu olduklarından geç çökerler ve güç çözünen ya da çözünmeyen türden iseler, yüzeyin tepkimelere karşı izole olmasına neden olurlar. Neticede, ilâve edilen asidin nötrleştirici mineralleri çözmesi zorlaşır, hatta mümkün olmaktan çıkar. Bu gerekçeler, hem ölçüm, hem de asit ilâvelerinden sonra da cam bagetle karıştırmayı zorunlu kılmaktadır.

Bu zaaflar gözetilerek, pH6 yönteminin prosedüründe; testleri orijinal tane boyutunda yapma, karıştırma ve ısıl işlem uygulama gibi değişiklikler önerilmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmayla, pH6 yöntemi üzerinde gerçekleştirilen değişikliklerle geliştirilen yeni işlem sürecinin, farklı karakterdeki sahalarda başarıyla uygulanabileceği ve elde edilecek sonuçların gerçek değerlere daha yakın olacağı düşünülmektedir.

- Mineralojik analizler, tane boyutunu yüzey verip vermeme anlamında değerlendirmeye almadığından, hesaplarda, kimyasal analiz verileri esas alınmalıdır.
- Kimyasal analizler, depolama tane boyutuna müdahale edilmeksizin yapılmalıdır.
- Analiz, sadece asitte çözünen ve/veya çözündüğünde asit üreten S'ü tayin etmelidir.
- NP deneyleri orijinal boyutta yapılmalıdır.
- Modifiye pH6 yönteminin olası zaaflarını gidermek amacıyla; özellikle NP tayini için, eş zamanlı biçimde çok sayıda paralel örnek üzerinde yapılacak bir deneysel çalışma sürecinin, numunelerin mineralojik ve kimyasal yapı ve bileşimlerinin adım adım izlenerek yürütülmesi önemli gelişmelere ışık tutacaktır.
- Yöntemin bulunduğu bölge, iklim koşulları, jeolojik oluşum, mineralojik bileşim ve hidrolojik rejim gibi etkenler bakımından farklı bölgelerdeki kömür ya da metalik maden yataklarına ait numunelerde denenmesi gereklidir.

KAYNAKLAR

Caruccio, F. T., Geidel, G., Pelletier, M., 1981; "Occurrence and prediction of acid drainages", J. Energy Div. Amer. Soc. Civil Engineers, 107, No. EYl, May.

Coastech Research, 1989; "Investigation of prediction techniques for acid mine drainage", MEND Project Report 1.16.1a, MEND, Ottawa, Ontario.

Duncan, D. W. and Bruynesteyn, A., 1979; "Determination of acid production potential of waste materials", Met. Soc AIME, pp. A-79-29.

Gelinas, P., Lefebvre, R., Choquette, M., Isabel, D., Locat, J., Guay, R., 1994; "Monitoring and modeling of acid mine drainage from waste rock dumps—La Mine Doyon case study", MEND Research Program Report to CANMET, Ottawa, Canada, August 1994, 240 pp.

Hammarstrom, J.M., and Smith, K.S., 2002, Geochemical and mineralogic characterization of solids and their effects on waters in metal-mining environments, *in* Seal, R.R., II, and Foley, N.K., eds., Progress on geoenvironmental models for selected mineral deposit types, Chapter B: U.S. Geological Survey Open-File Report 02-0195, p. 8-54. Available online at http://pubs.usgs.gov/of/2002/of02-195/.

Kaartinen, T. and Wahlström, M., 2009; "Development of a European standard for the determination of acid potential and neutralisation potential of sulfidic waste", 8th International Conference on Acid Rock Drainage, June 2009, INAP, Skelleftea, Sweden, P. 6.

Karadeniz, M., 2011; "Balıkesir-Balya- Kurşun-Çinko Madeni flotasyon artıklarının asit maden drenajı oluşum potansiyelinin derinlikle değişiminin araştırılması", Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Lapakko, K. A., 1992; "Characterization and static testing of ten gold mine tailings", Proceedings of the 1992 American Society for Surface Mining and Reclamation Meeting, Duluth, MN, June 14-18, pp. 370-384.

Lapakko, K. A., 1994; "Evaluation of neutralization potential determinations for metal mine waste and a proposed alternative", International Land Reclamation and Mine Drainage Conference and the Third International Conference on the Abatement of Acidic Drainage, Pittsburgh, PA, April 24-29, pp. 129-137.

Lawrence, R.W., 1990; "Prediction of the behaviour of mining and processing wastes in the environment", In F. Doyle (ed.), Proceedings, Western Regional Symposium on Mining and Mineral Processing Wastes, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., USA- Littleton, CO, p. 115-121.

Miller, S. D., Jeffery, J. J. and Donohue, T. A., 1994; "Developments in predicting and management of acid forming mine wastes in Australia and Southeast Asia", International Land Reclamation and Mine Drainage Conference and the Third International Conference on the Abatement of Acidic Drainage, Pittsburgh, PA, April 24-29, pp. 177- 184.

Morin, K. A. and Hutt, N. M., 2001; Environmental geochemistry of minesite drainage: practical theory and case studies, digital edition, Minesite Drainage Assessment Group/ Grupo Estudio del Drenaje de Minas MDAG Publishing Vancouver, British Columbia, Canada.

Skousen, J., Renton, J., Brown, H., Evans, P., Leavitt, B., Brady, K., Cohen, L. and Ziemkiewicz, P., 1997; "Neutralization potential of overburden samples containing siderite, Journal of Environmental Quality, v26, n3, p673-681.

Sobek, A. A., Schuller, W. A., Freeman, J. R. and Smith. R. M., 1978; "Field and laboratory methods applicable to overburden and minesoils" EPA 600/2-78-054.

TRAKİTİK AGREGADA ALKALİ-SİLİKA REAKTİVİTESİNİN (ASR) İNDİRGENMESİ

THE REDUCTION OF THE ALKALI-SILICA REACTIVITY IN TRACHYTIC AGGREGATE

Vural OYAN[1]*, Zehra SEVİNÇ[2]

1: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü 65080 Van, TÜRKİYE

2: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü 65080 Van, TÜRKİYE

*Sorumlu Yazar: vuraloyan@yyu.edu.tr

ÖZET: Bu çalışmanın amacı, Alkali silika reaktivitesi (ASR) açısından zararlı agregalar sınıfına giren ve Van Gölü kuzeyindeki Etrüsk volkanından püskürmüş trakititk volkanik agregaların alkali silika reaktivitesini pomza ve cüruf kullanarak indirgemektir. Etrüsk trakitleri % 60 - 65 arasında SiO_2 içermekte ve plijiyoklaz, sanidin, klinopiroksen, biyotit ve olivin minerallerinden oluşmaktadırlar. Kayacın volkanik hamuru aynı minerallerin mikrolitleri ve volkanik camdan oluşmaktadır. Trakitik agrega içinde alkali silika reaktivitesine sebep olan reaktif silisi volkanik camdır. % 0,48 genleşme oranına sahip olan trakitik agreganın, ASR etkilerini indirgemek amacıyla, % 10, 15, 20, 30 oranlarında trakitik agrega yerine pomza ve cüruf eklenmiş ve harç çubukları hazırlanmıştır. Bu karışımlar ile elde edilen harç çubukları hızlandırılmış harç çubuğu deneylerine maruz bırakılmış, örneklerin 0, 3, 7 ve 14 günlük genleşme oranları / uzama değişimleri ASTM C 1260 standartlarına göre ölçülmüş ve reaktif olup olmadıkları belirlenmiştir. 14 günlük deney sonuçlarına göre, trakitik agrega yerine % 20 ile % 30 oranlarında pomza kullanımı ile genleşme oranı % 0,05'e kadar indirgenmiş ve ASR terminolojisi içinde zararsız agregalar sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir. Ancak, 14 günlük deney süresinin pomzaların suya doygunluğu için, yeterli olup olmadığının, 28 ve 56 günlük deney süreleri ile denetlenmesi gerektiğide ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Trakit, Alkali-silika reaktivitesi, Pomza, Cüruf

ABSTRACT: *The purpose of this study is to reduce the alkali-silica reactivity (ASR) of trachytic aggregates which classified as deleterious and erupted from Etrüsk volcano in*

the north of Lake Van using pumice and scoria. Etrüsk trachyte is a volcanic type rock that contains 65 % SiO_2 and consists of plagioclase, sanidine, clinopyroxene, biotite and olivine minerals. The groundmass in this rock contains the microcrystals of the same mineral assemblage and volcanic glasses. Reactivate silica which causes the alkali silica reactivity in the trachytic aggregate is volcanic glasses. According to accelerated mortar bar test, and was classified as dangerous aggregates. In order to reduce the effects of alkali-silica reactivity (ASR) of trachytic aggregate that expansion rate is 0.48 %, mortar bars were prepared using pumice and scoria with (10%, 15%, 20% and 30% pumice and scoria replacement) trachytic aggregate. Mortar bars prepared with these mixture ratios were exposed to accelerated mortar bar test and Length changes / expansion rates of samples were measured on the 0, 3rd, 7th and 14th days according to ASTM C 1260 and determined whether it is reactive or not. According to test results on 14th day, expansion rates of the mixture aggregate were reduced to 0.05 % by using 20 % and 30 % pumice as trachytic aggregate replacement and it has been identified to take place in innocuous aggregates in terms of ASR. However, whether 14-day test period was suitable for the saturation of the pumices are necessary to check with 28- and 56-day test periods.

Keywords: *Trachyte, Alkali-silica reactivity, Pumice, Scoria*

1. GİRİŞ

Alkali-silika reaksiyonu (ASR), korozyon etkileri, donma-çözülme etkileri gibi çevresel süreçler betonarme yapılarda çeşitli etkiler yaratmakta ve yeterli özenin gösterilmemesinden dolayı bu süreçler ile betonarme yapılar özelliklerini kaybederek bozulmakta ve zarar görmektedir. Betonarme yapı elemanlarında meydana gelen alkali silika reaksiyonu sonucu betonda oluşan çatlamalar ve betonda meydana gelen dökülmeler donatı korozyonunun hızlanmasına ve yapının dayanımının azalmasına neden olmaktadır. Başlangıçta sadece kullanılabilirlik sınır durumunu etkiliyor diye kabul edilen ASR ve donatıdaki korozyon, ileri seviyelere ulaşması halinde rahatlıkla taşıma gücü sınırlarını da etkileyebilecek duruma gelmektedir (Tapan vd., 2012) Alkali silika reaktivitesinde, reaksiyonu etkileyen birçok mineral vardır. Yapılan çalışmalarda, özellikle volkanik kayalarda bulunan volkan camı ve kuvars (Stanton, 1941; Ineson, 1990), opal (Stanton, 1941; Ineson, 1990), tridimit (Ineson, 1990), kalsedon (Stanton,

1941; Ineson, 1990), kristobalit (Landgren ve Sweet, 1952) bu minerallerden en aktif olanlarıdır.

Bu çalışmanın amacı yukarıda söz edilmiş olan betondaki alkali silika reaktivitesinin doğal malzemeler kullanılarak indirgenmesi olasılıklarının araştırılmasını kapsamaktadır. Alkali silika reaktivitesine sebep olan ve ASR açısından reaktif mineralleri bünyesinde barındıran agregaların Van Gölü çevresindeki volkanik alanlarda çok geniş yayılıma sahip olduğu bilinmektedir. Bu nedenle Van Gölü çevresinde beton için kullanılan volkanik agreganın ASR açısından irdelenmesi ve ASR açısından tehlikeli olarak görülebilecek agregalarda doğal malzemelerin kullanılması ile ASR etkisinin indirgenip indirgenemeyeceği büyük önem arz etmektedir. Çalışmada kullanılan trakit örneği Van Gölü kuzeyindeki Etrüsk volkanik alanından alınmış % 60-65 arasında SiO_2 içeren bir kayaçtır ve aktif olarak ocak işletmeciliği şeklinde değerlendirilmektedir. Bu trakitik agrega üzerindeki alkali silika reaksiyonunun doğal olarak oluşan pomza ve cüruf gibi volkanik-piroklastik malzemeler kullanılarak indirgenmesi ve sonuçların kimyasal ve petrografik olarak ortaya çıkarılması çalışmanın amaçlarını ve hedeflerini oluşturmaktadır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmanın ana malzemelerini oluşturan agrega, pomza ve cüruf Van Gölü havzasındaki çeşitli lokasyonlardan alınmıştır. Agrega olarak Van Gölü çevresindeki volkanik trakitik kayaç örneği kullanılmıştır. Bu örnek özellikle önceki çalışmalarda ve bu çalışma kapsamında ASR açısından tehlikeli sınırlar içerisinde olduğu saptanan veya tehlikeli sınırlar içerisinde kalması muhtemel andezit, trakit ve riyolit türevi volkanik kayaçtır. Bu kayaçlardan trakit örneği bu çalışmada volkanik agrega olarak kullanılmıştır. Bu örneğin seçilmesinin en büyük nedeni ortaç volkanik kayalarda alkali silika reaksiyonunun yüksek olabileceğinin bilinmesidir. Zira bölgedeki kireçtaşı ve bazaltlarda ASR etkilerinin zararsız olduğu ortaya koyulmuş ama ortaç trakit ve trakiandezit gibi volkanik agregalarda % 0,5 ile % 5 arasında genleşme oranları ile zararlı sınıfında oldukları bilinmektedir (Tapan, 2015).

ASR etkilerini indirgemek için kullanılan pomza ve cüruf doğal malzemeleri de Van Gölü kuzeyindeki volkanik alanlardan temin edilmiştir. Pomza Meydan volkanizmasına bağlı olarak geri düşme ürünleri olarak meyadana gelmiş ve yaklaşık 1

ile 10 metre arasında değişen kalınlıklara sahip istifler oluşturmuştur. Cüruf malzemesi ise Tendürek volkanizmasına bağlı, lokal olarak püskürmüştür ve yaklaşık 200 m yüksekliğe sahiptir. Bu çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Ayrıca çimento olarak, Van ili'nde yaygın olarak kullanılan P.Ç 42.5 çimentosu kullanılmıştır.

Çizelge 1. Agrega, pomza ve cürüf örneklerinin kimyasal analiz sonuçları

örnek no		***Trakit (TRA)***	***Pomza***	***Cüruf***
lokasyon		***Etrüsk***	***Kocapınar***	***Çaldıran***
Koordinat	*Doğu*	384182	340012	416246
	Kuzey	4313965	4334435	4341620
	%			
	SiO_2	63.71	73.42	48.18
	Al_2O_3	14.45	12.72	17.01
	Fe_2O_3	3.85	1.47	14.1
	CaO	3.81	0.52	4.75
	MgO	2.65	0.07	4.68
	Na_2O	5.65	3.36	3.7
	K2O	3.51	4.83	2.6
	MnO	0.09	0.03	0.18
	TiO_2	0.21	0.03	2.17
	P_2O_5	0.29	0.02	0.63
	LOI	1.4	4.13	1.7
	Toplam	99.62	99.96	99.7

Alkali silika Reaktivitesinin(ASR) trakitik agregada ve agrega yerine hacimce pomza ve cüruf kullanılarak hazırlanan karışımlarda genleşme oranlarını belirlemek amacıyla hızlandırılmış harç çubuğu deney yöntemi (ASTM C1260) ile reaktiviteye bağlı gelişen genleşme miktarları belirlenmiştir. Bu genleşme değişimlerini görmek amacıylada örneklerin SEM görüntüleri çekilmiştir.

Hızlandırılmış harç çubuğu metotu, kür şartlarını ağırlaştırarak reaksiyonu hızlandırmakta ve agregaların reaktivitesinin 16 gün içinde tespitine olanak vermektedir. Hızlandırılmış harç çubuğu yönteminde, alınan örnekler kullanılarak elde edilen harç çubuklarının 80°C 1 M NaOH çözeltisi içerisinde saklanması ve genleşme değişimlerinin ölçülmesi tespit edilmektedir.

Bu metoda göre harç çubukları 25x25x285 mm boyutunda, su/çimento oranı 0.47 ve agrega/çimento oranı 2,25 olacak şekilde hazırlanmıştır. Örnekler döküldükten sonra 24±2 saat sonra kapta çıkarılmış ve ilk boy ölçümleri (Li) yapılmıştır. 80°C saf su içerisinde yerleştirilen örnekler 24 saat kür dolabında saklanılmış ve tekrar boy ölçümleri yapılmıştır (Lo). Bu aşamadan sonra örnekler 80°C 1M NaOH (Sodyum

Hidroksit) çözeltisi içerisinde bekletilerek 3., 7., ve 14. Gün ölçüm alınarak genleşme değerleri tespit edilmiştir. Yapılan son ölçüm 14. Gün (Ln) alınarak, ((Ln-Lo)/ örnek boyutu)x100 hesaplaması ile genleşme miktarları (%) tespit edilmiştir. Genleşme sınırı 14. Gün sonunda %0.10' dur. Hızlandırılmış harç çubuğu deneylerinde ASTM C 1260 standardına göre; ortalama uzama oranı < % 0,10 alkali silika reaktivitesi yönünden zararsız agregalar, % 0,10 < ortalama uzama oranı < % 0,20 potansiyel tehlike arz edebilir agregalar, ortalama uzama oranı > % 0,20 zararlı agregalar sınıfında yer almaktadırlar.

3. BULGULAR

3.1 Hızlandırılmış Harç Çubuğu Deneyleri

Hızlandırılmış harç çubuğu deneylerinde, ilk önce yukarıda anlatılan yöntemlere öre trakitik agregadan beton harç çubuğu hazırlanmış ve bu örnek deneye tabi tutulmuştur. 14 günlük deney sonucunda trakitik agregada genleşme oranı % 0,42 olarak tespit edilmiş ve agreganın zararlı agregalar sınıfına girdiği belirlenmiştir. Daha sonra ASR açısından tehlikeli sınırlar içinde yer alan trakitik agregaya hacimce pomza ve cüruf %10, 15, 20 ve 30 oranlarında yer değiştirilerek katılmış ve bu karışmlarla hazırlanan yeni karışım agregalarıda hızlandırılmış harç çubuğu deneylerine maruz bırakılmış ve 0, 3, 7 ve 14. gün genleşme oranları belirlenmiştir.

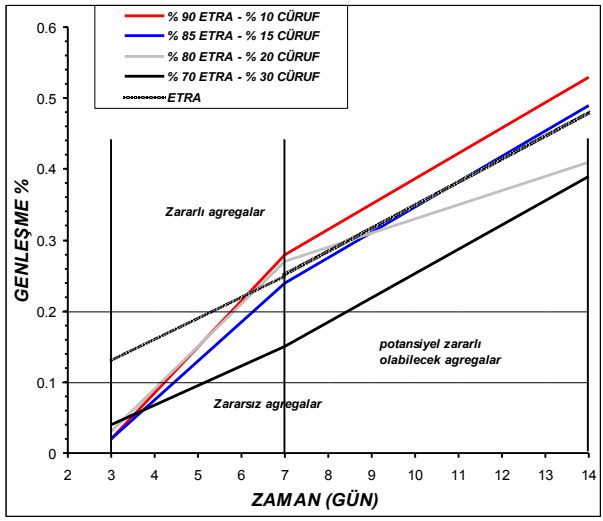
3.1.1 Agrega yerine cüruf kullanımı

Hızlandırılmış harç çubuğu deneylerinde alkali silika reaktivitesi açısından zararlı sınırlar içinde yer alan trakit örneğinde ASR etkilerini indirgeyebilmek için trakit agregası yerine %10, %15, %20, %30 oranlarında cüruf doğal malzemesi kullanılmıştır. Trakit agregası yerine ağırlıkça cüruf kullanılarak harç çubukları dökülmüş ve hazırlanan harç çubukları NaOH çözeltisinde bekletilerek 3, 7 ve 14 gün boyunca periyodik genleşme miktarları ölçülmüştür (Çizelge 2).

Çizelge 2. Agrega yerine %0-30 oranlarında cüruf içeren harç örneklerinin zamana bağlı genleşme değerleri

Zaman	Genleşme(%)				
(Gün)	C0	C10	C15	C20	C30
0	0	0	0	0	0
3	0.13	0.02	0.02	0.03	0.04
7	0.25	0.28	0.24	0.27	0.15
14	0.48	0.53	0.49	0.41	0.39

Çizelge 2'de görüleceği üzere C0 nolu numune cüruf katılmadan saf trakit agregasının uzama boy oranlarını göstermektedir. Trakit agregasının tek başına genleşme değer 3., 7. ve 14. günde sürekli artmış ve 0,48 uzama veya genleşme oranına kadar çıkmıştır. Trakit agregası yerine belirli oranlarda cüruf katılması ile elde edilen harç çubuklarının genleşme oranlarıda 0,39-0,53 arasında değişmekte ve en iyi değerin % 30 cüruf katılması ile elde edildiği gözlemlenmiştir. Tek başına trakit (TRA) agregasının veya farklı oranlarda cüruf katılması ile elde edilen agregaların ortalama uzama oranlarının % 0,2'den büyük olması cüruf katılımı ile trakit agregasının tehlikesiz agrega sınırlarına çekilemediğini göstermektedir. Yapılan deneyler sonucunda, %30 oranında cüruf doğal malzemesinin agrega yerine kullanımının hızlandırılmış deney yöntemine göre, tehlikeli sınır genleşme değeri olan %0,2'den büyük genleşme değeri verdiği tespit edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Trakit ve cüruf karışımı ile elde edilen harç çubuklarının 3. , 7. ve 14. gün genleşme oranları

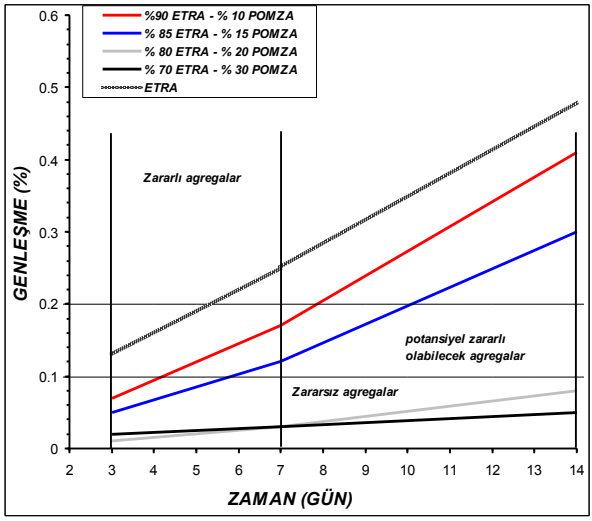
3.1.2 Agrega yerine pomza kullanımı

Hızlandırılmış harç çubuğu deneylerinde 14. gün sonunda % 0,48 lik genleşme oranı ile zararlı agregalar sınıfında yer alan trakit örneğinin genleşme oranını düşürebilmek amacıyla agrega yerine ağırlıkça %10, %15, %20, %30 oranlarında pomza kullanılarak da harç çubukları dökülmüştür. Trakit ve pomza karışımı ile elde edilen yeni harç çubukları NaOH çözeltisinde 3, 7 ve 14 gün boyunca bekletilmiş ve bu günlerde genleşme miktarları ölçülmüştür (Çizelge 3).

Hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri sonrasında ağırlıkça % 20 ve % 30 oranında trakit agregası yerine pomza kullanılması sonucunda agreganın genleşme veya uzama oranı sırasıyla 0,08 ve 0,05 gibi çok düşük değerlere düştüğü ve zararsız agregalar sınıfında yer aldığı saptanmıştır. Ancak % 10 ve % 15 pomza kullanımında genleşme oranının düşmesine karşın zararsız agregalar sınıfında yer almadığı gözlenmiştir. Trakit agregası yerine ağırlıkça % 20 ve % 30 pomza kullanılması ile üretilen beton numunelerde agreganın alkali silika reaktivitesi açısından bir risk oluşturmadığı ve zararsız agregalar sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 2).

Çizelge 3. Agrega yerine %0-30 oranlarında pomzaiçeren harç örneklerinin zamana bağlı genleşme değerleri

Zaman	Genleşme(%)				
(Gün)	P0	P10	P15	P20	P30
0	0	0	0	0	0
3	0.13	0.07	0.05	0.01	0.02
7	0.25	0.17	0.12	0.03	0.03
14	0.48	0.41	0.3	0.08	0.05



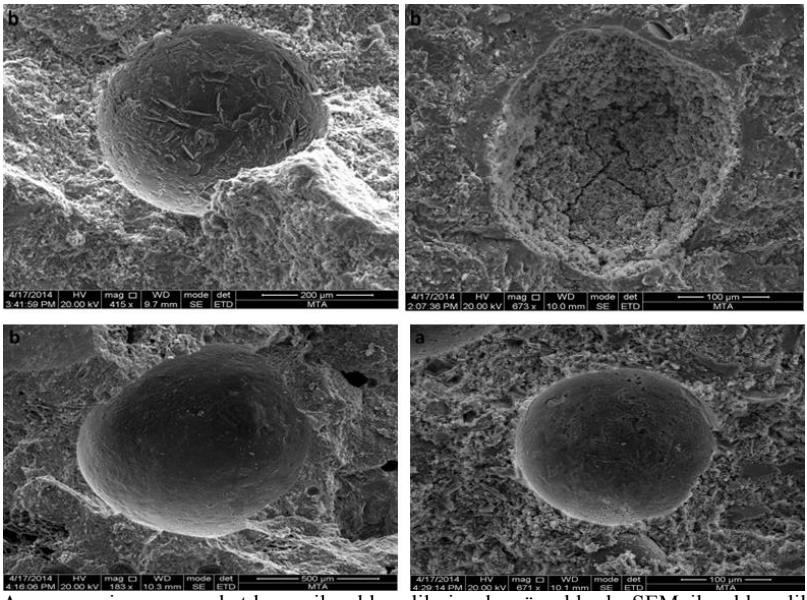
Şekil 2. Trakit ve pomza karışımı ile elde edilen harç çubuklarının 3. , 7. ve 14. gün genleşme oranları

3.2 SEM İncelemeleri

Hazırlanmış olan hızlandırılmış harç çubuklarının deney öncesi ve deney sonrası farklarını görebilmek amacıyla SEM görüntüleri ve belirli alanlar ile noktalarda EDX ile kimyasal analiz sonuçları elde edilmiştir. SEM görüntüleri FEI marka inspect f50 modeli ile kimyasal analiz sonuçları da Edax Octan model EDS detektörü kapsamında

elde edilmiştir. Deney öncesi ve sonrası elde edilen harç çubukları üzerindeki SEM görüntülemeleri ve kimyasal analizlerin bir kısmında ciddi farklılıklar gözlemlenmektedir.

SEM görüntülerinden elde edilen sonuçlar trakitik agrega yerine pomzanın katılma oranının artışıyla, hazırlanmış karışım örneklerinde ASR izlerini yansıtan mikro çatlaklar ve beton agrega sınırında gelişen jel oluşumun azaldığı tespit edilmiştir. Buna paralel olarak, EDX ile alınmış olan nokta analizlerinde pomza miktarının artışıyla birlikte Na, K elementlerinin oldukça azaldığıda gözlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Agrega yerine pomza katılması ile elde edilmiş olan örneklerde SEM ile elde edilen beton numune görüntüleri. Örnekler sırasıyla %10, 15, 20 ve 30 oranında trakitik agrega yerine pomza katılması ile edilen numunelerdir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Van Gölü havzası yoğun olarak volkanik aktiviteye maruz kalmış ve özellikle güneyi ve kuzeyi Miyosen'den tarihsel dönemlere kadar etkili olmuş volkanizma ile karakteristiktir. Büyük volkanik merkezlerden ve açılma çatlaklarından püskürmüş olan lavlar, bazalttan riyolite kadar değişen farklı kimyasal kompozisyondaki kayaçlar ile temsil edilmektedir (Oyan, 2011). Bu yoğun volkanik aktivite, hacimsel olarak çok geniş alanlara yayılmış ve çok büyük rezervler oluşturmuştur. Bu yüksek rezervler volkanik malzemelerin agrega olarak yoğun kullanımını sağlamıştır. Alkali silika

reaksiyonunun çok ciddi anlamda araştırılmaması nedeniyle, bu agregalar betonarme yapılarda kullanılmış ve zaman içinde alkali silika reaksiyonu sonucunda jel oluşumu ve bunu takiben beton hasarı meydana gelmiştir. Bölgenin özellikle güneyindeki volkanik agregalar günümüzde ocak işletmeciliği şeklinde beton yapımı için aktif olarak kullanılmaktadır. Bu volkanik agregaların alkali-silika reaktivitesi açısından tehlikeli (zararlı) sınırlar içinde yer alması bu malzemelerin betonarme yapılar için agrega olarak kullanılabilmeleri için ASR etkilerinin indirgenmelerini gerektirmiştir.

Bölgede yoğun şekilde kireçtaşı ve türevlerinin agrega olarak kullanılmalarının yanı sıra volkanik bazalt, trakit ve trakit gibi SiO_2 içeriği % 45 ile % 60 arasında değişen kayaçların kullanımı da betonarme yapılarda mukavemet ve yalıtımı kireçtaşı ve türevlerine göre daha yüksek oranda içermesi nedeniyle tercih edilmektedir. Bu nedenle bu bölgedeki volkanik agregaların alkali-silika reaksiyonunun belirlenmesi ve yüksek ASR oranlarının düşürülmesi önem arz etmiştir.

Bu jeolojik, petrografik ve kimyasal veriler trakit agregasının alkali-silis reaktivitesi açısından reaktif silis içeriğinin yüksek olduğunu ve hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri ile % 48'e varan uzama oranı ile de zararlı agregalar sınıfında yer aldığını göstermiştir. Bu çalışma kapsamında, bu denli yüksek ASR içeriğine sahip olan trakit agregasının alkali silika reaktivitesini düşürmek için doğal malzeme olarak bölgede geniş alanlarda gözlenen pomza ve cüruf malzemeleri kullanılmıştır. Bu malzemeler önceki birçok çalışmada bu amaçla kullanılmış olmalarına karşın, hemen hemen hepsinde çimento yerine ağırlıkça kullanmıştır. Daha önceki yapılan çalışmalarda pomzanın çimento yerine ağırlıkça %30 oranında kullanımı ile genleşmelerin sınır genleşme değerinin altında kaldığı görülmüştür (Gürkan, 2006). Bu nedenle çimento yerine kullanımından ziyade agrega yerine pomza ve cürüf kullanılması bu çalışmada ele alınmış ve pomzanın ağırlıkça % 20 ve % 30 oranlarında agrega yerine kullanımı ile alkali silika reaktivitesi 0,05 seviyelerine kadar geriletilmiş ve zararsız agregalar sınıfında yer alması sağlanmıştır. Pomzanın diğer oranları ise alkali silika reaktifliğini geriye çekmiş ama istenilen oranlarda olmadığından dolayı zararsız agregalar sınıfında kalmıştır. Agrega yerine ağırlıkça %10, 15, 20 ve 30 oranlarında cüruf kullanımının ise alkali-silika reaktivitesi üzerinde etkisinin olmadığı saptanmıştır. Özellikle % 10 ve % 15 cüruf kullanımı % 100 trakit agregasından elde edilen uzama oranlarıyla aynı hatta % 0,01 daha yüksek oranda sonuçlar vermiştir.

SEM görüntüleri ile elde edilen veriler ile 14 günlük uzama oranları ile elde edilen sayısal veriler birbiriyle uyum göstermiş ve özellikle pomzanın %20 ve % 30 oranlarında agrega yerine kullanılmasının alkali silika jelini zararsız agrega sınıfına kadar gerilettiği ve ciddi bir beton hasarının deneye maruz bırakılmış örneklerde oluşmadığını belirlenmiştir. Bunun aksine agrega yerine kullanılan diğer pomza ve cüruf miktarlarının alkali silika reaksiyonu üzerinde çok ciddi bir değişim yaşatmadığı, örneklerin orjinal agrega örneği gibi zararlı agregalar içinde yer aldığı ve hatta cüruf kullanımının düşük miktarlarının alkali silika reaksiyonunu, jel oluşumunu ve beton hasarını arttırdığı gözlenmiştir.

Pomzanın özellikle boşluklu, hafif ve süngerimsi fiziksel yapısının alkali silika reaktivitesi üzerinde etkili olduğu, kimyasal bileşiminin alkali-silika reaktivitesini etkilemediği düşünülmektedir. Normal koşullarda SiO_2 oranı % 70 olan ve volkanik camı bu kadar yoğun içeren bir malzemenin ASR açısından tehlikeli sınırlar içinde olması beklenirken, alkali-silika reaktivitesini düşürdüğü tespit edilmiştir. Pomzanın bol gözenek yapısının alkali-silika reaktivitesinin en önemli etkenlerinden biri olan ve ortamda var olan nemi tuttuğu düşünülmektedir. Ortamdaki nemin pomza gözenekleri ile tutulmasından dolayı, ortamda agrega çimento sınırında SiOH iyonlarını ayrıştırarak Si elementinin oluşumunu sağlayacak serbest $(OH)^-$ iyonları da oluşmayacak, ve agrega çimento sınırında veya beton bünyedeki boşluklarda Na ve K alkaliler ile tepkimeye girerek jel oluşturacak Si atomları yer almayacaktır. Böylelikle alkali-silika jeli oluşmayacak ve betonda hasar meydana gelmeyeceği düşünülmektedir. Cüruf malzemeler için aynı şeyi söylemek olası değildir. Hem içerdiği Ca miktarının fazlalığı hem de pomzaya oranla daha yoğun volkanik cam ve daha az gaz boşluğu içermesi alkali silika jelinin oluşumunu önlemek için yeterli koşulların oluşmasına engel olmaktadır. Cüruftan kaynaklı Ca miktarının yüksekliği ortamdaki reaktif agregayla tepkimeye girecek ve nem tutulsa dahi Si bileşikleri açığa çıkacağından dolayı alkali-agrega sınırında veya beton numune içindeki boşluklarda alkali-silika jel oluşumu meydana gelebilecektir. Bu nedenle cüruf kullanımı, alkali silika reaktivitesini geriye çekecek potansiyele sahip olarak görülmemiştir.

Van Gölü havzası ve çevresi beton kullanımı ve betonarme yapıların inşası açısından yüksek potansiyele sahiptir. Bölgedeki volkanik agregaların yoğun rezervleri düşünüldüğü zaman, bunların agrega olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Bu

çalışmada ele alınan trakit agregası tek başına 14 günlük harç çubuğu deneylerinde % 0.48 oranında uzama ve genleşme değeri vermiş ve ASR açısından zararlı agregalar sınıfına alınmıştır. Yine bölgede geniş alanlar kaplayan ve doğal olarak birçok sektörde kullanılan pomza malzemesinin trakit agregası yerine ağırlıkça % 20 ve % 30 oranlarında katılmasıyla, 14 günlük harç çubuğu deneylerinde 0.05 genleşme/uzama oranı elde edilmiş ve alkali silika reaktivitesi açısından zararsız agregalar sınıfına kadar çekilebilmiştir. Farklı kimyasal ve petrografik bileşimli agregalar üzerinde geliştirilecek bu çalışmalar ile ASR açısından zararlı olabilecek agregaların iyileştirilebileceği ve ekonomiye beton kullanımı olarak tekrar kazandırılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca bu çalışmadan elde edilen veriler, alkali-silika reaktivitesinde kimyasal bileşimin yanı sıra, petrografik olarak minerallerin ve mineraller üzerindeki dokularında önemli rol oynayabileceğini ortaya koymuştur. Zira magma karışımı ile düzgün kristal yapısına sahip olan minerallerin bozulan kristal yapılarıda onları amorf ve/veya reaktif silis minerali haline getirebilmektedir. Bunun yanı sıra, deneylerde 14 günlük sonuçlar elde edilmiştir. Fakat, 14 günden daha fazla, Alkali-silika reaksiyonuna maruz bırakılan örneklerde, pomzanın suya doygunluğunun da ilerki çalışmalarda araştırılması şarttır. Bunun en önemli nedeni, pomzanın daha uzun süreler içinde, eğer suya doygun bir hale gelirse ASR açıısndan nasıl bir tepki vereceğinin bilinmemesidir.

ASR etkilerinin betonarme yapılarda ortaya çıkarmış olduğu jel oluşumu ve zarar çevresel olarak görüntü kirliliğine yol açmaktadır ve çevresel faktörler ASR oluşumu için gerekli ortamı oluşturabilmektedir. Bu nedenle, pomzanın kullanımı ile betonarme yapılarda meydana gelebilecek jel oluşumunun azaltılması ve yok edilmesi ile daha dayanıklı ve çevresel faktörlerden etkilenmeyen yapıların yapılabilmesine de olanak sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

ASTM C-1260-94., 1994. Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method), Annual Book of ASTM Standards, Concrete and Mineral Aggregates, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, USA, 4(2), 1994.

Gürkan, A., 2006. Pomza ve Zeolitin Alkali Silika Üzerine Etkileri (Yüksek Lisans Tezi, Basılmış). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Ineson P.R., 1990. Siliceous Components in Aggregates. Cement and Concrete Composites. (12): 185-190.

Landgren R., Sweet S., 1952. Investigation of Durability of Wyoming Aggregates. Proc. Highway Res. Board, (31): 202–217.

Oyan, V., 2011. Etrüsk Volkanı ve Çevresinin (Van Gölü Kuzeyi) Volkanostratigrafisi Petrolojisi ve Magmatik Evrimi (Doktora Tezi, Basılmış). Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.

Stanton, T.E., 1940. Expansion of Concrete Through Reaction Between Cement and Aggregate, Proceedings, American Society of Civil Engineers, (66): 1781-1811.

Tapan, M., 2015. Alkali–silica reactivity of alkali volcanic rocks. European Journal of Environmental and Civil Engineering, (19): 94-108.

Tapan, M., Özvan, A., Oyan, V. , Muvafık, M., Direk, Y.S., 2012. Van yöresinde beton üretiminde kullanılan agregaların alkali-silika reaktivitesinin (ASR) belirlenmesi. Y.Y.Ü Fen Bilimleri Dergisi, (17):13-19.

DETERMINATION OF FLOC SIZE AND STRENGTH OF FINE COAL TAILINGS USING LASER DIFFRACTION TECHNIQUE

KÖMÜR ARTIKLARININ FLOK BOYUTU VE DAYANIMININ LAZER KIRINIM TEKNİĞİ KULLANILARAK SAPTANMASI

Can GUNGOREN, Yasin BAKTARHAN, Ilgin KURSUN, Safak G. OZKAN, Orhan OZDEMIR*

Istanbul University, Mining Engineering Department, Avcilar, Istanbul, TURKEY

*: Corresponding Author: orhanozdemir@istanbul.edu.tr

ABSTRACT: Mechanical dewatering is an important process for tailing disposal. In this study, the floc size of the fine coal tailings collected from a coal processing plant in Turkey was determined using laser diffraction technique. Additionally, the measurements were carried out as a function of time in order to determine the change in the floc size and hence the floc strength. In the experiments, an anionic polymer, SNF-923, was used at various dosages (50, 150, and 300 g/t). The results from this study showed that while the average particle size of the original sample was 50 μm, it increased up to 418 μm at 300 g/t SNF-923 in one minute of mixing, and considerably decreased (depending on the flocculant dosage) with the increase in the stirring time. The floc size measurement at the end of the 4 min stirring time indicated that flocs formed more stable at 150 and 300 g/t SNF-923 dosage compared to the flocs obtained at 50 g/t. The results obtained from this study clearly indicated that the floc size measurements could be a useful method to determine the floc strength and therefore, the optimum flocculant dosage for the dewatering of the tailings.

Keywords: Flocculation, Floc size, Floc strength, Fine coal tailings, SNF-923

ÖZET: *Mekanik susuzlandırma atık uzaklaştırmada önemli bir işlemdir. Bu çalışmada ince kömür atıklarının flok boyutu lazer dağılım tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca ölçümler flok boyutundaki değişimi ve böylece flok dayanımını tespit etmek için zamanın bir fonksiyonu olarak da gerçekleştirilmiştir. Deneylerde bir anyonik polimer olan SNF-923 farklı dozajlarda (50, 100 ve 150 g/t) kullanılmıştır. Sonuçlar, 1 dk karıştırma süresi sonunda orijinal numunenin tane boyutunun 300 g/t SNF-923*

dozajında 50 µm'den 418 µm'ye çıktığını ve flokülant dozajına bağlı olarak karıştırma süresi arttıkça göreceli olarak düştüğünü göstermiştir. 4 dk karıştırma süresi sonunda flok boyut ölçümü 150 ve 300 g/t SNF-923 dozajında oluşan flokların 50 g/t dozajda oluşanlara kıyasla daha stabil olduğunu göstermiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar flok boyutu ölçümlerinin flok dayanımını ve böylece artıkların susuzlandırılması için optimum flokülant dozajını belirlemede kullanışlı bir yöntem olabileceğini açıkça göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: *Flokülasyon, Flok boyutu, Flok dayanımı, Kömür atıkları, SNF-923*

1. INTRODUCTION

Most of the lignite coals have low calorific value, and contain high amounts of ash, sulfur, and moisture. Therefore, they must be cleaned in coal processing plants to remove the undesirable contents in the economic and environmental aspects (Işık, 2015). Most of the coal processing operations are performed in aqueous medium. For this reason, the coal processing products should be dewatered partially or completely by solid-liquid separation processes. Generally, free settling methods are not effective on the solid-liquid separation of fine particles (below 50 µm) due to the low mass and high surface area of the particles. For this reason, some chemical additives (flocculants) are used to attach particles together to form larger particles (flocs) which is called flocculation method (Sabah and Erkan, 2006; Parekh, 2009; Oner, 2011).

There are several factors that affect the flocculation performance such as solid ratio, pH value, temperature, flocculant charge, dosage and molecular weight, stirring rate and time, the suspension's unique solid surface chemistry, and the ionic composition of process water. During the flocculation process, flocs with different physical characteristics such as size, structure, and strength are formed depending on these flocculation conditions. Different floc characteristics are preferred for different processes. For example, strong and high-density flocs are favorable in filtration, but not in sedimentation processes. Therefore, it is extremely important to characterize the flocs to optimize the flocculation processes (Johnson et al., 2000, Alam et al., 2011, Oner, 2011).

In literature, there have been a number of investigations on the measurement of floc size, density and structure (Harif and Adin, 2011, He et al., 2012, Slavik et al.,

2012, Nasser, 2014, Cao et al., 2015). However, floc strength is also a very important floc property. Because, flocs are exposed to various stresses in the following processes such as flocculation, froth flotation, cyclone separation, and transferring the suspension via pumps. Therefore, the flocs must resist these stresses in order not to break into smaller pieces (Franks et al., 2005, Jarvis et al., 2005).

Floc strength is dependent upon the strength and number of the inter-particle bonds between the components of the floc. If the stress applied to a floc is larger than the bonding strength within the floc, it will break. In literature, there is not a standardized method to measure floc characteristics (Jarvis et al., 2005). Different researchers used different techniques such as image based-techniques (Wang et al., 2017), computational fluid dynamics (CFD) (Bridgeman et al., 2008), shear stress (Yuan and Farnood, 2010) (Hermawan et al., 2004), sonication/capillary suction time (CST) (Hall, 1981), and light scattering technique (Sung et al., 2008, Alam et al., 2011, Wang et al., 2014).

In this study, it was aimed to measure the size and hence the strength of flocs of a coal tailing as a function of time by laser diffraction technique in the presence of an anionic flocculant (SNF-923).

2. MATERIAL AND METHOD

The fine coal tailings were obtained from a coal processing plant in Turkey. The particle size distribution of the sample is given in Figure 1. As seen from Figure 1, d_{10}, d_{50}, and d_{90} of the particles were 4.19, 49.99, and 143.50 µm, respectively.

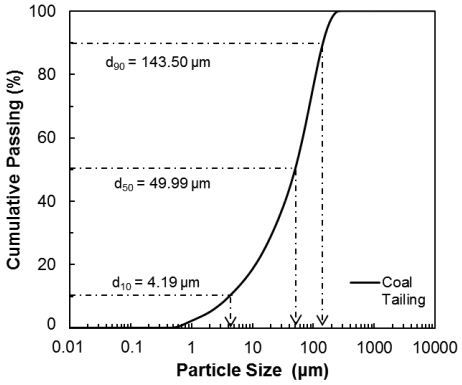


Figure 1. Particle size distribution of the sample

The flocculation process was carried out with a commercial flocculant (SNF 923) at 50, 150, and 300 g/t dosages. The experiments for the floc size and strengths of the flocs were performed with approximately 0.5 g tailing sample into a 50 mL beaker (1% w/v solid ratio), and the suspension was stirred at the speed of 500 rpm using a magnetic stirrer. A specific amount of anionic flocculant was added into the suspension while the suspension was stirred for additional 2 min. In order to measure the size of the flocs, a small amount of flocs at the bottom of the beaker was taken with a wide-diameter pipette (in order not to break the flocs) and added to 1 L water. The flocs were stirred gently again using an overhead stirrer at 800 rpm in order to keep the flocs in the suspension during the measurements. Finally, the software was used to determine the size distribution of the flocs. Additionally, the measurements were carried out as a function of time in order to determine the change in the floc size and hence the floc strength. The experimental set-up for the measurements is seen in Figure 2.

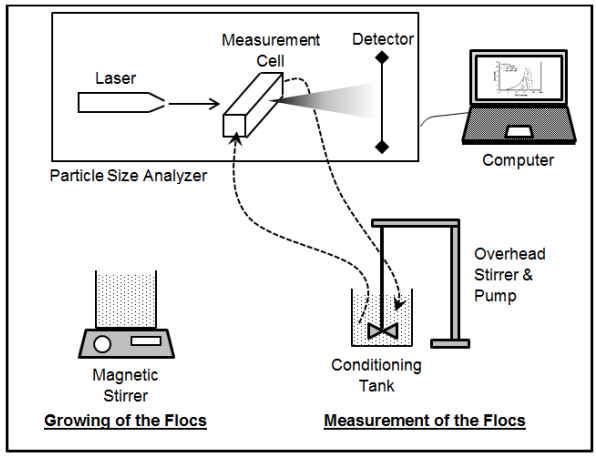


Figure 2. Diagram of the experimental setup for the floc size measurements.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The results of the floc size measurements with respect to the stirring time are seen in Figure 3. As seen from Figure 3 that the flocs were formed in 1 min in the presence of SNF-923 at all dosages, and the floc size inreased as a function of the flocculant dosage. For example, the d_{90} size of the flocs increased to 341 µm, 752 µm 760 µm, at 50 g/t, 150 g/t , and 300 g/t SNF-923, respectively. Also, the similar trend was observed in d_{50} and d_{10} sizes. Figure 3 also shows that with the increasing in the stirring time, the flocs

size decrased due to the shear forces during the stirring and the pumping of the suspension. At 50 g/t SNF-923, the d_{90} size decreased to 283 μm from 341 μm in 4 min, while it decreased from 752 μm to 595 μm, and from 760 μm to 631 μm at 150 g/t and 300 g/t SNF-923, respectively. The decrease in the floc size with respect to time was the minimum at 50 g/t SNF-923 because the floc sizes were also relatively small at 50 g/t SNF-923 compared to higher flocculant dosages.

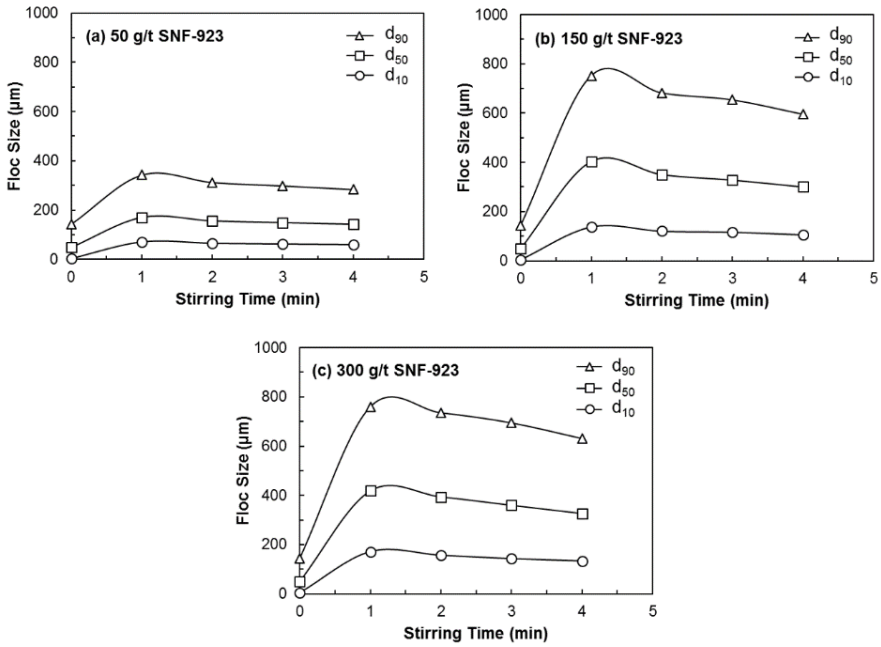


Figure 3. Floc sizes (d_{90}, d_{50}, and d_{10}) in respect to stirring time at (a) 50, (b) 150 and, (c) 300 g/t SNF-923.

Figure 4 shows the d_{90}, d_{50}, and d_{10} sizes of the flocs as a function of SNF-923 dosage at 4 min of the stirring time. As seen from Figure 4, the floc sizes increased with the flocculant dosage. However, it almost reached a plato at 150 g/t. Therefore, 150 g/t can be accepted as the optimum SNF-923 dosage for the flocculation process.

The size distributions of the flocs at 50, 150, and 300 g/t SNF-923 are given in Figure 5. It is seen from Figure 5 that the particle size distribution of the original sample was between 0.5 and 316 μm, and the particles having sizes of 104 μm form 5.7% (by volume) of the pulp. The flocs were formed with the addition of SNF-923, and the flocs concentrated at 181 μm size with 9.1% volume. The floc sizes continued to increase

when the flocculant dosage increased from 50 g/t to 150 g/t, and the sizes of the flocs increased to 363 μm with 9.1% volume. The floc size did not increase significantly at 300 g/t SNF-923. However, the volume of the flocs at 363 μm increased to 9.5%.

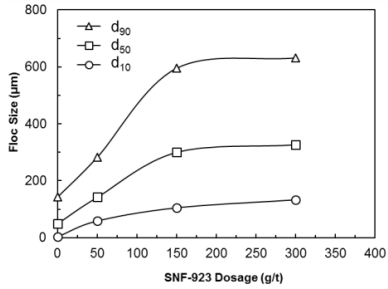


Figure 4. Floc sizes (d_{90}, d_{50}, and d_{10}) in respect to SNF-923 dosage at the end of the 4 min stirring time.

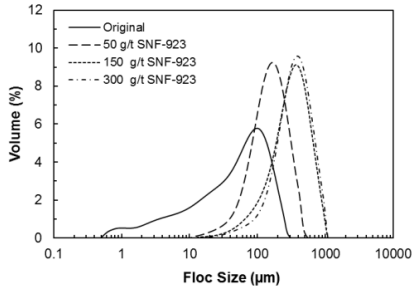


Figure 5. The size distribution of the flocs at various (50, 150 and 300 g/t) SNF-923 dosages at the end of the 4 min stirring time.

4. CONCLUSION

In this study, the floc size and strength of the fine coal tailings collected from a coal processing plant in Turkey were determined as a function of time using laser diffration technique in order to determine the change in the floc size and hence the floc strength. The results from this study showed that the stability of the flocs formed in the presence of SNF-923 was depended on the flocculant dosage as well as stirring time, hence constant shear stress. The floc size measurements at the end of the 4 min stirring time indicated that flocs formed more stable at 150 and 300 g/t SNF-923 dosages compared to the flocs at 50 g/t. The results obtained from this study clearly indicated that the floc size measurements using laser diffraction technique could be a useful method to determine the floc strength and therefore, the optimum flocculant dosage for the dewatering of the tailings.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by Scientific Research Projects Coordination Unit of Istanbul University. Project number: 48866.

REFERENCES

Alam, N., Ozdemir, O., Hampton, M. A. and Nguyen, A. V., 2011. Dewatering of coal plant tailings: Flocculation followed by filtration, Fuel, 90(1), 26-35.

Bridgeman, J., Jefferson, B. and Parsons, S., 2008. Assessing floc strength using CFD to improve organics removal, Chemical Engineering Research and Design, 86(8), 941-950.

Cao, B., Gao, B., Wang, M., Sun, X. and Wang, J., 2015. Floc properties of polyaluminum ferric chloride in water treatment: The effect of Al/Fe molar ratio and basicity, J Colloid Interface Sci, 458, 247-254.

Franks, G. V., Yates, P. D., Lambert, N. W. A. and Jameson, G. J., 2005. Aggregate size and density after shearing, implications for dewatering fine tailings with hydrocyclones, International Journal of Mineral Processing, 77(1), 46-52.

Hall, T., 1981. Sonication for the study of floc strength and reflocculation of activated sludge, Environmental Technology Letters, 2(12), 579-588.

Harif, T. and Adin, A., 2011. Size and structure evolution of kaolin-Al(OH)3 flocs in the electroflocculation process: a study using static light scattering, Water Res, 45(18), 6195-6206.

He, W., Nan, J., Li, H. and Li, S., 2012. Characteristic analysis on temporal evolution of floc size and structure in low-shear flow, Water Res, 46(2), 509-520.

Hermawan, M., Bushell, G. C., Craig, V. S. J., Teoh, W. Y. and Amal, R., 2004. Floc Strength Characterization Technique. An Insight into Silica Aggregation, Langmuir, 20, 6450-6457.

Işık, S., 2015. İnce Boyutlu Lavvar Tesisi Atığının Susuzlandırılmasında Optimum Flokülasyon Şartlarının Belirlenmesi, M.Sc. Thesis, Suleyman Demirel University, Mining Engineering Department, Isparta, Turkey.

Jarvis, P., Jefferson, B., Gregory, J. and Parsons, S. A., 2005. A review of floc strength and breakage, Water Res, 39(14), 3121-3137.

Johnson, S. B., Franks, G. V., Scales, P. J., Boger, D. V. and Healy, T. W., 2000. Surface chemistry–rheology relationships in concentrated mineral suspensions, International Journal of Mineral Processing, 58, 267-304.

Nasser, M. S., 2014. Characterization of floc size and effective floc density of industrial papermaking suspensions, Separation and Purification Technology, 122, 495-505.

Oner, B., 2011. Konya-Ilgın Kömürünün Polimerik Flokülasyonu, M.Sc. Thesis, Selcuk University, Mining Engineering Department, Konya, Turkey.

Parekh, B. K., 2009. Dewatering of fine coal and refuse slurries-problems and possibilities, Procedia Earth and Planetary Science, 1(1), 621-626.

Sabah, E. and Erkan, Z. E., 2006. Interaction mechanism of flocculants with coal waste slurry, Fuel, 85(3), 350-359.

Slavik, I., Muller, S., Mokosch, R., Azongbilla, J. A. and Uhl, W., 2012. Impact of shear stress and pH changes on floc size and removal of dissolved organic matter (DOM), Water Res, 46(19), 6543-6553.

Sung, S.-S., Ju, S.-P., Hsu, C., Mujumdar, A. S. and Lee, D.-J., 2008. Floc Strength Evaluation at Alternative Shearing with Presence of Natural Organic Matters, Drying Technology, 26(8), 996-1001.

Wang, B., Shui, Y., He, M. and Liu, P., 2017. Comparison of flocs characteristics using before and after composite coagulants under different coagulation mechanisms, Biochemical Engineering Journal, 121, 107-117.

Wang, Y., Li, X., Wu, C., Zhao, Y., Gao, B. Y. and Yue, Q., 2014. The role of sodium alginate in improving floc size and strength and the subsequent effects on ultrafiltration membrane fouling, Environ Technol, 35(1-4), 10-17.

Yuan, Y. and Farnood, R. R., 2010. Strength and breakage of activated sludge flocs, Powder Technology, 199(2), 111-119.

RE-EVALUATION OF CHROMITE ORE DRESSING PLANT TAILINGS

KROMİT ZENGİNLEŞTİRME TESİS ATIKLARININ YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ali GÜNEY*, Murat Olgaç KANGAL, Mustafa ÖZER, Ünzile YENİAL

Istanbul Technical University, Faculty of Mines. Mineral Processing Engineering Department. Istanbul, TURKEY

*: Corresponding Author: guneyali@itu.edu.tr

ABSTRACT: The evaluation of the tailings that have emerged since the year of the establishment of the Şetat Chromite Enrichment Plant operating in Orhaneli Region constitutes the subject of this work. In the study. primarily mineralogical. chemical and physical properties of waste samples were determined and enrichment experiments were carried out using physical enrichment methods in the direction of the obtained data. In the experimental studies. Chromite 1-3 Plant Coarse Tailings. Chromite 1-3 Plant Fine Tailings. Chromite 1 Plant Old Dry Tailings. Chromite-2 Tailings Dewatering Unit. Dry Tailings (Belt Above). Chromite 2 Dewatering Sieves 0.350 mm Cyclone Battery Oversize. Chromium 2 Old Tailings Stock samples were combined and a representative sample was prepared. As a result of the mineralogical analyzes carried out on this mixture sample. it has been found that in the composition of the tailings. there are millerite. pentlandite. hematite and chalcedony minerals together with chromite and serpentine group minerals such as olivine. antigorite and chrysotile. The results of the shaking table tests on the samples which are performed with -0.3+0.1 mm and -0.1+0.038 mm resulted in 46.77% Cr_2O_3 and 41.68% Cr_2O_3 concentrates. respectively; and concentrates having 52.25% Cr_2O_3 and 54.02% Cr_2O_3 contents were obtained from the Mozley Table experiments. which was conducted to increase the content of these concentrates. As a result of the high intensity wet jones magnetic separation and Mozley Table experiments. which were ground under 0.2 mm. a concentrate of 5.6% of the feed having 48.60% Cr_2O_3 content with 58.6% recovery was obtained.

Keywords: Chromite, Tailings, Shaking table, Mozley table

ÖZET: *Orhaneli Bölgesi'nde faaliyet gösteren Şetat Kromit Zenginleştirme Tesisi'nde üretilen artıkların değerlendirilmesi bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Çalışmada. öncelikle atık numunelerin mineralojik. kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlenmiş ve elde edilen verilere göre fiziksel zenginleştirme yöntemleri kullanılarak zenginleştirme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere; Kromit 1-3 Tesisi İri Artıklar. Kromit 1-3 Tesisi İnce Artıklar. Kromit 1 Tesisi Eski Kuru Artıklar. Kromit-2 Artıklar. Susuzlandırma Ünitesi. Kuru Artıklar (Bant Üstü). Kromit-2 Susuzlandırma Elekleri 0.350 mm Siklon Bataryası Üst Akım. Krom-2 Eski Artıklar Stok örnekleri harmanlanmış ve temsili bir örnek hazırlanmıştır. Bu harman numunesi üzerinde yapılan mineralojik analizler sonucunda atıkların bileşiminde kromit olivin. antigorit ve krizotil gibi serpantin grubu mineralleri ile birlikte millerit. pentlandit. hematit ve kalsedon mineralleri bulunmuştur. -0.3+0.1 mm ve -0.1+0.038 mm fraksiyonlarda gerçekleştirilen sarsıntılı masa deneylerinin sonuçları sırasıyla %46.77 Cr_2O_3 ve %41.68 Cr_2O_3 içerikli konsantreler elde edilirken; bu konsantrelerin içeriğini arttırmak için gerçekleştirilen Mozley Masası deneylerinden %52.25 Cr_2O_3 ve %54.02 Cr_2O_3 içeriğine sahip konsantreler elde edilmiştir. -0.2 mm boyutunda gerçekleştirilen yüksek alan şiddetli jones manyetik ayırma ve Mozley masası deneyleri sonucunda beslenenin %5.6'sı oranında %58.60 Cr_2O_3 içerikli bir konsantre %58.6'lık verimle elde edilmiştir.*

Anahtar Kelimeler: *Kromit, Artık, Sarsıntılı masa, Mozley masası*

1. INTRODUCTION

Chromium. one of the natural components of earth crust; is one of the basic elements of metallurgy. chemistry and refractory industries. Chromium metal is only produced from chromite ore economically. Chromite is a mineral belonging to the spinel group and is crystallized in the cubic system. The theoretical formula is $FeCr_2O_4$. and the chromite mineral in nature is given as the formula (Mg. Fe) (Cr. Al. Fe)$_2O_4$ (Güney et al.. 1996. Güney and Atak. 1997).

Chromite minerals and chromium deposits are found in ultrabasic rocks where they are related to their origin. Chromite crystals embedded into ultrabasic rocks (dunite. serpentine) by forming gangue minerals form chromite ore. The density of the

chromite crystals and/or particles in the ultrabasic pulp material and the texture and structure properties exhibited by them make it possible to characterize the chromite ore as massive, disseminated, nodular, orbicular, banded, massive banded and disseminated banded (Güney et al.. 1996. Güney and Atak. 1997. Güney et al.. 1997. Güney et al.. 2001).

The chemical composition of the chrome ore determines the industrial uses of the ore. SiO_2, Cr_2O_3, Al_2O_3 contents and Cr/Fe ratio are very determinative in chemical analyzes. The highest Cr_2O_3content of the chromite mineral in nature is 68%.

The chromite ore is enriched by jig, spiral, shaking table or magnetic separators. The most common application in concentrate chromite ore production is shaking table method based on the difference in density between chromite minerals and olivine. pyroxene and serpentine minerals which form gangue. Magnetic separation, flotation and heavy liquid methods are also enrichment methods used in some enterprises.

In this investigation, gravity and magnetic separation techniques were subjected to a chromite sample having high olivine content in order to produce a marketable Cr_2O_3 concentrate.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1 Mineralogical Properties of the Sample

As a result of the microscopic studies on the ores fed to the enrichment plant; it was observed that the ores fed had similar structural, textural and mineralogical features and that the chromite mineralization was scattered within the partially or completely separated dunite-bearing rocks. In the composition of the ores, it has been found that chromite, the serpentine group minerals such as olivine, antigorite and chrysotile together with the minerite, pendlantite, hematite and calcined minerals.

Chromite; in the samples, they are observed as particles in the form of self-formed and semi-particles, ranging in size from 40 microns to 1.5 mm, with an average size of around 350 microns. It has been observed that the chromite particles, which are generally observed in the ore, are partially deformed, resulting in a fractured structure. These fractures are filled with chrysotile, calcite and hematite minerals.

Olivine; yellowish, greenish and white color tones are observed in the samples, and forsterite, compounded olivine grain sizes range from 20 to 300 microns and mean

size is around 100 μm. As a result of the deformation, it was observed that olivine grains which obtained a fracture structure serpantinized at different grades and partially or totally converted into antigorite, chrysotile minerals and formed sieve texture and stripe-like structures. Within the sieve texture. olivine remains are encountered (Project. 2006).

2.2 Chemical Properties of the Sample

To demonstrate the chemical properties of the principal samples in the experiments. complex chemical analyzes were performed on representative samples (Table 1).

Table 1. Chemical analysis results of the mixture sample

Content	Amount, %
Cr_2O_3	4.83
Cr	3.31
FeO	5.71
Fe	4.44
SiO_2	30.82
MgO	35.30
CaO	10.00
Al_2O_3	3.40
K.K.	9.98
Cr/Fe	0.75

DP40 type High Intensity Jones Magnetic Separator is used in HIJMS experiments (Figure 1a). Jones magnetic separator creates a magnetic field at 6.8 amps at 16.000 Gauss (1.6 Tesla). In Jones magnetic separator. vertical axis discs rotating between electromagnet poles are available. High magnetic field is formed on slotted plates vertically positioned around the disc. Gravity separation experiments are done with Shaking table and Mozley table as shown in Figure 1b and Figure 1c. respectively.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In the high intensity wet magnetic separation experiments. the mixed tailing sample which was ground under 0.2 mm, was used. Firstly, the magnetic separation experiments were carried out at different field intensities in order to find the field intensity which provides the most efficient separation between chromite and gangue minerals such as olivine and serpentine. Test conditions and results are given in Tables 2 and 3, respectively. The quantitative distributions of the magnetic and non-magnetic

products obtained from the experiments performed at different current intensities are given in Figure 2.

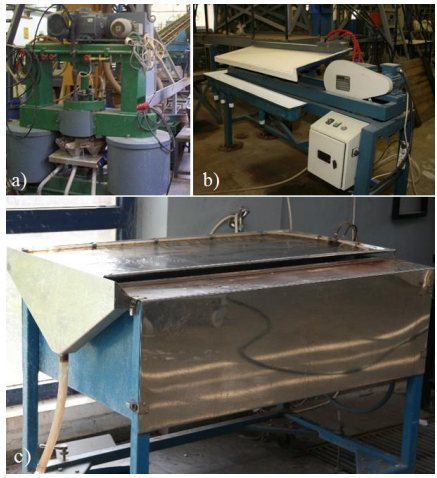


Figure 1. DP40 type high intensity jones magnetic separator (a). Shaking table unit (b). Mozley table (c).

Table 2. High intensity wet magnetic separation experimental conditions

Particle Size	-212 □m
Feeding Rate	120 L/h
Solid in Pulp Ratio	15%
Middling Wash Water Rate	60 L/h
Plate Type	12 R
Plate Gape Number	4
Plate Gape Distance	0.45 mm

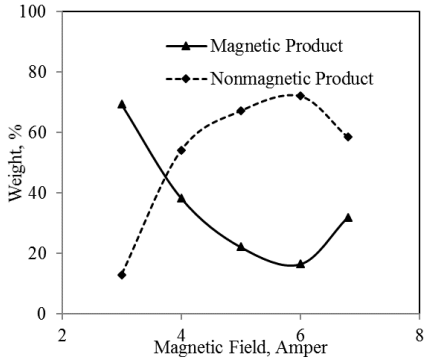


Figure 2. Weight distributions of magnetic and nonmagnetic products from experiments performed with different magnetic fields

It was aimed to enrich the coarse concentrate obtained at a current of 4 amper by subjecting it to a cleaning process at lower intense magnetic fields. The experimental results and flowsheet are given in Table 4 and Figure 3. respectively.

Table 3. Results of magnetic separation tests in different current intensities

Current Intensity, Amper	Product	Weight, %	Cr_2O_3, %	
			Content	Recovery
6.8	Magnetic	58.5	6.24	78.4
	Middling	9.5	2.36	4.8
	Nonmagnetic	32.0	2.44	16.8
	Total	100.0	4.66	100.0
6	Magnetic	72.1	5.26	84.5
	Middling	11.4	2.49	6.3
	Nonmagnetic	16.5	2.49	9.2
	Total	100.0	4.49	100.0
5	Magnetic	67.2	7.10	84.1
	Middling	10.5	2.81	5.2
	Nonmagnetic	22.2	2.73	10.7
	Total	100.0	5.68	100.0
4	Magnetic	54.1	8.18	79.7
	Middling	7.5	2.53	3.4
	Nonmagnetic	38.4	2.44	16.9
	Total	100.0	5.55	100.0
3	Magnetic	13.0	8.30	32.2
	Middling	17.7	2.75	14.5
	Nonmagnetic	69.3	2.58	53.3
	Total	100.0	3.35	100.0

Table 4. Multi-stage magnetic enrichment experiment results at 4 Amperes

Product	Weight, %	Cr_2O_3, %	
		Content	Recovery
Magnetic	9.4	17.66	35.4
Middling-3	5.2	8.74	9.7
Non-magnetic-3	2.7	3.25	1.9
Middling -2	24.6	5.30	27.8
Non-magnetic -2	14.7	2.69	8.4
Middling -1	2.4	2.80	1.4
Non-magnetic -1	41.0	1.76	15.4
Total	100.0	4.69	100.0

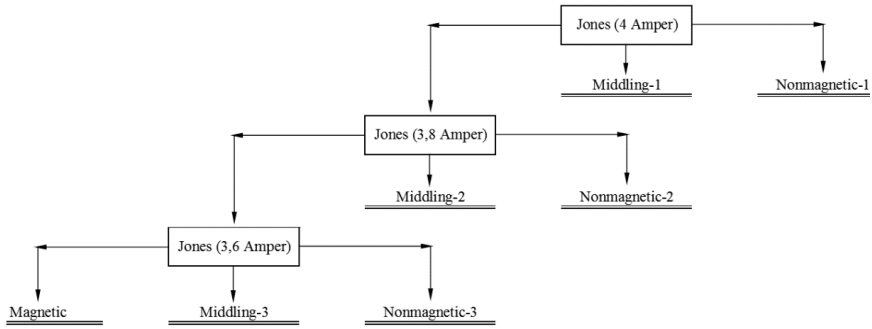


Figure 3. Multi-stage magnetic enrichment experiment flowsheet at 4 Amperes

It can be seen that in a multi-stage enrichment process. a rougher concentrate having 17.64% Cr_2O_3 can be achieved with a recovery of 62.9% as a result of product

unified and middling distribution (Table 5). Table 6 shows the results of a Mozley table experiment performed with a magnetic separation concentrate.

Table 5. The unified results of concentrating in stages at 4A.

Products	Weight, %	Content, Cr_2O_3 %	Recovery, Cr_2O_3 %
Concentrate	16.7	17.64	62.9
Tailings	83.3	2.09	37.1
Feeding	100.0	4.69	100.0

Table 6. The results of Mozley table experiment performed with a magnetic separation concentrate

Products	Weight, %	Cr_2O_3, %	
		Content	Recovery
Concentrate	5.6	48.60	58.3
Tailings	94.4	2.09	41.7
Feeding	100.0	4.68	100.0

As it can be seen from Table 6. as a result of 3 stage High intensity wet magnetic separation (Jones Type) followed by 2 stage Mozley Table experiments. a concentrate of 48.60% Cr_2O_3 was obtained with a recovery of 58.3%. Experiments were carried out using the Wilfley type shaking table in the -0.3 + 0.1 mm and -0.1 + 0.038 mm size groups of the mixed tailing sample ground under 0.3 mm. The Cr_2O_3 distributions according to the sieve analysis and size are given in Table 7. Tables 8 and 9 summarize the results of the table experiments. which are all under 0.3+0.038 mm.

Table 7. The Cr_2O_3 distributions according to the sieve analysis

Product	Weight, %	Cr_2O_3, %	
		Content	Distribution
-0.3+0.1	47.9	4.84	48.6
-0.1+0.038	31.7	5.00	33.2
-0.038	20.4	4.25	18.2
Total	100.0	4.77	100.0

Table 8. Shaking table experiments results performed with -0.3 mm

Product	Weight, %	Cr_2O_3, %	
		Content	Recovery
Concentrate-1	1.1	44.80	4.3
Concentrate-2	0.7	43.35	6.0
Concentrate-3	0.4	46.26	4.3
Middling	11.3	9.75	23.2
Tailings-3	32.4	2.77	18.8
Tailings-2	27.1	2.70	15.3
Tailings-1	6.7	2.74	3.8
-0.038	20.4	4.25	18.2
Total	100.0	4.77	100.0

Table 9. Shaking table experiments results performed with -0.3 mm (Combined)

Product	Weight, %	Cr_2O_3, %	
		Content	Recovery
Concentrate	2.2	44.66	20.7
Middling	11.4	9.75	23.3
Tailings	66.0	2.74	37.8
-0.038	20.4	4.25	18.2
Total	100.0	4.77	100.0

As it can be seen from Table 9. it is obtained with a recovery of 20.7% chromite concentrate with 44.66% Cr_2O_3content. which is 2.2% of the feeding. resulting from the shaking table test. If the middling is distributed theoretically (Table 10). this ratio increases to 38.4%.

Table 10. Shaking table experiments results performed with -0.3 mm (middling distributed)

Product	Weight, %	Cr_2O_3, %	
		Content	Recovery
Concentrate	4.1	44.66	38.4
Tailings	75.5	2.74	43.4
-0.038	20.4	4.25	18.2
Total	100.0	4.77	100.0

All of the tailings ground under 0.3 mm were subjected to enrichment with Mozley table in order to increase the contents of the concentrates obtained as a result of the shaking table experiments made below -0.3+0.1 mm and -0.1+0.038 mm. Results are given in Tables 11 and 12. respectively.

Table 11. Mozley table experiments results performed with -0.3+0.1 mm (Conditions: Rate: 104 rpm Slope: 2° Amplitude: 64 mm)

Product	Weight, %	Cr_2O_3, %	
		Content	Recovery
Concentrate	29.91	52.25	33.4
Middling	58.88	44.85	56.5
Tailings	11.21	42.26	10.1
Total	100.00	46.77	100.00

Table 12. Mozley table experiments results performed with -0.1+0.038 mm (Conditions: Rate: 104 rpm Slope: 2° Amplitude: 64 mm)

Product	Weight. %	Cr_2O_3, %	
		Content	Recovery
Concentrate	51.52	54.02	66.77
Middling	16.16	40.39	15.66
Tailings	32.32	22.66	17.57
Total	100.00	41.68	100.00

4. CONCLUSIONS

Magnetic separation tests were done under 0.2 mm particle size with Jones High Intensity Wet Magnetic Separator. According to different intensity tests. it is found that 17.64% Cr_2O_3 containing concentrate was obtained with 63% recovery at 4A intensity. The chromite content in the tailings was found as 2%. As a result of enrichment with Mozley Table made to increase the degree of Cr_2O_3 concentrates by 46.77% and 41.68% Cr_2O_3 concentrates obtained by shaking table tests in -0.3+0.1 mm and -0.1+0.038 mm size groups. 52% and 54% concentrates were obtained. As a result of the enrichment experiments made with the graduated Jones High Area Wet Magnetic + Mozley Table performed with under 0.2 mm. a concentrate of 48.60% Cr_2O_3% can be obtained with a yield of 58.3%. With a shaking table. the recovery for a concentrate with 44-45% Cr_2O_3 content can be as high as 38.4%. According to these results; Jones Magnetic Separator+Mozley Table process. which provides 4 points in both concentrate grade and 23-24% efficiency compared to shaking table.

REFERENCES

Güney. A.. Sirkeci. A.A.. Gürkan. V.. Önal. G. (1996): The Recovery of Chromite Fines From Tailings of Üçköprü Chromium Plant Using HIWHS. Proceedings of the VI International Mineral Processing Symposium. Eds. M Kemal. V. Arslan. A. Akar.. Kuşadası. İzmir. September 1996. 149-154

Güney. A.. Atak. S. (1997): Separation of Chromite From Olivine By Anionic Collectors. 1997 Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii. 31.99-106

Güney A.. Önal. G.. Atmaca. T.. Kippenberger. C.. Gürkan. V. (1997): The Recovery of Chromite Fines From the Tailings of Üçköprü Chromite Concentrator. Proceedings of the XX International Mineral Processing Congress at Aachen. Germany. Eds. H. Hoberg.. H Von Blottnitz.. September. 1997 V:5. pp.91-97

Güney. A.. Önal. G.. Atmaca. T.. (2001): New aspect of chromite gravity tailings re processing. Minerals Engineering. Vol:14. No. 11. pp. 1527-1530. 2001

Orhaneli Bölgesi Deniz ve Ovayaka Krom Cevherleri İle Tesis Artıklarının Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması. İ.T.Ü Maden Vakfı Projesi (2006). Yürütücü: Prof. Dr. Ali Güney

EVALUATION OF OLIVINE FLOTATION REGARDING ENTRAINMENT

OLİVİN FLOTASYONUNUN SU İLE SÜRÜKLENME MEKANİZMASI İLE İLİŞKİLİ OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Ercan POLAT[1]*, Taki GÜLER[1], Ünal AKDEMİR[2]

1: Muğla Sıtkı Koçman University, Mining Engineering Department, Muğla, TURKEY

2: Cumhuriyet University, Mining Engineering Department, Sivas, TURKEY

*: Corresponding Author: epolat@mu.edu.tr

ABSTRACT: Olivine is an important raw material of metallurgical application areas. Main concern related with olivine ore is the loss on ignition (LOI) value. Regarding the areas of end use, LOI value should be lower than 1%. LOI value depends on the rate of soft and hydrated alteration products - serpentine minerals - in the ore. Finely ground soft serpentine minerals adversely affect the olivine flotation in a way of entraining into concentrate. This study was conducted to determine the effect of impeller speed, flotation time and frother dosage on the LOI value of olivine concentrate. Olivine ore sample was observed to contain lizardite, a serpentine group mineral, as a source of LOI. Increasing the impeller speed, frother dosage and flotation time resulted in increased rate of solid recovery. However, at high rate of solid recovery, LOI value of concentrate did also increase due to entrainment of lizardite. LOI value of olivine concentrate was found to be decreased below 1% adjusting the frother dosage and impeller speed at optimum flotation time.

Keywords: Olivine, Lizardite, Flotation, Entrainment

ÖZET: *Olivin, metalurjik uygulama sahaları için önemli bir hammaddedir. Olivin cevheri ile ilgili ana kaygı kızdırma kaybıdır (LOI). Tüketim sahası göz önünde bulundurulduğunda, LOI değeri %1'den az olmalıdır. Cevherin LOI değeri, olivin alterasyon ürünü olan yumuşak ve hidrate olmuş kısım olan serpentin minerallerinin oranına bağlıdır. İnce öğünmüş yumuşak serpentin mineralleri, su ile sürüklenerek konsantrede kazanılmaları nedeniyle olivin flotasyonunu olumsuz etkiler. Bu çalışma, pülp karıştırma hızı, flotasyon süresi ve köpürtücü dozajının olivin konsantresi LOI*

değerine etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Olivin cevher örneğinin LOI kaynağı olarak serpentin grubu mineral olan lizardit içerdiği belirlenmiştir. Köpürtücü dozajı, flotasyon süresi ve pülp karıştırma hızının artırılması ile katı kazanım oranı artmıştır. Fakat yüksek katı kazanım oranlarında, lizarditin su ile konsantreye sürüklenmesi sonucu konsantre LOI değeri de artmıştır. Optimum flotasyon süresinde pülp karıştırma hızını ve köpürtücü dozajını ayarlayarak olivin flotasyonunda konsantre LOI değerinin %1'in altında düşürülebileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Olivin, Lizardit, Flotasyon, Su ile sürükleneme*

1. INTRODUCTION

Olivine ($(Mg,Fe)_2SiO_4$) is an orthosilicate mineral group with the end-members forsterite (Mg_2SiO_4) and fayalite (Fe_2SiO_4) (Davis, 1977; Kleiv and Thornhill, 2011; Krivolutskaya and Bryanchaninova, 2011). It is an important raw material of metallurgical application areas. It is used in foundry applications as foundry sand, in the production of refractory brick, as sludge maker, in the production of iron ore pellets, etc. The main specification of olivine ore for most metallurgical applications is the loss on ignition (LOI) value, which should be lower than 1%. Moreover, raw material is also expected to satisfy SiO_2 ($38\% < SiO_2 < 42\%$) and MgO ($MgO > 42\%$) specifications (Acar, 2003; Jolsterå, 2010; Kleiv and Thornhill, 2011; Örgün and Erarslan, 2012).

Olivine is a reasonable hard mineral: according to Mohs scale, its hardness varies between 6 and 7 depending on Mg/Fe ratio. On the other hand, major gangue minerals of olivine ores are reasonable soft hydrated serpentine minerals, alteration products of olivine minerals. Serpentines have crystal water, and then increase LOI value of olivine ore. Increase in LOI content of olivine ores means increased rate of alteration (serpentinization) of the ore (Acar, 2003; Güney and Atak, 1997; Kleiv and Thornhill, 2011). During size reduction, altered fraction of ore is selectively ground down to ultrafine sizes whereas hard olivine minerals will be at coarser sizes (Davis, 1977; Güler et al., 2014). Therefore, beneficiation of olivine ore is generally achieved almost only by applying size reduction and classification due to low market price of olivine ore and high costs of advanced beneficiation methods. On the other hand, direct rejection of ground altered serpentine minerals-rich fraction as a tailing causes environmental problems, and reduces plant performance.

One of the suitable beneficiation alternatives for olivine fines is flotation. Main problem in the flotation of olivine ore is the recovery of finely sized-selectively degradated serpentine minerals in froth. In other words, olivine flotation displays slime-sensitive, entrainment-dependent behavior. Entrainment is a recovery mechanism of fine particle in froth water; no matter their surfaces exhibit hydrophobic of hydrophilic property. In real flotation processes, ultra-finely sized particles adversely affect the process: they may cause excess reagent consumption, may decrease floatability of coarse valuable minerals due to slime coating, and may decrease concentrate grade due to entrainment of ultra-fine gangue particles in concentrate (Güler and Akdemir, 2012; Wang et al., 2015; Wiese et al., 2010).

Olivine has been found to be floatable by Na-oleate as collector in a wide pH range covering the mildly acid to moderately alkaline range (Güler and Aktürk, 2015; Güney and Atak, 1997). This study was performed to elucidate the role of frother dosage and impeller speed on the entrainment of hydrated serpentine minerals. Flotation tests were performed in a mechanical cell.

2. MATERIALS AND METHODS

Experimental works were made on a representative ore sample supplied from Köyceğiz region, Turkey. Ore sample was characterized by XRD, SEM-EDS, XRF and petrographic analysis of thin-sections. It was defined as a rock having a harzburgite-lherzolite constituent with the olivine minerals as the major constituent in addition to lizardite as the concern for LOI specification (Figure 1). Crystal water rate of lizardite is about 13% H_2O (Anonymous, 2017). Ore sample was determined to have 47,79% MgO and 39.36% SiO_2. LOI of sample was found as 1.47%.

Experiments were conducted with 50 g lots of olivine ore sample in a 1-liter cell at natural pH (pH 8.3) using Denver type sub-aerating flotation machine. Flotation chemicals employed were Na-oleate (1000 g/t) as collecting agent, and methyl iso butyl carbinol-MIBC as frothing agent. Conditioning time for collector was applied as 3 minutes. Froth was skimmed from cell for 5 minutes collecting the solid loaded froth in four different pans for 0 to 30 seconds, 30 seconds to 1 minute, 1 to 2 minutes, and 2 to 5 minutes of flotation time. Frother dosage (20 g/t, 50 g/t, 100 g/t and 500g/t) and impeller speed (950 rpm, 1100 rpm, 1250 rpm and 1400 rpm) were tested.

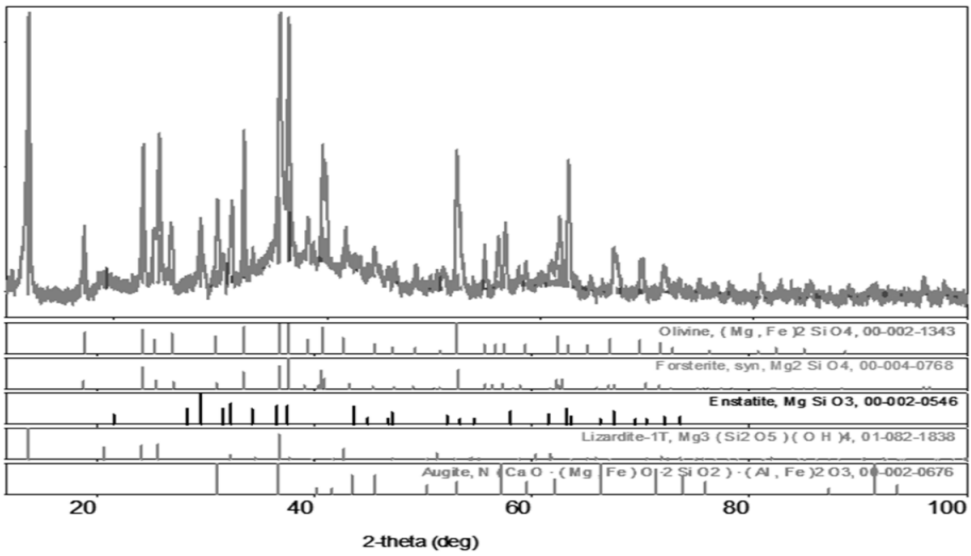


Figure 1. XRD pattern of olivine sample

Effect of experimental variables on flotation process was evaluated concerning LOI value as a measure. Sample was heated up to 900°C at a heating rate of 50°C/min in a high-temperature furnace. Calcination at 900°C was applied for 30 minutes (Kleiv and Thornhill, 2011). Sample was weighed before and after calcination, and weigh lost was measured. LOI was calculated from weight lost.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Olivine is an anhydrous mineral, and does not contain crystal water. LOI value of olivine ore depends on the rate of alteration of or rock body, and therefore, the rate of serpentine group minerals in it: increase in LOI content of olivine ore means increased rate of alteration (serpentinization) of the ore (Acar, 2003; Güney and Atak, 1997; Kleiv and Thornhill, 2011). Tested olivine ore sample contains soft hydrated lizardite (13% H_2O), a serpentine mineral. The altered fraction was examined to be rejected by oleate flotation. Change in LOI rate of flotation concentrate with respect to feed was explained with the rejection rate of lizardite.

Fluid dynamics is an important variable concerning entrainment in a mechanical flotation cell. Therefore, effects of impeller speed on the recoveries of solid and water, and LOI value of concentrate were investigated (Figures 2-4). Experimental results showed that 2 minutes of froth skimming period was enough for olivine flotation in the

experimental setup used. Solid recovery increased sharply first and then gradually by extending the flotation time. LOI values did also draw similar curve with reasonably lower inclinations. On the other hand, water recovery increased almost linearly.

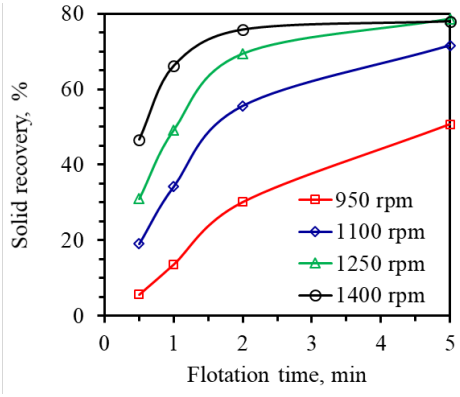


Figure 2. Effect of impeller speed on solid recovery in froth product (Frother: 100 g/t MIBC)

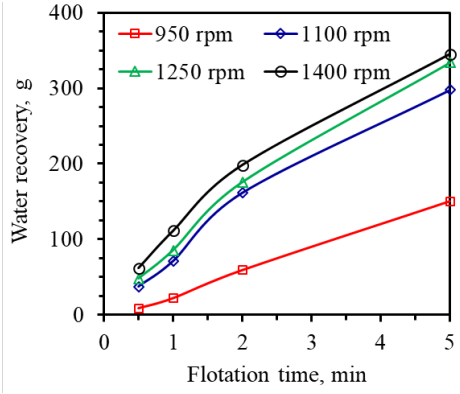


Figure 3. Effect of impeller speed on water recovery in froth product (Frother: 100 g/t MIBC)

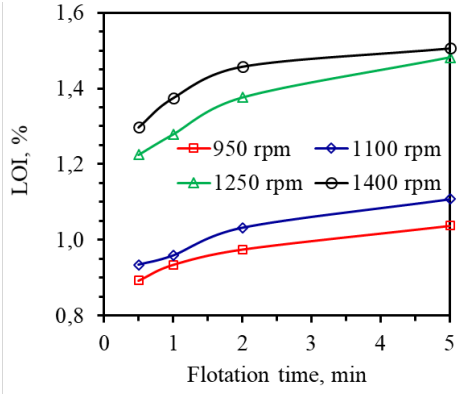


Figure 4. Effect of impeller speed on LOI value of olivine concentrate (Frother: 100 g/t MIBC)

Impeller speed significantly affected the solid recovery and LOI value of olivine concentrate. Change in water recovery with respect to impeller speed, however, was found to be considerably at lower rates except 950 rpm. In a mechanical flotation cell, three imaginary zones are expected to form: turbulent zone, quiescent zone, froth zone (Wang et al., 2015). Around impeller level, turbulent condition is valid, where small bubble generation occurs and, perfect mixing is satisfied avoiding settlement of solid particles. Turbulent condition means the true suspension of both hydrophobic and hydrophilic particles. Hydrophobic particles come into contact with air bubbles in this zone. After collision, low density of bubble-particle system goes upward direction due to buoyancy force. Hence, suspended hydrophilic particles are partially separated from ascending froth phase. Quiescent zone, an imaginary belt above turbulent zone, is the zone where phase separation between suspended hydrophilic particles and hydrophobic particle-loaded froth phase occurs. Hydrophilic particles tend to settle under gravity down to the turbulent zone with a terminal velocity "v_T" while loaded froth bubbles go upward direction. Thickness of this zone and sizes of suspended hydrophilic particles specify the efficiency of phase separation, and entrainment rate of hydrophilic fine lizardite particles. Impeller functions to improve the chance of hydrophobic particle-bubble collision. On the other hand, increased impeller speed means the increased thickness of turbulent zone and, therefore, decreased thickness of quiescent zone. So, particles could not find enough time for phase separation, and rate of drainage of hydrophilic suspended particles will decrease (Akdemir and Sönmez, 2003).

Solid rate recovered was observed to increase by stirring speeds at first sharply, and then gradually (Figures 2, 5). Change in LOI drew different path (Figures 4-5): it increased slightly at lower impeller speeds. Increasing the impeller speed from 1100 rpm to 1250 rpm resulted in an abrupt rise in LOI value. This finding was attributed to true flotation of olivine particles at 1100 rpm, and then entrainment of lizardite at higher impeller speeds (Akdemir and Sönmez, 2003; Wang et al., 2015). Rate of locked particles and weakly attached particles onto the air bubbles, which reported into the concentrate, might also increase the LOI value. Effect of those particles on concentrate grade was thought not be at reasonable rate. Since, enlarged turbulent zone and increased Reynolds number mean breakage of weak collision between air bubbles and

particles (Çilek, 2009; Schubert, 1999). Therefore, changes in LOI value and solid rate at higher impeller speeds were referred mainly to entrainment.

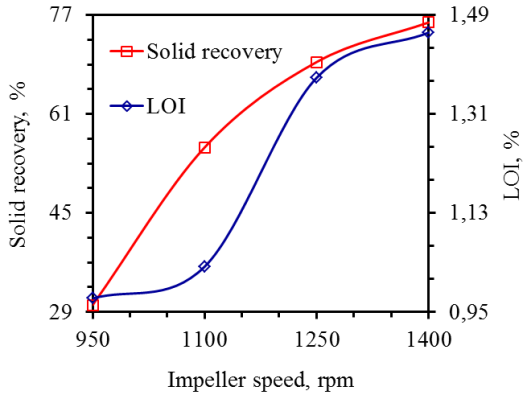


Figure 5. Effect of impeller speed on the solid recovery and LOI value of olivine concentrate (Flotation time: 2 minutes; Frother: 100 g/t MIBC)

Frother is used in flotation process to stabilize air bubble to be able to carry the hydrophobic mineral particles to the froth phase, and then to the froth launder before breakage. Froth phase contains particular amount of water. High rate of water recovery in froth phase means increased rate of mechanical transport of hydrophilic particles in flowing water from pulp to froth phase due to insufficient drainage of fine hydrophilic particles in quiescent and froth zones, which process is named as entrainment (Wang et al., 2015). Rate of water recovery in a flotation process is a frother dosage dependent phenomenon. Therefore, as a frother, effect of MIBC on the water recovery and entrainment was investigated at varying dosages (Figure 6-8). Olivine flotation came to closer to equilibrium in 2 minutes of flotation. In extended flotation period, amount of solid taken in froth continued to increase gradually, not sharply as in the first two minutes of flotation. Similarly, LOI value of concentrate increased slightly in the 2 to 5 minutes of froth skimming. Conversely, water recovery increased almost linearly among all the flotation period.

Amount of solid reporting to froth product increased gradually at higher frother dosages (Figures 6, 9). Similar results were also obtained for water recovery. However, pronounced finding was obtained in LOI value of concentrate (Figures 8-9). LOI value of froth product slightly increased by increasing the MIBC dosage from 20 g/t to 100 g/t. Easily floatable olivine particles were thought to be taken from cell with an

acceptable frother dosage. Sharp increase in the LOI value was observed when excess amount of MIBC was used indicating the reporting of fine lizardite particles into froth in the froth water.

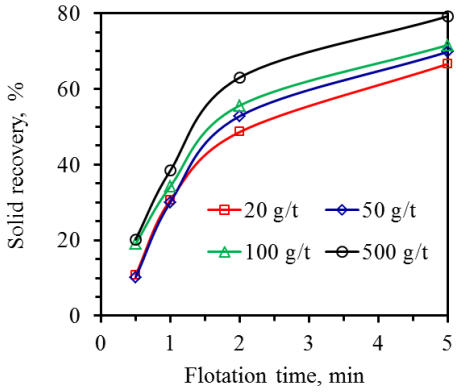


Figure 6. Effect of frother dosage on solid recovery in froth product (Impeller speed: 1100 rpm)

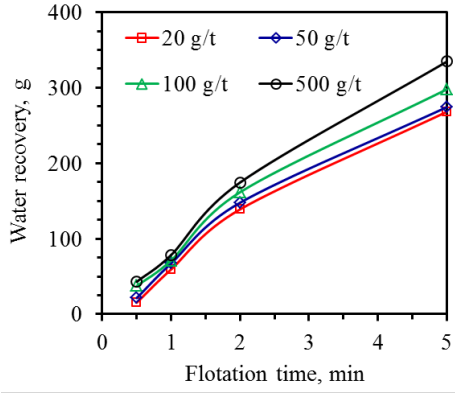


Figure 7. Effect of frother dosage on water recovery in froth product (Impeller speed: 1100 rpm)

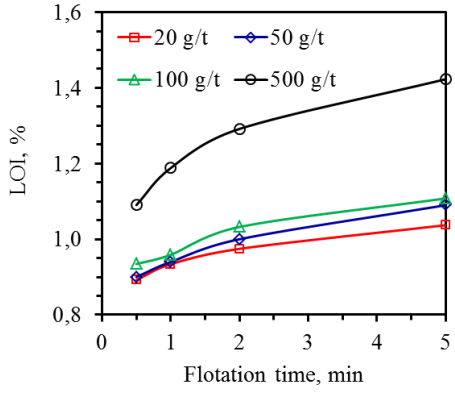


Figure 8. Effect of frother dosage on LOI value of olivine concentrate (Impeller speed: 1100 rpm)

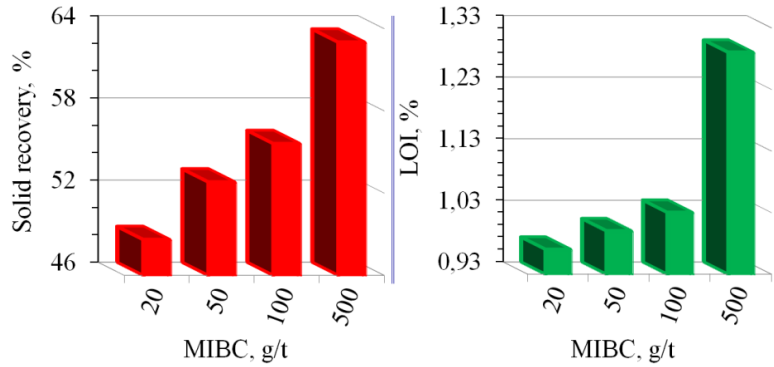


Figure 9. Effect of frother dosage on the solid recovery and LOI value of olivine concentrate (Flotation time: 2 minutes; Impeller speed: 1100 rpm)

Frother determines the froth stability: it increases with increasing the frother dosage. Excessively stable froth does not cause desirable conditions. Coalescence and bursting events decrease while froth capacity increases by increasing frother dosage. More stable froth means the higher amount of solid will be recovered by entrainment causing the dilution of concentrate by entrained hydrophilic lizardite particles (Neethling & Cilliers, 2002; Wang et al., 2015; Wiese et al., 2000).

4. CONCLUSIONS

Following conclusions were drawn from oleate flotation of olivine ore:

- Hydrated lizardite mineral was determined to be the unwanted component of tested olivine ore sample, which caused 1.47% loss on ignition (LOI) value.
- Solid recovery rate increased by extended flotation time. However, LOI value of concentrate did also increase due to entrainment.
- Solid recovery rate decreased at lower impeller speeds whereas increasing the impeller speed resulted in decreased concentrate grade due to entrainment of hydrophilic hydrated lizardite mineral particles.
- Olivine recovery improved increasing the MIBC dosage up to 100 g/t causing acceptable LOI values. Excess MIBC dosage caused concentrate dilution due to entrained hydrated lizardite particles.
- LOI value of ore could be decreased below 1% by oleate flotation adjusting the frother dosage and impeller speed to optimum values.

5. REFERENCES

Acar, B., 2003. Olivinin Sanayiye Yönelik Kullanım Özelliklerinin Tespiti: Çayırbağı (Konya) ve Kızıldağ (Akseki) Olivinleri. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Akdemir, Ü., Sönmez, _I., 2003. Investigation of coal and ash recovery and entrainment in flotation. Fuel Process. Technol. 82, 1–9.

Anonymous, 2017. http://webmineral.com/data/Lizardite.shtml#.WVliOojyjIU

Cilek, E.C., 2009. The effect of hydrodynamic conditions on true flotation and entrainment in flotation of a complex sulphide ore. Int. J. Miner. Process. 90, 35–44.

Davis, E.G., 1977. Beneficiation of Olivine Foundry Sand by Differential Attrition Grinding, US Patent No.4039625, 5 p.

Güler, T., Akdemir, Ü., 2012. Statistical evaluation of flotation and entrainment behavior of an artificial ore, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, V.22, pp.199-205.

Güler, T., Aktürk, S., 2015. Beneficiation of olivine ore by Na-oleate flotation, 16th Balkan Mineral Processing Congress, Belgrade, Serbia, pp.543-548.

Güler, T., Aktürk, S., Özer, A., 2014. Preconcentration of Muğla/Köyceğiz olivines by comminution, 14th International Mineral Processing Symposium, Kuşadası, Turkey, pp.779-785.

Güney, A. and Atak, S., 1997. Separation of Chromite from Olivine by Anionic Collectors. Physicochemical Problems of Mineral Processing, 31, 99.

Jolsterå, R., 2010. Reactions at the Water-Mineral Interface of Olivine and Silicate Modified Maghemite, Luleå University of Technology, 53 p.

Kleiv, R.A. and Thorhnhill, M., 2011. Dry Magnetic Separation of Olivine Sand. Physicochemical Problems of Mineral Processing, 47, 213.

Krivolutskaya, N.A. and Bryanchaninova, N.I., 2011. Olivines of Igneous Rocks. Russian Journal of General Chemistry, 81(6), 1302.

Neethling, S.J., Cilliers, J.J., 2002. The entrainment of gangue into a flotation froth. Int. J. Miner. Process. 64, 123–134.

Örgün, Y. and Erarslan, C., 2012. 21. Yüzyılda Olivin ve Türkiye'nin Olivin Potansiyeli, Madencilik Türkiye, June, 62.

Schubert, H., 1999. On the turbulence-controlled microprocesses in flotation machines. Int. J. Miner. Process. 56, 257–276.

Wang, L., Peng, Y., Runge, K., Bradshaw, D., 2015. A review of entrainment: Mechanisms, contributing factors and modeling in flotation. Miner. Eng. 70, 77-91.

Wiese, J.G., Harris, P.J., Bradshaw, D.J., 2010. The effect of increased frother dosage on froth stability at high depressant dosages, Minerals Engineering, 23: 1010-1017.

ASİT MADEN DRENAJI OLUŞUMUNA KARŞI METALİK MADEN SAHALARINDA ALINACAK ÖNLEMLER VE KOZA ALTIN İŞLETMELERİ MADEN SAHASINDAN UYGULAMA ÖRNEKLERİ

PREVENTIVE ACTIONS FOR METALLIC MINING FIELDS AND CURRICULUM FOR ACID MINE DRAINNAGE AND SAMPLES OF APPLICATION FROM KOZA ALTIN İŞLETMLERI FIELDS

İlknur BULUTOGLU

Maden Mühendisi, ÇED Uzmanı, Koza Altın İşletmeleri A.Ş., Ankara, TÜRKİYE

İlknur.bulutoglu@kozagold.com

ÖZET Başta kömür ve metal madenciliği olmak üzere sülfürlü mineral içeren kaya birimlerinde yapılan kazı çalışmaları sonrasında atmosferik koşullara maruz kalan cevher ve maden atığı, fiziksel ve kimyasal bozunma süreçleri ile değişime uğramakta ve önemli bir çevresel sorun olan asit maden drenajı (AMD) oluşumuna sebep olmaktadır. Asit maden drenajı problemi için etkin bir çevre kontrolü sağlanabilmesi için öncelikle asit oluşumunun kaynağı durumundaki kayaç (cevher + pasa) yığınlarının, atık barajına gönderilen proses atıklarının ve pasa depolama alanındaki malzemenin asit üretme ve nötrleştirme potansiyellerinin (NP) ortaya konması gereklidir. Sülfürlü metal veya kömür madeni işletmelerinde karşılaşılan asit maden drenajının belirgin özellikleri; düşük pH, yüksek asidite, yüksek iyon konsantrasyonu (Fe /Fe, Al, Mn ve SO4" gibi), askıda katı ve çözünmüş katı olarak sıralanabilir. Maden yataklarının ve buna bağlı ortam koşullarının kendine özgü olması sebebiyle tüm yataklara uygulanabilen bir asit maden drenajı önleme yöntemi mevcut değildir. Fakat son on yıldır ülkemizde altın madenciliği ile birlikte AMD oluşumu potansiyelinin tespitine ve önlemlerine yönelik olarak gerçekleştirilen statik ve kinetik testlerle, bunların sonuçlarının değerlendirildiği matematiksel model çalışmaları bu anlamda önemli yol kat edilmesini sağlamıştır. Yöntem seçiminde belirleyici unsurlar; ortam koşulları, maliyet ve çevre standartlarıdır. Bu çalışmada Koza Altın İşletmelerine ait maden ocaklarındaki uygulamalara ve alınan önlemlere değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asit maden drenajı, Asit maden drenajının çevresel etkileri, Asit maden drenajı için alınacak önlemler

ABSTRACT *The disposal of ore and mining wastes, following extraction of sulphuric mineral containing rock formations, mainly of coal and metal mining, causes a significant environmental concern, referred to as, acid mining drainage, (AMD), with such waste subject to atmospheric conditions, through physical and chemical degradation. In order to maintain a sustainable environmental protection control for AMD, it is essential to clearly determine the potential values of acid production and neutralisation (NP) of the rock extracted (ore + waste), processing waste, forwarded to the waste pools and the materials at waste containment areas. The significant features of AMD in sulphuric metal or coal mining plants are; lower pH, high acidity, high ionic concentration (such as; Fe /Fe, Al, Mn and SO4"), suspended solids and dissolved solids. Due to the specific conditions of both the mine fields and relevant environmental conditions, there is not a single method for prevention of AMD, applicable for all mine fields. However, with both the static and kinetic testing, as well as the mathematical models formed in which the results of such tests are assessed, determining the formation of AMD and precuationary methods in Turkey, following the gold mining development, especially for the last ten years. The determinants for choosing the right method are; environmental conditions, costing and environmental standards and this study refers to the practices and precautionary applications, at Koza Gold Mining Fields and Quarries.*

Keywords: *Acid mining drainage, Environmental effects of acid mining drainage, Precautions to be taken for acid mine drainage*

1. GİRİŞ

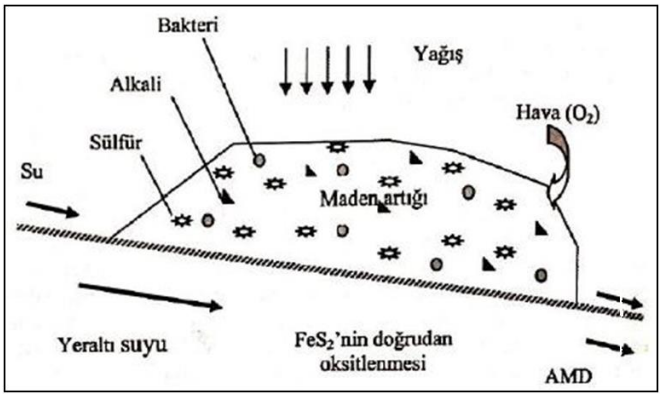
Madencilik faaliyetlerinden çıkan pasa içinde belirli minerallerin bulunması durumunda, pasadan kaynaklanan başlıca çevre sorunu "asit maden drenajının" oluşumudur. Pirit, kalkopirit, süfalerit, galen gibi sülfit minerallerini içeren bazı kayaçların, madencilik faaliyetleri sırasında su ve hava ile temas ettiklerinde asit oluşturma potansiyeli vardır. Oluşan asit, kaya içinde bulunan diğer metalleri serbest hale getirebilmektedir. Sonuçta, suların pH değeri düşmekte ve maden sahalarından

çıkan sularda ortaya kurşun, bakır, gümüş, mangan, kadmiyum, demir ve çinko gibi toksik metal katyonları çıkmaktadır (USEPA, 1997).

Asidik drenaj oluşumu için gerekli üç temel öğe Demir Sülfür Minerali, oksitleyici, su veya nemli atmosferdir (*Kaynak: Asit Maden Drenajı ve Çözümleri-Mehmet Karadeniz)*

Asit Maden Drenajını kontrol eden faktörleri çok genel olarak gruplandırmak gerekirse ikiye ayırmak mümkündür. Bunlar, sülfürlerin ve asit nötrleştirme özelliği taşıyan minerallerin tipi, bolluğu ve dağılımıyla beraber, boşluk hacimleri boşlukların aralarındaki ilişki (gözeneklilik, geçirgenlik), sıkışma ve ayrışma dereceleri kaynak faktörler, iklim, yağış, havanın nemi, hidrojeolojik koşullar, atık hacmi ve depolama yöntemi, çevresel ve diğer faktörler olarak sınıflandırılabilir.

Asit Maden Drenajı maden sahasındaki farklı noktalarda gelişebilir. Bunlar, kayaç yığınları, sürekli yeni açılan yüzeylerle açık ve kapalı ocaklar, cevher stok sahaları ve proses atıklarının bırakıldığı atık barajlarıdır. Farklı ünitelerde oluşacak asit maden drenajı fiziksel ve kimyasal parametreler bazında birbirlerinden farklı olacağı için asit içeriği de değişkenlik gösterebilecektir.



Şekil 1. AMD Oluşumu (Asit Maden Drenajı ve Çözümleri-Mehmet Karadeniz)

Kayaçların asit üretme potansiyelini belirlemek için kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerin arasında statik ve kinetik testler önemlidir. Statik testlerde temelde sülfürlü atıkların asit üretme potansiyelleri ile karşı grupta yer alan minerallerin (karbonatlar ve nötrleştirici mineraller) asidi nötrleştirme kapasiteleri arasındaki denge incelenmektedir. Asit Baz Analizi (ABA) olarak adlandırılan test

yaygın olarak kullanılan bir statik testtir. ABA testleri, analiz edilen malzemenin yalnızca toplam asit üretme potansiyelini vermektedir.

Kinetik testler, malzemeye ait oksidasyon sürecinin hızı, asit üretiminin başlaması için gereken süreyi ve sızıntı sularıyla çözeltiye geçerek hareketli hale geçebilecek metallerin salınım hızlarını saptanmaktadır. Bu amaçla, malzeme örneklerinin 20 haftayı aşkın bir süre boyunca hava ve suyla temas ettirilmesi ile kayaçların uzun süreli oksitleşme reaksiyonları simüle edilmektedir. Başka bir deyişle, kinetik testler doğal proseslerin daha kısa zaman süresine sıkıştırılmış bir simülasyonudur.

Bunlara ek olarak, asit kaya drenajının oluşması için aşağıdaki 3 şartın bir arada oluşması gerekir;

1-kayacın kükürt içeriğinin % 0,3'den büyük olması,

2-kükürt içeren kayacın havanın oksijeni ve nem ile temas etmesi,

3-kayacın, oluşan asidi dengeleme kapasitesinin olmamasıdır.

Asit üretme eğilimine sahip numunelerden asit salınım hızının ve bu numunelerde asit üretiminin başlama zamanının belirlenmesinde kinetik testler yapılması gerekmektedir. En sık kullanılan ve kabul gören kinetik testler nem hücreleri, kolonları ve lizimetre/nem işleme ölçeğidir. Bu testler jeokimyasal havalandırma süreçlerini simüle eder ve statik AMD öngörü testlerinin sonuçlarını onaylayabilir ya da bozabilir.

2. ÇUKURALAN ALTIN MADENİNDEKİ AMD ÇALIŞMALARI VE ALINAN ÖNLEMLER

Asit Maden Drenajının karakteristik özelliklerinin içinde düşük pH ve yüksek metal konsantrasyonu ve daha az etkisi olduğu düşünülen askıda katı konsantrasyonu ile çözünmüş katı içeriği çevresel etkiler bakımından üzerinde durulması gereken başlıca parametrelerdir. Bir maden işletmesinde AMD oluşma riski varsa ve gereken tedbirler alınmaz ise asit maden drenajının oluşması ile karşı karşıya kalınması çok doğaldır. Asit Maden Drenajının, maden alanının yakın civarında veya uzakta yer alan yaşam ortamlarına zararlı etkileri olmaktadır. Drenaj sularının kimyasal ve fiziksel özelliklerinin değişkenliği, su ile uzak mesafelere taşınabilirliği, canlıların yaşam alanlarına, suyun karasal canlılarla olan ilişkisi ve toprakla olan etkileşimi etki alanı

içine girmektedir. Çevrenin nasıl etkileneceğinin daha iyi anlaşılabilmesi için asiditenin, tuzlanmanın, metal zehirliliğinin ve çökelme sürelerinin ayrıntılı incelenmesi gerekmektedir.

Koza Altın İşletmeleri'ne ait Çukuralan Altın Madeni İşletmesinde, açık ve yeraltı ocaklarından çıkartılacak cevherin ve ekonomik olmayan kayacın jeokimyasal özelliklerini incelemek, AMD(Asit Maden Drenajı) ve Metal Liçi (ML) potansiyelini değerlendirmek ve alınması gereken çevresel önlemleri belirlemek amacıyla jeokimyasal inceleme ve değerlendirme programı gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen jeokimyasal inceleme ve değerlendirme programında, Çukuralan Altın Madeni İşletme Projesi kapsamında bu güne kadar gerçekleştirilen jeokimyasal çalışmalara ilaveten seçilmiş yeni numuneler üzerinde laboratuvar testleri uygulanmıştır. Çukuralan Altın Madeni İşletmesi için 2008-2010 yılları arasında SRK Consulting tarafından, 2013-2016 yılları arasında GOLDER Associates tarafından çalışmalar yürütülmüştür. Jeokimyasal karakterizasyon ve AKD/ML potansiyelinin belirlenmesi amacıyla 2008, 2010 ve 2013 yılında yapılan analizlerin tamamı birleştirilerek, değerlendirmelerde 82 adet numune kullanılmıştır ve söz konusu firmaların çalışmaları sonucunda bildiriye konu sahadaki uygulamalar ve AMD'nin önlenmesi için gerekli olan çalışmalar belirlenmiştir*(Kaynak: Golder Associates)*.

2.1 Numune Seçimi

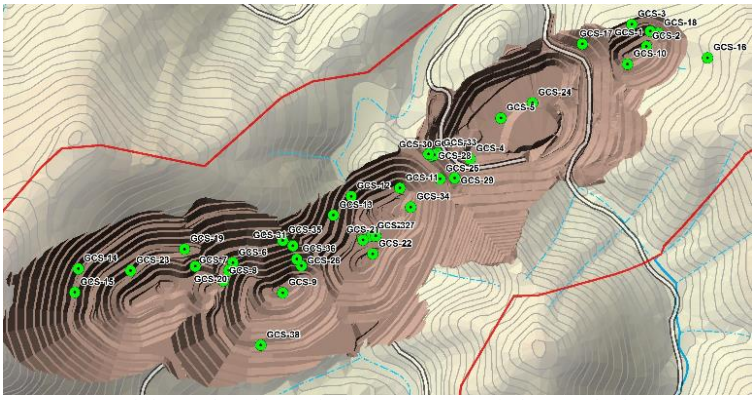
Çukuralan Projesi kapsamında, belirlenen cevher örneklerin de yapılan petrografi çalışmalarına göre, gang mineralleri % 80 oranında kuvars ve %10 oranında karbonattan oluşmaktadır. Altının bir kısmı ise, pirit, galen gibi demir ve kurşun sülfit mineralleri ile birlikte bulunmaktadır.

Çukuralan Altın Madeni İşletmesi'nde gerçekleştirilen numune seçiminde sahada gözlemlenen birimlerin jeokimyasal farklılıklarının incelenmesi amacıyla farklı Altın (Au), Kükürt (S) ve Kalsiyum (Ca) içeriklerine sahip numuneler alınmıştır (Bkz. Şekil 2). Numunelerin pasa alanında depolanacak kayaçları temsil etmesi amacıyla Au tenörünün düşük olmasına ve S ile Ca miktarlarının ise birimlerin alt ve üst seviyelerini temsil edecek şekilde geniş bir aralıkta olmasına önem verilmiştir.

Açık ocak madencilik faaliyetleri oksitli zon içerisinde yapılacak olmasına karşın, ocak tabanında ve zaman zaman ocak içerisinde yüksek sülfürlü zonların

bulunması ve yeraltı madenciliği sırasında cevherli zon içinde ya da yakınında yüksek sülfürlü birimlere rastlanması olasıdır. Bu sebeple örneklerin kükürt aralığı alt ve üst limitleri temsil edecek şekilde belirlenmiştir. Proje alanında gözlenen birimler genel olarak yüksek karbonat içeriğine sahiptir ve bu durum saha çalışması sırasında karotlar üzerinde asit testleri yapılarak denetlenmiştir. Buna rağmen seçilen örneklerin Ca içerik aralığının alt ve üst limitleri temsil etmesi sağlanmış ve bu şekilde nötralizasyon potansiyeli azlığı durumunda herhangi bir AMD potansiyeli olup olmadığı denetlenmiştir. Ofis ve saha çalışmaları sonucunda belirlenen numune metrajları karotlar yarılanarak veya daha önce örneklenmiş metrajlar çeyreklenerek numune alımı gerçekleştirilmiştir. Alınan numuneler torbalanıp uygun koşullarda muhafaza edilerek analiz için SGS Kanada Laboratuvarı'na gönderilmiştir.

Şekil 2. Numune seçimi (a), Karotlardan numune seçimi (b).



Şekil 3. Çukuralan projesi AMD numunesi alınan noktalar

Statik testlere tabi tutulacak örnekler, SGS Kanada tarafından %75'i 2 mm elekten geçecek biçimde kırılmıştır. Ardından bütün örnekler, %85'i 75 µm elekten geçecek biçimde toz haline getirilmiş ve kompozitlenerek homojen hale getirilmiştir. Bu

işlemler sonrası elde edilen nihai numune belirlenen jeokimyasal testlere tabi tutulmuştur *(Kaynak: Golder Associates)*.

Şekil 4. Sondaj karotlarından numune seçimi

2.2. Jeokimyasal Test Programı

Proje alanında SRK Danışmanlık (SRK) tarafından AKD potansiyeli değerlendirmesi amacıyla 2008 ve 2010 yıllarında jeokimyasal karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. 1. test programı 2008-2009 ÇED çalışmaları kapsamında yapılmış olup seçilen numuneler üzerinde statik ve kinetik analizler gerçekleştirilmiştir. 2. Test programında ise ilk analizlerin doğrulanması ve hem jeolojik hem de alansal olarak daha geniş bir kapsamda değerlendirme yapılabilmesi amaçlanmıştır. Test programı 2 kapsamında daha önceden kinetik analizleri tamamlanan litolojiler için ek statik analizler yürütülürken yeraltı ocaklarında gözlenen yüksek propilitik alterasyon bölgesinden alınan numuneler üzerinde de statik analizler gerçekleştirilmiştir (SRK, 2011). Golder tarafından gerçekleştirilen 3. Test programı kapsamında ocakların genişletilmesi planlanan alanlardan ilave örnekler alınmış ve mevcut veri tabanındaki eksiklikler giderilmiş ve jeokimyasal karakteristikler açısından sınıflandırmak amacıyla bir test programı yürütülmüştür. Test programı sonucunda gerçekleştirilen sınıflandırma kayaç tiplerinin madencilik işlemi sırasında asit sızıntıları oluşturma potansiyelleri, Potansiyel Problemli Element (PPE) içerikleri ve sızıntıyla PPE salma potansiyellerinin belirlenmesine dayanmaktadır. Test programı ayrıca işletme ve kapanış tasarımı planlaması için gerekli jeokimyasal modelleme çalışmasına girdi teşkil edecek asit ve metal liçi üretim hızlarının tahminini de sağlamaktadır.

Test programı 1'de Çukuralan maden sahasında rastlanan tüm ana litoloji ve alterasyon tiplerini (Arjilik, killi ve silisik) kapsayacak şekilde gözlenen tüm litolojilerden temsil edici nitelikte 28 kaya numunesi alınmıştır. Alınan EOK(Ekonomik Olmayan Kayaç) numuneleri *(3 Fay Zonu, 4 Granit, 10 Altere Granit, 1 Granit Breş, 1 Altere Granit Breş, 1 Altere Metamorfik Breş, 1 Diğer Breş, 1 Kuvarz Damar, 1 Kuvarz Granit Breş ve 2 eski ocak)* bir dizi statik testlere tabi tutulmuştur. Bunlar, Tam Kayaç Analizi (*Whole Rock Analysis - WRA),* Temas Sızıntı Testleri *(modifiye US EPA 1312),* Asit Baz Muhasebesi *(Acid Base Accounting - ABA)* ve Net Asit Oluşumu *(Net Acid Generation -NAG)* testleridir.

Karakterizasyonu yapılan kaya numuneleri arasından belirlenen 7 numune üzerinde daha detaylı analizler yapılmaktadır. ÇED çalışması kapsamında, devam eden analiz çalışmalarına ait 20 haftalık sonuçlar elde edilmiş ve bunlara dayalı olarak jeokimyasal modelleme ve kavramsal kapanış çalışması başlatılmıştır. Elde edilen sonuçlar nihai kapanış ve ayrıntılı işletme planlamasında kullanılmaktadır.

Asit üretim ve metal liç hızlarının belirlenmesi amacıyla kinetik testlere (Nem Hücresi Testi) tabi tutulan 7 numune, gerçekleştirilmiş sondaj sonuçlarına göre EOK içerisinde daha fazla oranla yer alması beklenen litolojilerden seçilmiştir. Bu numuneler aynı zamanda Asit üretim potansiyeli olduğu belirlenen (PAG) veya asit üretme potansiyeli kesin olmayan (Uncertain) numunelerden seçilmiştir. Test programı 2'de 24 adet numune seçilmiştir. Açık ocak pasa malzeme miktarının yaklaşık %70'ini oluşturması tahmin edilen arjilik olmayan ve düşük propilitik alterasyona sahip granodiyorit ve metamorfiklerin de ayrıntılı olarak incelenmesi sağlanmıştır.

Çukuralan Altın Madeninde devam eden arama faaliyetleri sonucunda projede III. kapasite artışı neticesinde genişletilmesi ve derinleştirilmesi planlanan ana açık ocak ile ek ocakların yer ve özellikleri incelenerek üçüncü test programı tasarlanmış ve seçilen 38 adet yeni numune üzerinde gerekli jeokimyasal testler gerçekleştirilmiştir. Test programı kapsamındaki analizler; İngiltere Cardiff Üniversitesi, Çevre ve Mühendislik Araştırmaları Karakterizasyon Laboratuvarı (CLEER), (ABA, Temas Sızıntı, ve NAG) ve İrlanda Omac laboratuvarlarında (WRA), 40 haftalık nem hücresi testleri ise İngiltere Cardiff Üniversitesi, CLEER laboratuvarında yapılmaktadır. Çukuralan projesi kapsamında gerçekleştirilen jeokimyasal testler doğrultusunda madencilikten

etkilenecek suların, dünyadaki diğer benzer düşük sülfidasyonlu epitermal cevherleşmelere benzer şekilde nötre yakın pH seviyelerinde olması beklenmektedir.

2.3 Çukuralan Altın Madenindeki Amd Kapsamında Alınan Önlemler

Koza Altın İşletmelerine ait Çukuralan Altın Projesi kapsamında yaptırılan, AMD ve Metal Liç çalışmaları sonucunda ağır metal salınımı potansiyelinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Yüksek sülfür içeren özellikle arjilik altere kayaçların içerdikleri sülfür miktarı ile orantılı olarak sülfür minerallerinin oksitlenmesi sonucunda pH seviyelerinde düşüş ve kinetik testlerin ilk haftalarında sülfat konsantrasyonlarında yükselme olasılığı tespit edilmiştir. Fakat pasanın büyük çoğunluğunun propilitik malzemeden oluşacağı ve bu birimlerin genel olarak yüksek nötralizasyon potansiyeline sahip oldukları düşünüldüğünde, madencilik faaliyetleri neticesinde karıştırılarak, ocaklara geri doldurulup pasa yığınlarının gerekli nötralizasyon potansiyeline ulaşması ve pH seviyelerinin nötre yakın tutulması sağlanmaktadır. Pasa malzemesinin karışım halinde depolandığı durumda pasa sahasında asit drenajı oluşumu gözlenmemektedir. Metal salım durumları tüm pasa malzemesi için ayrıntılı olarak değerlendirilerek hem açık ocak hem de pasa depo alanının jeokimyasal olarak modellenmesi sağlanmıştır.

Açık ocağın Güneybatı bölümünün işletimi sırasında çıkarılan pasa malzemesinin önemli bir kısmının ocağın kuzeydoğu bölümünün geri dolumun da kullanılması ile yüzeyde depolanan pasa malzemesinin miktarında azalma sağlanmaktadır. Böylece pasa sahasında pasa yönetimi kolaylaşmakta ve pasa sahası kaynaklı sızıntı suyu miktarında azalma olmaktadır. Faaliyet boyunca pasa malzemesinin su ile temasını minimize etmek amacıyla su yönetimi yapıları kullanılmaktadır. Böylece depo alanında toplanan suların miktarı azalmakta ve memba kısımlarında inşa edilen kuşaklama kanalları ile akış yukarı havzadan gelecek yağmur suları, depo alanına girmeden derelerin mansabına yönlendirilmektedir (Bkz. Şekil a).

Şekil 5. Pasa Malzemesinin yanındaki Kuşaklama Kanalları (a), Pasa Sızıntı Suyu Toplama Havuzu (b)

Doğrudan pasa sahası üzerine düşen ve akışa geçen yağmur suları ise depo alanı üzerindeki drenaj kanalları ile sızıntı suyu toplama havuzuna yönlendirilmektedir (Bkz. 5b). Yığın içerisinden geçen sızıntı suları cazibe ile yığın tabanında oluşturulan drenaj tabakası ve bu tabaka içerisine yerleştirilen drenaj hattı yardımıyla akış aşağıdaki sızıntı suyu toplama havuzuna iletilmektedir. Eğimli bir arazide konumlandırılan pasa depo alanı tabanında sızıntı suyunun ve yüzeyinde yüzey akışlarının istenen şekilde drenajla toplama havuzuna yönlendirilmesi için gerekli tesviyelendirme işlemleri yapılmaktadır.

Pasa depo alanı tabanında kırık çatlak ve yeraltı suyu sızıntısı belirlenen noktalar betonla kapatılmakta ve sızıntı olasılığı düşürülmektedir. Sızdırmaz tabanlı toplama havuzunda biriken suların kimyası, işletme dönemi içerisindeki izleme programı ile askıdaki katı madde ve metal içeriği açısından ve AKD oluşumunu izlemek amacıyla sürekli gözlemlenmektedir. Su örnekleri üzerinde yaptırılan laboratuvar analizleri ile Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde yer verilen parametrelerin konsantrasyonları saptanmaktadır. İşletme süresince sızıntı suyu toplama havuzundaki sular gereken şekilde arıtıma tabi tutularak SKKY deşarj standartlarına uygun şekilde havza dışına deşarj edilmektedir.

Gelişen çevre bilinci, bu paralelde getirilmiş kanunlar, yönetmelikler ve standartlar çerçevesinde yürütülecek madencilik faaliyetlerinde, her türlü önlem başlangıç aşamasında alınacağından, AMD büyük ölçüde problem teşkil etmeyecektir.

3. SONUÇLAR

Doğada gerçekleştirilen insan faaliyetleri, gerekli tedbirler alınmadığında, genellikle tahribat veya kirlilik yoluyla çevre üzerine olumsuz etki yaratma potansiyeline sahiptir. Bunlardan biri olan madencilik sektöründe, sülfürlü metalik mineralleri içeren bir maden yatağında üretim yapılıyorsa, AMD oluşma ihtimali söz konusudur. AMD'nin oluşabilmesi üç temel bileşen olan sülfürlü mineral (pirit), nem ve oksijenin bir araya gelmesine bağlıdır. Zamanında önlem alınmadığında, AMD vasıtasıyla gelişen su kirliliği özellikle sudaki canlılar açısından önemli bir probleme dönüşebilir.

Henüz başlangıç aşamasında, işletmeye ilişkin planlamanın ocağın kapatılmasından sonraki dönemde yapılacakları da kapsaması ve uygulamaya konması en iyi yaklaşımdır. Diğer bir ifadeyle, kaynakta önleme planlamanın bir parçası olup, doğal olarak başarı düzeyi en yüksek çözümdür.

KAYNAKLAR

SRK Danışmanlık ve Mühendislik A.Ş (2011), Çukuralan Altın Madeni İşletmesi 2. Kapasite Artırımı Nihai ÇED Raporu

Mine Environment Neutral Drainage (MEND) (2009) Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials, Report No 1.20.1, CANMET – Mining and Mineral Sciences Laboratories, Smithers, British Columbia, Canada, December 2009.

Golder Associates, Çukuralan Altın Madeni Projesi, Jeokimyasal Karakterizasyon Raporu, 2016

Golder Associates, Çukuralan Altın Madeni İşletmesi 3. Kapasite Artırımı Projesi Nihai ÇED Raporu, 2017

Sülfürlü Madenlerin Sorunu Asit Maden Drenajı ve Çözümleri, Mehmet Karadeniz, 2008

SART PROSESİ İLE SİYANÜR GERİ KAZANIMI

SART PROCESS FOR CYANIDE RECOVERY

Elif YILMAZ*, Fırat AHLATCI, Oktay CELEP, Ersin Y. YAZICI, Hacı DEVECİ

Hydromet B&PM Araştırma Grubu, Cevher-Kömür Hazırlama Anabilim Dalı, Maden Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 61080, Trabzon, TÜRKİYE

*Sorumlu Yazar: elifkoc@ktu.edu.tr

ÖZET: Siyanür liçi, cevherlerden altın kazanımında endüstriyel olarak kullanılan en yaygın proses olmasına karşın seçimli bir işlem değildir. Cevherde bulunan bakır, çinko gibi metaller çözünerek liç performansını olumsuz etkilemekte ve siyanür tüketimini artırmaktadır. Bakır içeriği yüksek (>%0,5 Cu) cevherlerden altın kazanımında kabul edilebilir verimlere ulaşmak için, liç işleminin yüksek siyanür konsantrasyonlarında (CN:Cu oranı >4:1) yapılması gerekmektedir. Bu durum, atık çözeltilerden siyanürün geri kazanımını ekonomik açıdan önemli hale getirmektedir. Bakır içeriği yüksek liç çözeltilerinden siyanürün geri kazanımı için geliştirilen SART Prosesi *(sulphidisation-acidification-recycling-thickening)* günümüzde endüstriyel olarak birçok tesiste uygulanmaktadır. Bu proseste, atık çözeltiye sülfür (S^{-2}) kaynağı olarak Na_2S veya NaHS ilave edilir. Çözelti H_2SO_4 ile asitleştirilerek (pH 4-5) bakırın Cu_2S olarak çöktürülür ve yan ürün olarak elde edilir. Daha sonra, asidik haldeki (pH 4-5) çözeltiye kireç ilave edilerek (pH 10,5-11) siyanür geri kazanılır. Bu çalışmada, bakır içeriği yüksek altın cevherlerinin liçinde karşılaşılan problemler ışığında SART Prosesi'nin özellikleri ve prosesin teknik/ekonomik açıdan değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca, endüstriyel SART Prosesi uygulamalarından örnekler de sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Siyanür liçi, SART prosesi, Altın, Bakırlı altın cevherleri, Siyanür geri kazanımı

ABSTRACT: *Cyanide leaching is the most common process used industrially for the recovery of gold from ores. However, it is not a selective process. Metals such as copper and zinc in the ore also dissolve in cyanide leaching increasing cyanide consumption and adversely affecting leaching performance. It is necessary to maintain*

a high concentration of cyanide (CN:Cu ratio >4:1) in the leaching process in order to achieve acceptable gold recoveries from copper rich ores (>%0,5 Cu). For such ores, the recovery of cyanide from effluents is important for process economics. The SART process (sulphidisation-acidification-recycling-thickening), developed for the recovery of cyanide from leaching solutions with high copper content, is currently exploited industrially in many plants. In this process Na_2S or NaHS as sulphide (S^{-2}) source and then H_2SO_4 (pH 4-5) is added to precipitate/recover copper as by-product (Cu_2S). After copper precipitation, the acidic solution (pH 4-5) is treated with lime (pH 10.5-11) to recover cyanide. In this study, main features and technical/economic aspects of the SART process for the treatment of copper-bearing gold ores were reviewed. In addition, some industrial applications of SART process were also presented.

Keywords: *Cyanide leaching, SART process, Gold, Copper-gold ores, Cyanide recovery*

1. GİRİŞ

Siyanür liçi, cevherlerden altın/gümüş kazanımında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Altının siyanür çözeltisinde çözünmesi (pH 10,5-11; 0,1-1 g/L NaCN) Elsner Denklemi ile Eşitlik (1)'de verilmektedir (Fleming, 1992). Geleneksel siyanür liçinde cevherin mineralojik yapısı ve bileşimine göre siyanür tüketimi 0,25-2 kg NaCN/ton cevher arasında değişmektedir (Marsden ve House, 2006). Ancak cevherler, siyanür liçinde çözünebilen diğer metalleri (Cu, Zn, Fe vb.) de içerdiklerinden dolayı siyanür liçi prosesi seçimli değildir (Bas vd., 2015). Altın cevherlerinde bulunan minerallerden bazılarının siyanür çözeltisinde çözünme reaksiyonları aşağıda verilmiştir (Eşitlik (2)-(5)) (Sceresini, 2005; SGS, 2006; Yılmaz vd., 2016).

$$4Au + 8CN^- + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Au(CN)_2^- + 4OH^- \quad (1)$$

$$Cu_2O + 6CN^- + H_2O \rightarrow 2Cu(CN)_3^{2-} + 2OH^- \quad (2)$$

$$Cu_2S + 7CN^- + 1/2\ O_2 + H_2O \rightarrow 2Cu(CN)_3^{2-} + 2OH^- + CNS^- \quad (3)$$

$$ZnS + 4CN^- \rightarrow Zn(CN)_4^{2-} + S^{2-} \quad (4)$$

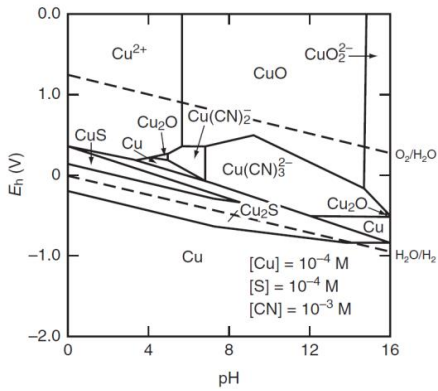
$$FeS + 0{,}5CN^- + H_2O \rightarrow Fe(CN)_6^{4-} + 2OH^- + CNS^- \quad (5)$$

Bakır minerallerinin çoğu siyanür çözeltisinde kolayca çözünme eğilimindedir (Tablo 1) (Marsden ve House, 2006; Bas vd., 2012 ve 2015). Bakır, çözeltide bakır siyanür kompleksleri ($Cu(CN)_n^{-n+1}$) halinde bulunmaktadır (Şekil 1). Bakırın çözünmesine bağlı olarak, yüklü çözeltideki Cu/Au oranı yüksek seviyelere

ulaşmaktadır. Örneğin, bir Azerbaycan cevherinin yığın liçi ile edilen yüklü çözeltideki Cu/Au oranı ~1000 olarak belirlenmiştir (Hedjazi ve Monhemius, 2013).

Tablo 1. Bakır minerallerinin siyanür çözeltisinde çözünürlüğü (%0,1 NaCN, 23°C) (Hedley ve Tabachnick, 1958; Marsden ve House, 2006)

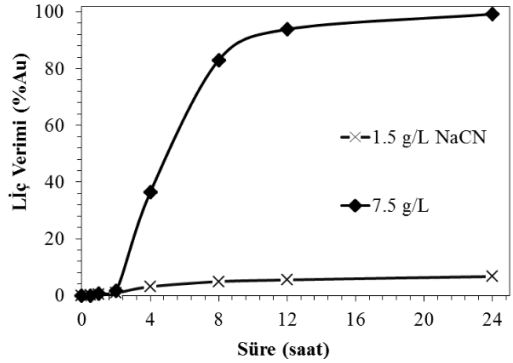
Bakır Mineralleri	Formül	Siyanür Çözeltisinde Bakır Çözünürlüğü (%)
Azurit	$2Cu(CO)_3 \cdot Cu(OH)_2$	94,5
Malakit	$2CuCO_3(OH)_2$	90,2
Kalkozin	Cu_2S	90,2
Kovellin	CuS	-
Bakır	Cu	90
Bornit	$FeS \cdot 2Cu_2S \cdot CuS$	70
Kuprit	Cu_2O	85,5
Kalkopirit	$CuFeS_2$	5,6
Tetrahedrit	$(Cu,Fe,Ag,Zn)_{12}Sb_4S_{13}$	21,9



Şekil 1. Cu-S-CN-H_2O sisteminde bakır için Eh-pH diyagramı (Marsden ve House, 2006)

Bakırca zengin bir cevherden siyanür liçi ile altın kazanımında, her %1 bakır için 30 kg/ton cevher kadar sodyum siyanür tüketilmektedir (Muir, 2011; Bas vd., 2015). Cevherin bakır içeriğinin artışına bağlı olarak, siyanür tüketimi de artmakta ve liç işleminin yüksek siyanür konsantrasyonlarında gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Şekil 2). Yüksek siyanür tüketimi liç işlemini ekonomik açıdan olumsuz yönde etkiler (Mudder ve Botz, 2001; Sceresini, 2005; Oraby vd., 2017; Tao vd., 2001). Bazı bakır minerallerinin siyanür çözeltisindeki çözünürlükleri Tablo 1'de verilmiştir.

Artan siyanür tüketiminin yanı sıra bakır siyanür kompleksleri aktif karbon adsorpsiyonu işlemini de olumsuz yönde etkiler. Benzer şekilde, çinko sementasyon işleminde bakır altın ile birlikte çökelerek çinko tüketimini artırır ve ürünün kirlenmesine neden olur (Alonso-González vd., 2009 ve 2013).



Şekil 2. Bakır içeriği yüksek bir altın cevherinin liçinde siyanür konsantrasyonunun etkisi (Baş vd., 2015)

Dünya altın üretiminin önemli bir kısmı (>%20), bakır içeren altın cevherlerinden gerçekleştirilmektedir (Fleming, 2011). Bakır içeriği yüksek altın cevherlerinden altın kazanımının artmasına bağlı olarak, bu tür cevherlerin siyanür liçinde karşılaşılan sorunlar daha çok gündeme gelmiştir (Fleming, 2011; Nodwell vd., 2012). Ülkemizde de Çöpler (Çukurdere, Erzincan) 1,4 g/t Au, %0,03-3,9 Cu; Efemçukuru (İzmir) 61,5 g/t Au, %0,35 Cu; Mastra (Gümüşhane) 12,13 g/t Au, ~%1,1 Cu; Gümüşhane (Artvin) 0,3 g/t Au, %0,3 Cu ve Cerattepe (Artvin) 4,2 g/t Au, %5,2 Cu içeriklerine sahip altın cevherleri bakır içeriği yüksek cevherler olarak değerlendirilebilir (Celep vd., 2013).

Çevresel ve insan sağlığı açısından zararlı olan siyanür içeren atıkların depolanması için de bazı yasal sınırlamalar bulunmaktadır. Birçok çevre koruma ajansı atık suların deşarjı için sınırlayıcı limitler belirlemişlerdir. ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA) içme suyunda bulunabilecek siyanür limitini 50-200 ppb toplam siyanür (serbest ve metal siyanür kompleksleri ile birlikte) olarak belirlemiştir (Dash vd., 2009; USEPA, 1985). Siyanür, siyanat, tiyosiyanat, metal siyanür kompleksleri ve siyanür tuzları gibi farklı formlarda bulunmaktadır ve bu türler arasında en tehlikeli olanı hidrosiyanik asittir (HCN) (Dash vd., 2008). Atık çözeltilerdeki siyanürün uzaklaştırılabilmesi için INCO SO_2/Hava Prosesi, alkali klorlama, bakır katalizörlü hidrojen peroksit, karo asidi, iyon değişimi, aktif karbon adsorpsiyonu ve biyolojik bozundurma gibi yöntemler kullanılmaktadır (Akçil, 2003). Siyanürün uzaklaştırılmasında kullanılan fiziksel ve kimyasal yöntemlere nazaran biyolojik yöntemler daha ekonomiktir. Bakteriler siyanürü nitrojen ve karbon kaynağı olarak

kullanmaktadırlar (Dash vd., 2009). Tablo 2'de bu yöntemlere ait avantaj ve dezavantajlar verilmektedir.

Tablo 1. Bazı siyanür uzaklaştırma yöntemlerinin özellikleri (Dash vd., 2009'den derlenerek)

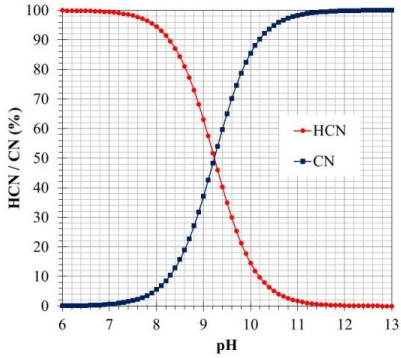
Uzaklaştırma Yöntemi	Avantajları	Dezavantajları
Biyolojik Oksidasyon /Biyo-bozundurma	-Doğal olarak gerçekleşir -Toplam liç çözeltisinin hacmi azaltılabilir -Nispeten ucuzdur -Başka bir atık üretmeden siyanür uzaklaştırılabilir -Kimyasal taşıma ekipmanı ve pahalı kontrol sistemleri gerektirmemektedir -Zararlı yan ürün oluşumu yoktur	-Teknolojisi yeterince tanımlanmamıştır -Metalürji, biyoloji ve proses mühendisliklerinin ortaklaşa çalışmalarını gerektirir -Yüksek konsantrasyonlarda etkin değildir
Alkali Klorlama (Yazıcı, 2005)	-Ağır metaller metal hidroksit şeklinde çöktürülür -Tiyosiyanat siyanata oksitlenir -Siyanür derişimi <0,5 mg/L'ye indirilir -SO_2/Hava ve H_2O_2 proseslerinde katalizör olarak kullanılan bakıra bu proseste ihtiyaç yoktur	-Siyanürün bozundurulduğu için tekrar kullanılamaz -Atık çözeltideki siyanür miktarına bağlı olarak kullanılması gereken reaktif miktarı da artmaktadır -Zararlı bir gaz olan siyanojen klorür gazının (CNCl) oluşumunun önlemek amacıyla çözeltinin pH'sı 10'un üzerinde tutulmalıdır -İşlem sonrası açığa çıkan klorin ve klor aminleri çözeltiden uzaklaştırmak gereklidir -İlave arıtma gerekebilir
Hidrojen Peroksit	-Zararlı ara ürün oluşumu gözlenmez -Göreceli olarak kullanımı basittir -Siyanürün çevresel açıdan uygun seviyelere indirildiği bir prosestir	-Pahalı bir reaktiftir -Bakır ile ferrosiyanürün çökelmesi durumunda çökelek bertaraf edilmelidir -Hassas dozajlama gerekir
INCO SO_2/Hava Prosesi	-Reaktif çok ucuzdur -Sulu çözelti ve pulpe uygulanabilir -Geniş bir pH aralığında kullanılabilir -Zararlı ara ürün oluşturmamaktadır	-Arıtılmış suyun sülfat miktarını artmasına neden olur - Bakır ile ferrosiyanürün çökelmesi durumunda çökelek bertaraf edilmelidir
Elektro kazanım	-Konsantre çözeltilerde iyi sonuçlar vermektedir -Altın prosesleri için elverişlidir	-Kontrol gerektirir -Doğrudan kullanılmaz -Serbest siyanür ayrılır -Düşük konsantrasyonlar için uygun değildir
Demir Siyanür Şeklinde Çöktürme	-Yaygın olarak kullanılmaktadır -Madencilik endüstrisi için uygundur	-Uygulanabilirliği sınırlıdır -Yalnızca düşük siyanür konsantrasyonları için uygundur -pH değerinin kontrol altında tutulması zordur -Çökeltinin bertaraf edilmesi zorunludur
Aktif Karbon Adsorpsiyonu	-Etkin bir yöntemdir -Saflaştırma prosesi olarak kullanılmaktadır	-Pahalıdır -İyi bir aktif karbon muamelesi gerektirir -Düşük konsantrasyonlarında etkindir -Çoğu zaman ön muamele gerektirir
Reçineler	-Etkin bir yöntemdir	-Ön işlem gerektirir -Uygun reçineyi bulmak zordur
Karo Asidi	-Etkin bir yöntemdir -INCO SO_2/Hava Prosesi için uygun olmayan yerlerde kullanılır	-Kurulu bir teknolojisi yoktur -Karo asidi, oksijen ve sülfürik aside kolayca ayrışabildiği için kontrolü zordur -Her tesis için uygun değildir

Siyanür bozundurma yöntemleri kullanılması durumunda hem siyanürün geri kazanımı gerçekleştirilmez, hem de çevresel açıdan risk oluşturan bir atık depolanmak zorunda kalınır. Siyanürün geri kazanımı ile birlikte bozundurma ve siyanür maliyetleri azaltılabilir ve bakır sülfür gibi satılabilir bir yan ürün elde edilir (SGS, 2013).

Siyanür geri kazanımı için geliştirilen proseslerden bazıları AVR (*acidify, volatilize, reneutralize*) ve temeli bu yönteme dayalı diğer yöntemler (Cyanisorb gibi), SART (*sulphidisation, acidification, recycling, thickening*), Hannah ve AuGMENT prosesleridir (SGS, 2010). Bunların yanında aktif karbon adsorpsiyonu (Breuer vd., 2005; Dai ve Breuer, 2009; Deveci vd., 2006; Yazıcı vd., 2009), iyon değişimi (Fernando vd., 2005; Strangfeld, 2000) ve solvent ekstrasiyon (Xie ve Dreisinger, 2009; Xie, 2010) gibi yöntemler de araştırılmıştır. İyon değişimi yöntemi özellikle sıyırma sırasında karşılaşılan sorunlar (Xie, 2010), reçinelerin maliyetinin yüksek olması (Ritcey, 2005), bakır içeriğinin yüksek olması durumunda elektro-kazanım prosesinde akım veriminin düşük olması ve enerji tüketiminin yüksek olması (Dai vd., 2012; Xie vd., 2013) gibi olumsuzluklar nedeniyle kullanımı sınırlıdır. Günümüzde yüksek teknolojik ekipman gerektiren, ekipman boyutları büyük ve reaktif tüketiminin fazla olduğu (Estay vd., 2014) SART Prosesi, bakır içeren cevherlere uygunluğu ve tesis maliyetlerini yaklaşık 2 yıl gibi kısa bir sürede karşılaması avantajlarından dolayı tercih edilen yöntemlerden birisi haline gelmiştir.

2. SART PROSESİ

SART prosesi sülfürleştirme, asitleştirme, siyanürün geri kazanımı ve katı/sıvı ayrımının yapıldığı dört aşamadan oluşmaktadır (Estay vd., 2010). Eşitlik (6)'da sülfürleştirme ve asitleştirme aşaması ve Eşitlik (7)'de nötralizasyon aşamasında gerçekleşen reaksiyonlar verilmiştir (Stewart ve Kappes, 2012). SART prosesi berrak çözeltiler için uygun bir prosestir. CIP/CIL devresi sonundaki çözeltiler veya yığın liçi sonrasında oluşan çözeltilere uygulanabilen bu proseste, ilk olarak çözeltiye sülfür (Na_2S veya genellikle NaHS olarak) ilave edilir ve işlem başlamış olur. Sülfür ilave edilen çözeltiye sülfürik asit (H_2SO_4) eklenerek pH 4-5 civarına indirilir. pH değişimine bağlı olarak çözeltide siyanür iyonu (CN^-) azalmakta ve hidrojen siyanür (HCN) artmaktadır (Şekil 3) (Priyadarshan, 2000; Mudder vd., 2001).



Şekil 3. HCN ve CN^- oranlarının (%) pH' ya göre değişimi (25°C)

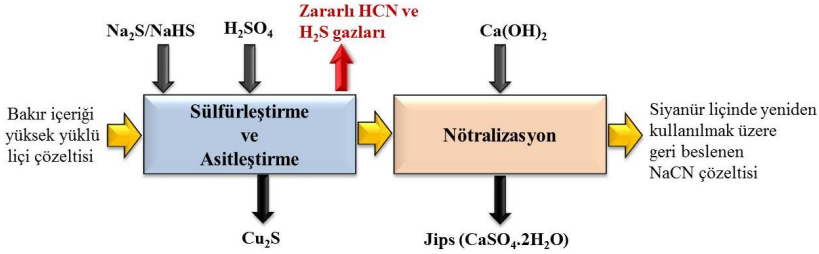
Çözeltideki bakır siyanür kompleksi, ortamdaki sülfür ile reaksiyona girerek, bakırın Cu_2S şeklinde satılabilir ürün olarak çökmesi sağlanır (Eşitlik (6)). Katı/sıvı ayrımı ile bakır çökeleği ayrılır ve sonra boş çözeltinin pH'sı kireç veya NaOH ilavesiyle 10,5-11 civarına yükseltilir (Şekil 4). Bu işlemler sırasında çözeltinin asitleştirilmesi ile birlikte oluşan HCN, alkali çözeltide NaCN veya $Ca(CN)_2$ formuna dönüştürülür (Eşitlik (7)) (Fleming, 2011; Estay vd., 2012; Xie vd., 2013; Ford vd., 2008). Proseste bakırla birlikte, çözeltide bulunan çinko ve gümüş de çökmektedir (Eşitlik (8)-(9)) (Ford vd., 2008). Tablo 3'te bir SART prosesinin avantaj ve dezavantajları verilmiştir.

$$2\ Cu(CN)_3^{2-}{}_{(aq)} + S^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow Cu_2S_{(s)} + 6\ CN^-{}_{(aq)} \qquad (<pH\ 5{,}0) \qquad (6)$$

$$2\ HCN_{(aq)} + Ca(OH)_2/NaOH \rightarrow Ca(CN)_2/NaCN_{(aq)} + 2H_2O \qquad (7)$$

$$2Ag(CN)^{2-} + S^{2-} + 4H^+ \rightarrow Ag_2S + 4HCN \qquad (8)$$

$$Zn(CN)_4^{2-} + S^{2-} + 4H^+ \rightarrow ZnS + 4HCN \qquad (9)$$



Şekil 4. SART prosesinin şematik akım şeması (Nodwell vd., 2012'den değiştirilerek)

Asitleştirme sırasında oluşan hidrojen siyanür (HCN) (Şekil 3) ve hidrojen sülfür (H_2S) gazlarının toksik özelliğe sahip olması nedeniyle bu işlem kapalı-sızdırmaz

tanklarda gerçekleştirilmektedir. Ayrıca sülfür kaynağı olarak kullanılan Na_2S/NaHS'ün ilavesinin çözeltide tiyosiyanat (SCN^-) oluşumunu önlemek amacıyla kontrollü şekilde yapılması gerekmektedir (Dai vd., 2012; Fleming, 2011). Bunun yanında sülfür iyonları cevherdeki altının yüzeylerinin pasifleşmesine neden olabilmektedir (Marsden ve House, 2006).

Tablo 3. SART prosesinin avantaj ve dezavantajları (Botz vd., 2011; Breuer vd., 2005; Dai vd., 2012; Deveci vd., 2006; Fleming, 2011, 2003; Marsden ve House, 2006; Mudder ve Botz, 2001; Ritcey, 2005; Stewart ve Kappes, 2012; SGS, 2009; Xie vd., 2013)

Avantajlar	Dezavantajlar
• Bakır içeren çözeltiler için uygun bir proses • Yığın liçi prosesi çözeltilerine uygun • Satılabilir yan ürün eldesi mümkün • Yüksek siyanür geri kazanım oranlarına (>%95) ulaşmak mümkün	İşletme maliyeti yüksek. Çöktürme aşamasında altın kayıpları mümkün (çökelekte ≤36 g/t Au). Berrak çözeltilere uygulanabilir. Çinko vd. metaller de çökerek Na_2S/NaHS tüketimini artırır. Na_2S/NaHS ilavesi hassas kontrol gerektirir. Zararlı HCN ve H_2S gazları oluşumu, Yüksek asit (>pH 10,5'dan pH 4-5'e) ve baz tüketimi (nötralizasyon aşaması). Asitleştirme kapalı-sızdırmaz tanklarda gerçekleştirilmelidir.

3. SART PROSESİ TESİS UYGULAMALARI

SART prosesi ilk olarak Lakefield Research şirketi (Kanada) tarafından 1997 yılında geliştirilmiştir (Ford vd., 2008). Telfer altın madeninde (Avustralya) bakır içeriğinin 128 g/ton'dan 1418 g/ton'a (1998-2001 yılları arasında) artması ile birlikte tesiste tüketilen siyanür miktarı da artmıştır. Tesiste düşük ve yüksek tenörlü bakır içeren kısımlar harman yapılarak kullanılmıştır. Bir diğer alternatif olarak tesisi düşük siyanür konsantrasyonunda çalıştırmak amacıyla CIL devresine aktif karbon ekleyerek bakırın uzaklaştırılması denenmiştir. Başlangıçta uygulanabilse de artan bakır içeriği ile birlikte daha etkin ve kesin yöntemlere ihtiyaç duyulmuştur. Çünkü atık barajında depolanan siyanürün kontrolü zorlaşmış ve çevresel açıdan istenen seviyelere indirilmesi çalışmalarının da maliyeti artıracağı belirlenmiştir. Bu sebeple işletme ve ilk yatırım maliyeti düşük, kullanılabilir, güvenli ve risk düzeyi düşük yöntemlerin araştırılmasına gidilmiş ve SART prosesinin uygun olduğu tespit edilmiştir (Barter vd., 2001).

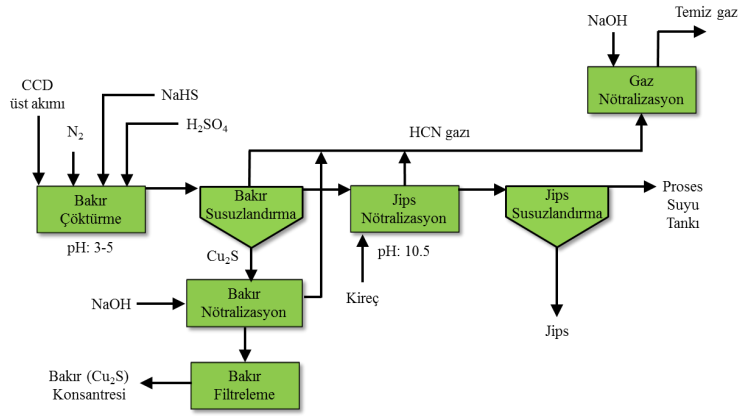
Bakır içeren çözeltinin (>300 ppm, 750 m^3/s) işlenebileceği ikinci büyük tesis olan Maricunga tesisi Kinross Gold Company tarafından işletilmektedir. SART prosesi yığın liçi çözeltilerine etkin şekilde uygulanabilecek bir yöntemdir (Ford vd., 2008). Tablo 4'te Dünya'daki SART tesislerinin kapasiteleri, bulundukları ülkeler ve siyanür (ve bakır) geri kazanım oranları sunulmuştur. SART prosesinde işletme giderlerinin

%30'luk kısmını asitleştirme ve nötralizasyon aşamasının oluşturduğu belirlenmiştir. Ancak 380 ppm bakır içeren bir çözeltinin işlendiği SART tesisi yapılan ilk yatırım maliyetini yaklaşık olarak 2 yıl gibi bir sürede geri ödemektedir (Ford vd., 2008). Ülkemizde Mastra (Gümüşhane) ve Çöpler (Erzincan) yer alan bakır içeren altın cevherlerine yapılan siyanür liçinde düşük verimler elde edilmesi ve siyanür tüketiminin yüksek olması nedeniyle bu tesislerde SART prosesi için tesis kurulmuştur (Bascombe vd., 2013; Nodwell vd., 2012).

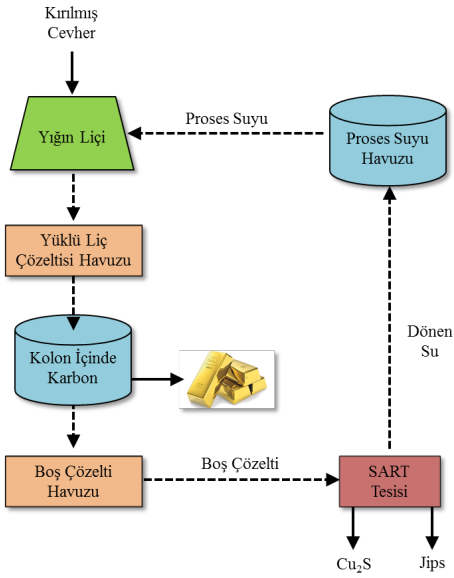
Tablo 4. SART tesisleri (Cuenca vd., 2012; Adams, 2013).

Tesis	Kapasite (m^3/h)	Cu (mg/L)	CN geri kazanımı (%)	Cu kazanımı (%)
Mastra (Türkiye)	120	1500	80	99
Telfer (Avustralya)	40	1000	-	90
Yanacocha (Peru)	1200	1000	65	70
Lluvia de Oro (Meksika)	340	150	70	95
Gedabek (Azerbaycan)	140	800	-	95
Maricunga (Şili)	750	450	-	80

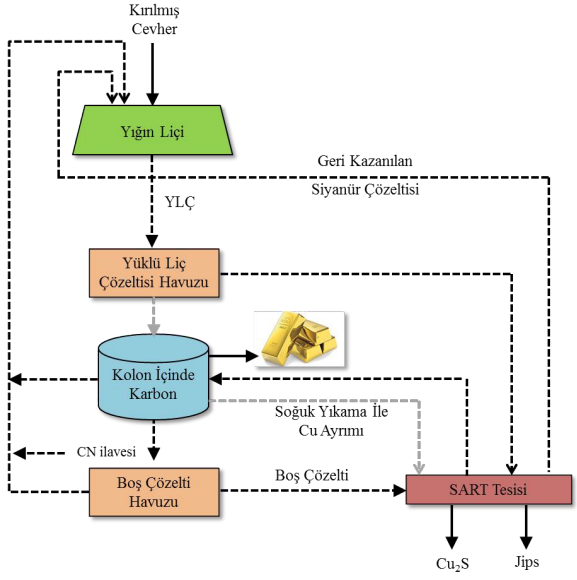
Ticari ölçekte SART prosesinin uygulandığı ülkemizde kurulmuş olan Mastra altın madenindeki SART tesisi Şekil 5'te, Meksika'da yer alan Columbia Metals Corporation Ltd. şirketine ait Lluvia de Oro SART tesisi Şekil 6'da ve Şili'de bulunan Maricunga SART tesisi Şekil 7'de verilmiştir. Tesislerde liç sonrası berrak çözeltiden siyanür geri kazanılmaktadır. Maricunga tesisinde saatlik 750 m^3 çözelti işlenecek şekilde kurulmuştur (Adams, 2013). Tesislerde bakır kazanım verimleri >%80 iken siyanür geri kazanım verimleri ise %65'in üzerindedir (Cuenca vd., 2012; Adams, 2013).



Şekil 5. Mastra altın madeninin SART prosesi akım şeması (Koza Altın İşletmeleri, 2011)



Şekil 6. Lluvia de Oro tesisi SART prosesi akım şeması (Adams, 2013)



Şekil 7. Maricunga tesisi SART prosesi akım şeması (Adams, 2013)

4. SONUÇLAR

Siyanür liçinin seçimli olmaması nedeniyle, özellikle bakır içeren (>%0,5 Cu) altın cevherinin liçinde önemli sorunlar yaşanmaktadır. Cevherde bakır minerallerinin varlığında (altın konsantrasyonuna nazaran yaklaşık 100 kat daha fazla bakır içermekte)

liç işleminin gerçekleşebilmesi için kullanılacak olan siyanür tüketimi %1 Cu içeren bir altın cevheri için normal koşullara göre 26-206 kat daha fazla olmaktadır. Bu şekilde işletilen bir tesisin işletme maliyetleri ve çevresel açıdan siyanür miktarının istenilen seviyelere indirilebilmesi için bozundurma maliyetleri oldukça yüksek olmaktadır. Tesis maliyetlerini düşürmek ve bozundurularak kaybedilen siyanürün tekrar tesiste kullanılabilmesini sağlamak amacıyla siyanürün geri kazanılması önemli olmaktadır. Bakır içeren cevherler için uygun olması, bakırın satılabilir ürün olarak elde edilmesi ve yapılan yatırımın kısa bir süre sonra karşılanması gibi avantajları nedeniyle endüstriyel ölçekte SART prosesi uygulanmaktadır. SART prosesi, yaygın kullanımına rağmen reaktif (özellikle asit/baz) sarfiyatının yüksek olması, asitleştirme işleminin kapalı-sızdırmaz ortamlar gerektirmesi, Na_2S/NaHS ilavesinin hassas kontrol gerektirmesi ve işlem sırasında altın kayıplarının oluşması gibi bazı teknik/ekonomik dezavantajlara da sahiptir. SART prosesi, yüksek siyanür geri kazanımı (>%95'e varan) sağlayabilmesi nedeniyle birçok bakırlı altın işleyen tesiste tercih edilmektedir.

KAYNAKLAR

Adams, M.D., 2013. Impact of recycling cyanide and its reaction products on upstream unit operations. Minerals Engineering, 53: 241–255.

Akçil, A., 2003. Destruction of cyanide in gold mill effluents: biological versus chemical treatments. Biotechnology Advances, 21: 501–511.

Alonso-González, O., Nava-Alonso, F.A. Uribe-Salas, 2009. Copper removal from cyanide solutions by acidification. Minerals Engineering, 22: 324-329.

Alonso-González, O., Nava-Alonso, F., Jimenez-Velasco, C., Uribe-Salas A., 2013. Copper cyanide removal by precipitation with quaternary ammonium salts. Minerals Engineering, 42: 43–49.

Barter, J., Lane, G., Mitchell, D., Kelson, R., Dunne, R., Dreisinger, 2001. Cyanide management by SART, cyanide: social industrial and economics aspects, T. Young (Ed.), TMS Annual Meeting, New Orleans, Louisiana, USA.

Bas, A.D., Koc, E., Yazici, E.Y., Deveci, H., 2015. Treatment of copper-rich gold ore by cyanide leaching, ammonia pretreatment and ammoniacal cyanide leaching. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 25: 597−607.

Bas, A.D., Yazici, E.Y., Deveci, H., 2012. Treatment of a copper - rich gold ore by ammonia assisted cyanide leaching, XXVI International Mineral Processing Congress (IMPC) 2012 Proceedings / New Delhi, INDIA / 24 - 28 September, Paper No. 394.

Bascombe, L., Mach, L., Altman, K.A., 2013. Technical report on the Çöpler mineral resource update Erzincan province (Turkey), Canadian National Instrument Technical Report, ALACER GOLD, pp.43-101.

Botz, M., Kaczmarek, A., Orser, S.,2011. Managing Copper in Leach Solution at the Çöpler Gold Mine: Laboratory Testing and Process Design, Miner. Met. Process. J., 28; 133–138.

Breuer, P.L., Jeffrey, M.I., Dai, X., 2005. Leaching and recovery of copper during the cyanidation of copper containing gold ores, Deschenes, G., Hodounin, D., Lorenzen, L. (Eds.), Treatment of Gold Ores - First Int. Symp., 44. Annual Conference of Metallurgists of CIM. Alberta, Canada, pp 279–293.

Celep, O., Yazıcı, E.Y., Ehsani, A., Deveci, H., 2013. Yayınlanmamış veriler.

Cuenca, H.E., Febre P.C. and House, F.A., ARCADIS, 2012. The SART process: an attractive technology to recover copper and cyanide from gold mining, 2. International Workshop, 12-13 April 2012, Santiago-Chile.

Dai, X., Breuer, P.L., 2009. Cyanide and copper cyanide recovery by activated carbon, Minerals Engineering, 22: 469–476.

Dai, X., Simons, A., Breuer, P., 2012. A review of copper cyanide recovery technologies for the cyanidation of copper containing gold ores, Minerals Engineering, 25: 1–13.

Dash, R.R., Gaur, A., Balomajumder, C., 2009. Cyanide in industrial wastewaters and its removal: A review on Biotreatment. Journal of Hazardous Materials, 163: 1-11.

Dash, R.R., Majumder, C.B., Kumar, A.. 2008. Treatment of metal cyanide bearing wastewater by simultaneous adsorption biodegradation (SAB). Journal of Hazardous Materials, 152: 387–396.

Deveci, H., Yazıcı, E.Y., Alp, I., Uslu, T., 2006. Removal of cyanide from aqueous solutions by plain and metal-impregnated granular activated carbons, International Journal of Mineral Processing, 79: 198–208.
Estay, H., Arriagada, F., Bustos, S., 2010. Design, development and challenges of the SART process, HYDROPROCESS 2010, 3rd International Workshop on Process Hydrometallurgy, 11-13 August 2010, Santiago, Chile.

Estay, H., Becker, J., Carvajal, P., Arriagada, F., 2012. Predicting HCN gas generation in the SART process. Hydrometallurgy, 113–114: 131–142.

Estay, H., Troncoso, E., Romero, J., 2014. Design and cost estimation of a gas-filled membrane absorption (GFMA) process as alternative for cyanide recovery in gold mining. Journal of Membrane Science 466: 253–264.

Fernando, K., Tran, T., Zwolak, G., 2005. The use of ion exchange resins for the treatment of cyanidation tailings. Part 2-Pilot Plant testing, Minerals Engineering, 18: 109–117.

Fleming, C.A., 1992. Hydrometallurgy of precious metals recovery. Hydrometallurgy, 30: 127–162.

Fleming, C.A., 2011. Dealing with cyanide-soluble copper in the gold mining industry, Fray International Symposium on Metals and Materials Processing in a Clean Environment, 27 Nov-01 Dec, Mexico, pp.173–190.

Ford, K.J.R., Henderson, R.D., Flemıng, C.A., 2008. Application of the SART process to heap leaching of gold-copper ores at Maricunga, Chile, 40th Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors, Canada.

Hedjazı, F., Monhemius, A.J., 2013. Copper-Gold Ore Processing with Ion Exchange and SART Technology at Anglo Asian's Gedabek Mine in Azerbaijan, in: 23rd International Mining Congress & Exhibition of Turkey (IMCET), 16-19 Nisan. Antalya, Türkiye, pp. 1385–1393.

Hedley, N., Tabachnick, H., 1958. Chemistry of cyanidation, mineral dressing notes, No.23. American Cyanamid Company.

Koza Altın İşletmeleri Tesis Bilgilendirme Sunumu, 15 Kasım 2011.

Kozin, L.F., Melekhin, V.T., 2004. Extraction of gold from ores and concentrates by leaching with the use of cyanides and alternative reagents, Russian Journal of Applied Chemistry, 77 (10): 1573-1592.

Marsden, J., House, I., 2006. The chemistry of gold extraction, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, USA.

Mudder, T.I.. Botz, M.M.. 2001. Treatment and recovery of cyanide chemistry and treatment of cyanidation wastes, Second Edition, Chapter 306, pp. 307–314.

Muir, D.M., 2011. A review of the selective leaching of gold from oxidised copper–gold ores with ammonia–cyanide and new insights for plant control and operation. Minerals Engineering, 24: 576–582.

Nodwell, M., Kratochvil, D., Lopez, O., 2012. Risk management and mitigation for the SART copper cyanide recovery process, HYDROPROCESS 2012, 4th International Seminar on Process Hydrometallurgy, 12-13 July, Santiago, Chile, pp. 1-7.

Oraby, E.A., Eksteen. J.J., Tanda, B.C., 2017. Gold and copper leaching from gold-copper ores and concentrates using a synergistic lixiviant mixture of glycine and cyanide. Hydrometallurgy. 169: 339–345.

Priyadarshan, G. 2000. Removal and Stabilization of Cyanide from Process Waters. Reno: University of Nevada.

Ritcey, G.M., 2005. Tailings management in gold plants, Hydrometallurgy, 78: 3–20.

Sceresini, B., 2005. Gold-Copper Ores, M.D. Adams and B.A. Wills (Eds.), Developments in Mineral Processing, Elsevier, 789–824.

Sceresini, B.. 2005. Gold-copper ores. In: Mike D. Adams and B.A. Wills (Eds.), Developments in Mineral Processing. Elsevier, Chapter 15, pp. 789-824.

SGS Mınerals Servıces, 2013. Cyanide Recovery, T3 SGS 019 11-2013.

SGS, 2006. Gold processing, SGS Minerals Services.

SGS, 2009. Cyanide Recovery, Technical Paper, No. T3 SGS 019, SGS Minerals Services.

Stewart, M., Kappes, D., 2012. SART for copper control in cyanide heap leaching, SAIMM, 112: 1037–1043.

Strangfeld, V.K., 2000. The Recovery of Metal Cyanides by Ion Exchange Resins, Yüksek lisans tezi, Cape Technikon, Cape Town.

Tao, J., Yu-zu, Z., Yong-bin, Y., Zhu-cheng, H., 2001. Influence of copper minerals on cyanide leaching of gold. Journal of Central South University of Technology. 8/1, 24–28.

USEPA (Environ. Protection Agency U.S.), 1985. Drinking water criteria document for cyanide, Environment Criteria and Assessment Office, Cincinnati, EPA/600/X- 84-192-1.

Xie, F., 2010. Solvent Extraction of Copper and Cyanide from Waste Cyanide Solution, Doktora Tezi, UBC, Kanada.

Xie, F., Dreisinger, D., Doyle, F., 2013. A review on recovery of copper and cyanide from waste cyanide solutions, Mineral Processing & Extractive Metallurgy Review, 34: 387–411.

Xie, F., Dreisinger, D., 2009. Studies on solvent extraction of copper and cyanide from waste cyanide solution, Journal of Hazardous Materials, 169: 333–338.

Yazıcı, E.Y., 2005. Atık Sulardaki Siyanürün Hidrojen Peroksit, Aktif Karbon Adsorpsiyonu ve Ses Ötesi Dalgalarla Uzaklaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Yazıcı, E.Y., Deveci, H., Alp, I., 2009. Treatment of cyanide effluents by oxidation and adsorption in batch and column studies, Journal of Hazardous Materials, 166: 1362–1366.

Yilmaz, E., Ahlatci, F., Kuzu, M., Yazici, E.Y., Celep, O., Deveci, H., 2016. Removal of zinc from cyanide leach solutions, International Black Sea Mining and Tunnelling Symposium, Trabzon, Türkiye, 2-4 Kasım, pp. 447-454.

CEVHER ZENGİNLEŞTİRME ARTIKLARININ ÇEVRESEL ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASINDA KULLANILAN KİNETİK KOLON YÖNTEMİ ÜZERİNE GENEL BİR DEĞERLENDİRME

GENERAL EVALUATION ON THE KINETIC COLUMN METHOD USED TO INVESTIGATE THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF MINERAL PROCESSING TAILINGS

Ataç BAŞÇETİN, Hasan EKER*, Serkan TÜYLÜ, Deniz ADIGÜZEL

İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: hasan.eker@istanbul.edu.tr

ÖZET: Endüstriyel gelişimin en önemli ve vazgeçilmez sektörlerinden biri olan madenciliğin beraberinde getirdiği bazı çevresel sorunlar bulunmaktadır. Bu sorunların en başında yerüstü ya da yeraltı faaliyetlerinden çıkarılan cevherin, zenginleştirme aşamalarından geriye kalan artık malzemesinin çevresel açıdan güvenilir bir şekilde depolanabilmesi gelmektedir. Özellikle sülfür minerallerini içeren artıkların sebep olabileceği, asit maden drenajının (AMD) önüne geçebilmek için alternatif depolama yöntemleri geliştirilmiştir. Bu kapsamda AMD riskini belirlemeye yönelik olarak uygulanan farklı statik ve kinetik testler mevcut olup bu testler arasında laboratuvar ortamında depolama modelini sahadakine göre en yakın uygulama imkanı veren kinetik kolon testi ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada sülfürlü cevher artıklarının çevresel açıdan değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerden biri olan kinetik kolon yöntemi ile yapılan çalışmalardan örnekler verilmiş ve benzer çalışma sonuçları kendi aralarında karşılaştırılarak bu yöntemin AMD testi açısından katkısı ortaya konulmuştur. Böylece proses artıklarının depolanmasında kullanılabilecek en uygun yönteme karar verilmesinde kinetik kolon yönteminin önemi ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kinetik kolon, Artık, Asit maden drenajı, Sülfürlü cevher

ABSTRACT: *There are major environmental problems caused by mining activities, while the mining is one of the most important and irreplaceable sectors for industrial development. The leading one of these problems is storing of the tailings, remaining*

from mineral processing operations of the ores which is extracted with surface or underground operations, safely in terms of environmental aspects. Alternative storage methods have been developed to prevent acid mine drainage (AMD), which can be caused especially by sulfur-mineral-containing tailings. In this context, there are different static and kinetic tests to determine the AMD risk. Among these tests the kinetic column test, which gives optimum application opportunity of the storage model at laboratory conditions in respect to field studies, comes to the forefront.

In this study, various examples of the kinetic column method which is one of the methods used in the environmental evaluation of the sulfide tailings were given and the contribution of this method was revealed in terms of AMD test by comparing the results of the similar studies. Therefore, the importance of the environmental effects in choosing the most suitable method for the storage of the tailings was revealed.

Keywords: *Kinetic column, Tailings, Acid mine drainage, Sulfurized ore*

1. GİRİŞ

Endüstriyel gelişimin en önemli ve vazgeçilmez sektörlerinden biri olan madenciliğin beraberinde getirdiği bazı çevresel sorunlar bulunmaktadır. Bu sorunların en başında yerüstü ya da yeraltı faaliyetlerinden çıkarılan cevherin, zenginleştirme aşamalarından geriye kalan artık malzemesinin çevresel açıdan güvenilir bir şekilde depolanabilmesi gelmektedir. Özellikle sülfür minerallerini içeren artıkların sebep olabileceği, asit maden drenajının (AMD) önüne geçebilmek için alternatif depolama yöntemleri geliştirilmiştir. AMD; sülfür mineralleri içeren kömür, sülfürlü baz metal, uranyum ve değerli metal madenlerinin işletme sürecinde ve/veya işletme sonrası aşamasında, atmosferik koşullara maruz kalan bu minerallerin bozunmasıyla ortaya çıkan önemli bir madencilik ve çevre sorunudur (Nriagu, 1978; Smith and Skema, 2001; Karadeniz, 2008; Ergüler, 2012). Kimi zaman insan faaliyetlerinin dışında tamamen doğal olarak da gelişebilen AMD; düşük pH, yüksek asidite, yüksek iyon konsantrasyonu (zengin metal içeriği), ağır metal kirliliği (Pb, As, Cr, Cu, S, Zn, Cd ve Mn), askıda ve çözünmüş katı özellikleriyle çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir (Gray, 1997; Karadeniz, 2005). Bu kapsamda AMD riskini belirlemeye yönelik olarak uygulanan farklı statik ve kinetik testler mevcuttur. Doha önceden yapılan çalışmalar (Lawrence and Marchant, 1991; Morin and Hutt, 1997; Sapsford et al., 2009; Parbhakar-Fox et al.,

2011, 2013); bu testler arasında laboratuvar ortamında depolama modelini sahadakine göre en yakın uygulama imkanı veren ve güvenilir olan yöntemin kinetik kolon testi olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada sülfürlü cevher artıklarının çevresel açıdan değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerden biri olan kinetik kolon yöntemi ile yapılan çalışmalardan örnekler verilmiş ve benzer çalışma sonuçları kendi aralarında karşılaştırılarak bu yöntemin AMD testi açısından katkısı ortaya konulmuştur. Böylece proses artıklarının depolanmasında kullanılabilecek en uygun yönteme karar verilmesinde kinetik kolon yönteminin önemi ortaya konmuştur.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

Asit maden drenajı (AMD); sülfür mineralleri içeren kömür, sülfürlü baz metal, uranyum ve değerli metal madenlerinin işletme sürecinde ve/veya işletme sonrası aşamasında, atmosferik koşullara maruz kalan bu minerallerin bozunmasıyla ortaya çıkmaktadır.

AMD oluşumu genellikle pasa malzemesi, atık barajında biriken ve terk edilen cevher artıkları, konsantre stokları, açık ve yeraltı maden işletmeleri gibi bozunma süreçlerinin etkin olduğu yerlerde gözlenmektedir (Kontopoulos, vd., 1996; Kuyucak, 2000). Daha çok kimyasal ve biyokimyasal bozunma ile oluşan AMD, genellikle pirit ve/veya kalkopirit gibi bir sülfürlü mineralin ıslanma-kuruma çevrimleri ile su ve oksijen etkisine maruz kalması sonucunda oksidasyona uğramasıyla başlamakta ve bakteriyel etkiyle hızlanan, nihai tepkime ürünü olan sülfürik asidin meydana gelmesi sonucu ortamın pH değerinin düşmesi ve oluşan asitli çözeltilerin diğer çözmesi şeklinde gerçekleşen bir süreçtir (Kleinmann, vd., 1981). Asit karakterli maden sularının olumsuzluk özellikleri yalnızca düşük pH değerleriile sınırlı değildir. Cevher mineralizasyonuna bağlı yüksek metal konsantrasyonu sonucu yüksek oranda toplam çözünmüş katı miktarı ve organik madde eksikliği ile ile karakterize olurlar (Ulrich, 1999). Metal konsantrasyonundaki aşırılığın sonucu olarak toksiktirler. Yine, metal konsantrasyonu ve çözünmüş katı içeriğinin sonucu itibariyle sedimantasyon proseslerinin gelişimine neden olurlar. Buna göre, sülfürlerin oksidasyonu sonucunda asidik özellik kazanan çözeltilerin pH'ı 5'in altındadır. Bünyesinde çözünmüş metal ve

ağır metalleri taşır. Yüksek oranda çözünmüş katı madde içerir ve organik madde eksikliğiyle karakterize olur. Yüzey akıntıları, yağmur suları ve süzülmeler yoluyla taşınarak nehirlere, göllere ve yeraltı su sistemlerine karışır (Koza, 2013).

2.2 Yöntem

2.2.1 Kinetik kolon yöntemi

Kinetik kolon deneyi, statik deneylerde tespit edilemeyen, oksidasyona hızına bağlı olarak atmosferik koşullara maruz kalacak şekilde depolanmış veya su altında depolanmış olmasına rağmen atmosferik değişimlerden etkilenebilen yan kayaç, cevher ve artık gibi asit oluşturma potansiyeline sahip mineraller bakımından zengin malzemelerin kinetik davranışlarını belirlemek için gerçekleştirilmektedir (Ergüler, 2012).

Kinetik deneylerin tasarım çalışmaları sırasında aşağıda verilen ana faktörler göz önünde bulundurulmalıdır;

1. Kinetik deney düzeneğinin, büyüklüğü, şekli ve yapısı, basit ve uygulanabilir olmalıdır. Aynı anda birden çok örneği analiz edecek sayıda olmalıdır. Hazırlanan düzenek, sıvı ve gazların (örneğin oksijen ve karbondioksit) sistem içerisine girip çıkmasını sağlamalı ve dolayısıyla arazi koşullarındaki bozunma süreçlerini temsil ediyor olmalıdır.
2. Kinetik deney düzeneğinin boyutları, deneye tabi tutulacak örneklerin hacmi ve tane boyu dağılımıyla orantılı olmalıdır. Bu nedenle, örnek ve örneğin konulduğu hücre arasındaki olabilecek olumsuz etkileşimler (örneğin hava kabarcıkları) engellenmelidir. Örneğin, kolon şeklinde tasarlanan düzeneğin iç çapı kullanılan örneklerin en büyük tane boyundan en az birkaç kat daha büyük olmalıdır.
3. Kinetik deneyler için yapılacak örnekleme, AMD oluşum potansiyeli belirlenecek kaya birimlerinin fiziksel (örneğin, tane boyu dağılımı), kimyasal (örneğin mineralojik bileşimi) karakteristiklerini temsil etmelidir. Daha yüksek oranlardaki ince tane boyu, asit üretimi açısından kritik bir parametre olan bozunma süreçleri reaksiyonları için yüzey alanını arttırır.
4. Birden fazla litolojik birimler aynı kinetik deney düzeneğinde birleştirilmemelidir.
5. Sisteme giren su hacmi ile kinetik deneyler sırasında tüketilen su hacmi arasındaki fark atık su miktarını belirlemektedir. Bu su hacimleri, deneylere tabi tutulan kaya

örneklerinin hacmi ile uygun bir şekilde orantılı olmalı ve yaklaşık olarak bölgedeki hidrolojik çevrimi (örneğin, yağış, yüzey suyu ve yer altı suyu miktarı) temsil etmelidir. Kullanılan örneklerin yüzey alanı ile atık su hacmi arasındaki oran kinetik deney tasarım, performans ve yorumlanmasında en önemli parametre olabilir.

6. Kinetik deney süresince kaya örnekleri genel olarak tamamen suya doygun koşulda olmamalıdır. Diğer bir ifadeyle ortam yarı doygun olmalı, kuruma ve ıslanma çevrimleri sağlanmalı ve boşluklara zamana bağlı olarak hem su hem de hava girişinin sağlanması gerekmektedir.
7. Kinetik deney düzeneğinde biyolojik bozunma süreçlerini sağlayan demir-oksit bakterileri göreceli olarak yaygın bir şekilde bulunmalıdır.
8. AMD oluşumun tahmininde kullanılacak ideal kinetik deney: a) montajı ve çalıştırılması pratik, b) yaygın bir şekilde kullanımını ve kabul görmesini sağlamak için kısa süreli ve ucuz olması, ve c) madencilik çalışmaları sırasında oluşan fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri temsil etmesi gerekmektedir (Hornberger ve Brady, 1998).

Kinetik Kolon yönteminin avantajları;

- ABD ve Kanada'da kabul edilen bir yöntem,
- Diğer tahmin yöntemleri ve saha verileri ile güvenli bir şekilde karşılaştırılabilir,
- Kurulması ve çalıştırılması son derece basittir,
- Büyük ölçekli ve daha büyük partikül boyutlarına sahip artıkların değerlendirilmesini sağlar,
- Doygun ve doymamış artık depolarını modellemek için kullanılabilir.
- Asit üretme ve sülfür oksidasyon oranları belirlenebilir,
- Asit üretim hızlarındaki zamansal değişiklikler belirlenebilir.
- Bakterilerin etkisi değerlendirilebilir,
- Bir artık ünitesinden beklenen sızıntı suyu kalitesinin ve çözünmüş metal akışının değerlendirilmesini sağlar,
- Artık kayalarının harmanlanması sağlar,
- Mineralojik değişiklikler ve derinlemesine bozulmanın etkilerinin değerlendirilmesini sağlar.

Dezavantajları ise;

- Sonuçların yorumlanması bazen karmaşıktır,

- Nem hücreleri ile karşılaştırıldığında uzun süre gereken ve diğer yöntemlere göre maliyeti nispeten yüksektir
- Asit ve alkalinite salınım oranları; asit üretimi, asit tüketimi ve alkalinite üretim reaksiyonlarında oluşacak farklılıklar nedeniyle karşılaştırma yapılamayabilir,
- Problemlerin çözümünde uygulamada sorunlar olabilir,
- Çok sayıda numune için pratik değildir (CANMET, 2008).

Kolonlarda kullanılacak malzemeler sert, içerisine konulacak materyal ile etkileşime girmeyecek, şeffaf, geçirimsiz, korozyona karşı dirençli ve örnek alımına ve ek ekipman kurulumuna uyumlu olmalıdır. Tablo 1'de kolon için önerilen ve bozulan malzemeler verilmiştir.

Tablo 1. Kolon için önerilen ve bozulan malzemeler (DEMEAU, 2013)

Önerilen Malzemeler	Akrilik Cam
	PTFE, politeirafloroetilen
	HDPE yüksek yoğunluklu polietilen ya da polietilen yüksek yoğunluklu (PEHD)
	PP, Polipropilen ya da Polipropen
Bozulan Malzemeler	Silikon
	Pharmed ©
	NBR70, Nitril O conta
	Tygon©
	LDPE, Düşük yoğunluklu polietilen

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Asit Maden Drenajı Oluşumu

Garcıa ve diğerleri, 2005 yılında tasarladıkları kolonlar üzerinde gerçekleştirdikleri deneylerde, kolonlara konulan örnek boylarındaki azalmaya karşın bozunmanın arttığını saptamışlardır. Diğer bir ifadeyle, kolon boyu ile AMD oluşum hızı ve miktarı arasında ters bir ilişkinin mevcut olduğunu belirtmişlerdir. Dolayısıyla, eğer kolon boyu arttırılırsa, ortamdaki suyun drene olması daha uzun zaman alacağından, deneye maruz bırakılan örnekler daha uzun süre tamamen suyla doygun halde olacak ve bu durum karşısında taneler arasındaki boşluklardan oksijen ilerlemesi daha zor olacaktır.

Doepker ve Drake (1991), sülfür içeren malzemelerin sülfürik asit oluşturma olasılığını belirleyen iki ana parametrenin, oksijenin ve katı taneleri çevreleyen ancak tamamen ortamı doygun hale getirmeyen suyun varlığı olduğunu vurgulamışlardır.

3.2 Tane Boyut Değişimi

Asit maden drenajı potansiyeli belirlenmesinde kullanılan yeni bir deney olması nedeniyle, kinetik kolon deneylerinde kullanılan kolonların boyutları ile bu kolonlara konulan örneklerin tane boyutu ve miktarı konusunda kabul gören bir görüş bulunmamaktadır (Ergüler, 2012). Kinetik kolon yöntemi konusunda yapılan bazı çalışmalar Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'den anlaşılacağı üzere çalışmalarda kullanılan numunelerin tane boyutu Belem vd., (2016) 2-75 mm; Güler, (2015), -0,125 mm; Ginting vd., (2013), + 4,75-20; Ouangrawa vd., (2010), 1.6×10^{-3}; Demers vd., (2008, 2009), 21,29-28,11 µm olarak almışlardır.

Tablo 2. Kinetik kolon yöntemi konusunda yapılan çalışmalar

Numune	Tane Boyutu (mm)	Kükürt S (%)	Kolon Boyutları (cm)		Yükseklik /Çap	pH	Referans
			Yükseklik	Çap /Kesit			
Bakır –Çinko Cevheri	1–2, 2–4, 4–8, 8–16 ve 16–32	24,17-26,33	24	20	1.2	4-8	Embile vd., 2016
Bakır Cevheri	-		60	10	6	7.5	Elizabeth vd., 2016
Kömür Uçucu Külleri	-		32	5,6	5.71	11.3–11.95	Ukwattage vd., 2016
Bakır Cevheri, Canada, Quebec	2-75	-	300	31.5 x 30.5 cm^2	-	-	Belem vd., 2016
Bakır Cevheri, Murgul	< 22,5 mm, < 3.35 mm,< 0.625	3-15 mg/L	16-72	3-9	7.33	2-8	Ergüler ve Ergüler., 2015
Çan Linyiti	-0,125	0.8	72	6	12	-	Ergüler, 2015
Uçucu Kül	(+ 4,75)-(-20)	-	90	50	1.8	2-8	Ginting vd., 2013
Louvicourt Maden Artıkları	1.6×10^{-3} (D_{50})	2.04-19.0	40-200	10-15	13.33	4-8	Ouangrawa vd., 2010
Rouyn-Noranda, Quebec Altın Ürünü	28,11 µm (D_{50})	0.25	80-150	14	5.71	-	Demers vd., 2009
Sülfirik Maden Artıkları	-	-	30 /100 / 80	14	2.14	7-8,5	Demers ve Bussière, 2008
Doyon Madeni Sülfürü Giderilmiş Maden Atıkları	21,29 (D_{50})	0.25 - 5.65	30/100 / 80 /150	14	10.71	3-9	Demers vd., 2008
Pritik Flotasyon Çıkışı Artık	-	37	150	15	10	5- 8	Garc´ıa vd., 2005
Sülfürlü Artık	40 - 120 µm	5 - 10	100	10,6	9.43	4-8	Benzaazoua vd., 2004
Pirit İçeren Artık	-	-	105	28 cm^2	-	8.5	Ernest vd., 1999
Aldermac Moulton Hill Madeni Artığı	-	0.06	120	20	6	1-5	Bellalouı vd., 1999

Tane boyutunun değişimi, asit maden drenaj hızının değişimi hakkında önemli bir göstergedir. Bununla birlikte, yapılan araştırmalar, kolon içindeki kireçtaşı örneği üst tane boyutunun 2 cm>nominal boyut>0,5 cm aralığında olması saha koşullarını daha iyi temsil ettiği yönündedir (Bradham ve Caruccio, 1990).

3.3 Kolon Boyutları

Tablo 2'de verilen çalışmaların kolon boyutları incelendiğinde yükseklik değerinin 16-300 cm arasında, çap değerinin ise 3-50 cm arasında değiştiği görülmektedir. Literatürde kolon uzunluğunun (L), kolon çapının (D) en az 4 katı olması gerektiği belirtilmektedir (Fand ve Thinakaran, 1990; Bergström, 2000). Ayrıca kullanılan kolonların çapının 0.1-0.2 m, yüksekliğinin ise 1.5-2.5 m arasında değiştiği görülmektedir (DEMEAU, 2013). Ergüler, 2014; numunenin tane boyut dağılımının AMD başlangıcını etkilediğini ortaya koymuştur. Çalışması kapsamında farklı boyutlardaki kolonlarda gerçekleştirilen kinetik kolon deneylerinde daha büyük boyuttaki kolonlarda asit oluşumunun (pH değerlerinin dördün altına düşmesi) daha uzun zaman aldığını tespit etmiştir. Ayrıca İri taneli numunenin olduğu kolonlarda AMD başlangıcı ince tanelere göre daha geç başlamaktadır.

3.4 Ca^{2+}+Mg^{2+}+Mn^{2+} ve SO_4^{2-} Konsantrasyonu

Birçok araştırmacı için Ca^{2+}+Mg^{2+}+Mn^{2+} konsantrasyonu ile sülfat (SO_4^{2-}) konsantrasyonu arasındaki ilişki asit oluşum sürecinin değerlendirmesi açısından önemli bir parametre olarak göz önünde bulundurulmuştur (Ergüler, 2012). Önceki çalışmalarda da (Scharer, vd., 1991; Robertson ve Broughton, 1992; vd, 2001; Benzaazoua, vd., 2004; García, vd. 2005) vurgulandığı gibi, Ca^{2+}, Mg^{2+} ve Mn^{2+} elementlerinin toplam konsantrasyonları ortamda bulunan ana karbonat minerallerinin çözülmesini temsil ederken, sülfat (SO_4^{2-}) konsantrasyonu ise ana oksitlenme ürünlerini göstermektedir. Karbonat minerallerinde yaygın bulunan Ca^{2+}, Mg^{2+} ve Mn^{2+} elementleri, sülfürlü minerallerin (örneğin, pirit, kakopirit vb.) oksitlenmesi ile ortamın asidik olmasına paralel olarak çözülmektedir.

Örneğin, Benzaazoua vd. (2004), hazırlamış oldukları nem hücresi ve kinetik kolon düzeneklerindeki AMD oluşum sürecininin yorumlanmasında Ca^{2+}+Mg^{2+}+Mn^{2+} ile sülfat (SO_4^{2-}) konsantrasyonu arasındaki ilişkilerden önemli oranda

yararlanmışlardır. Ergüler vd. (2015); saha koşullarını laboratuvar ortamında sağlamış, oksidasyon (SO_4^{2-}) ve nörleştirme (Ca^{2+}+Mg^{2+}+Mn^{2+}) ürünlerinin kümülatif konsantrasyonlarının zamanla sürekli arttığını ve aralarında istatistiksel olarak önemli lineer bir ilişkinin olduğunu ortaya koymuştur.

3.5 pH Etkisi

Daha ince tanelerin (1-2 ve 2-4 mm) bulunduğu numunelerde nötr pH'a yakın değerler, kaba tanelerin (8-16 ve 16-32 mm) olduğu numunelerde ise pH'ın 3.0-4.0 arasında olduğu tespit edilmiştir. 4-8 mm tane boyutundaki örneklerde başlarda nötr pH olduğu, zamanla ani düşmeyle deney sonunda 3 değerini aldığı görülmüştür. Bu da kısmen tane boyutu azaldıkça pH'ın nötürleşme potansiyelinin artığını ortaya koymuştur (Embile vd., 2016).

3. SONUÇLAR

Cevher artıklarının çevresel açıdan değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerden biri olan kinetik kolon yönteminin önemi ortaya konulmuştur. Kolon testi konusunda yapılan çalışmalara göre tane boyutunun kolon çapı ve yüksekliği konusunda önemli bir parametre olduğu, numunenin türüne göre farklı çap ve yükseklikte kolonlar kullanıldığı belirlenmiştir. Literatürden kolon çapının 3- 50 cm arasında, yüksekliğin ise 16- 300 cm arasında değişebildiği anlaşılmaktadır. Ayrıca Yükseklik/Çap oranı 1.2 ile 15 arasında değişmektedir. En çok tercih edilen Yükseklik/Çap oranı 6 ve 10'dur. AMD oluşumunda kinetik kolon ölçütlerinin etkili olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca Ca^{2+}+Mg^{2+}+Mn^{2+} konsantrasyonu ile sülfat (SO_4^{2-}) konsantrasyonlarının değişimleri takip edilmelidir. Ayrıca tane boyutu azaldıkça pH'ın nötürleşme potansiyelinin artığı anlaşılmıştır. Bu yüzden; kolon deneyleri süresince pH ölçümleri de takip edilmeli ve meydana gelen değişimler incelenmelidir. Bunun yanında tane boyut değişiminin, AMD hızının değişimi hakkında önemli bir göstergedir. Yapılan çalışmalarda; tane boyutu küçüldükçe AMD oluşumunun hızlandığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

Belem T., Omar A., Bruno B., Benzaazoua M., 2016. Gravity-driven 1-D consolidation of cemented paste backfill in 3-m-high columns, Innov. Infrastruct. Solut. 1:37.

Bellalouı vd., 1999. Laboratory Investigation of The Control of Acid Mine Drainage Using Alkaline Papermillwaste, Water, Air, and Soil Pollution 111: 57–73.

Benzaazoua, M., Bussière, B., Dagenais, A.-M., Archambault, M., 2004. Kinetic tests comparison and interpretation for prediction of the Joutel tailings acid generation potential. Environ. Geol. 46, 1086–1101.

Bergström, L, 2000. Leaching of agrochemicals in field lysimeters – a method to test mobility of chemical in soil. In: Cornejo J., Jamet P., Lobnik F. (Eds), Pesticide/Soil Interactions: Some Current Research Methods, INRA, Paris, p. 479.

Bradham, W.S., and Caruccio, F.T., 1990. A Comparative Study of Tailings Analysis using Acid/Base Accounting, Cells, Columns and Soxhelets. Proceeding of the 1990 Mining and Reclamation Conference and Exhibition, Charleston, WV, 19-25.

CANMET, 2008. Acid Rock Drainage Prediction Manual, A Manual of Chemical Evaluation ProceDures for the Prediction of Acid Generation from Mine Wastes, p 58.

DEMEAU, 2013. Guidelining protocol for soil-column experiments assessing fate and transport of trace organics, European Union Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) under Grant Agreement no. 308339.

Demers I., Bussie`re B., Benzaazoua, M., Mbonimpa M., Blier, A., 2008. Column test investigation on the performance of monolayer covers made of desulphurized tailings to prevent acid mine drainage, Minerals Engineering 21, 317–329.

Demers I., ve Bussière. B. 2008. Repeatability evaluation of instrumented column tests in acid mine drainage prediction and cover efficiency evaluation, GeoEdmonton'08/GéoEdmonton2008.

Demers I., vd., 2009. Oxygen diffusion and consumption in low-sulphide tailings covers, Can. Geotech. J. 46: 454–469.

Doepker, R. and Drake, P., 1991. Laboratory study of submerged metal mine tailings (III): factors influencing the dissolution of metals, Proceedings of the Second International Conference on the Abatement of Acidic Drainage. MEND Program, vol. 1. CANMET, Montreal, Canada, 139–155.

Elizabeth J. L. vd.., 2016. Evaluation of metal mobility from copper mine tailings in northern Chile, Environ Sci Pollut Res Int, 23(12), 11901-11915.

Embile Jr., R, Walder I., Madai F., Mo´ricz •F., Rzepka P., Walder P., 2016. Grain Size Effects on Mine Water Quality and Acid/Neutral Rock Drainage Production in Kinetic Testing Using Recsk Porphyry Skarn Cu–Zn Deposit Rocks, Mine Water Environ 35:421–434.

Ergüler, 2012. Sülfürlü Bir Maden Sahasinda Asit Maden Drenaj Oluşum Potansiyelinin Belirlenmesi ve Modellenmesi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.

Ergüler Z: A, Ergüler K: G., 2015. The effect of particle size on acid mine drainage generation: Kinetic column tests, Minerals Engineering 76, 154–167.

Ergüler K: G., 2015. Investigation the applicability of eggshell for the treatment of a contaminated mining site, Minerals Engineering 76, 10–19.

Ernest vd., 1999. Soil Covers For Controlling Acid Generation In Mine Tailings: A Laboratory Evaluation Of The Physics And Geochemistry, Water, Air, and Soil Pollution 114: 347–375.

Fand R.M., 1990.Thinakaran R. The influence of the wall on flow through pipes packed with spheres. Journal of Fluids Engineering – Transactions of the ASME 112, 84-88.

García, C., Ballester, A., González, F. and Blázquez, M.L., 2005. Pyrite behaviour in a tailings pond. Hydrometallurgy, 76, 25–36.

Gray, N.F., 1997. Environmental Impact and Remediation of Acid Mine Drainage: A Management Problem, Environmental Geology, 30, (1/2), March, p. 62-71.

Hornberger, R.J. and Brady, K.B.C., 1998. Kinetic (leaching) tests for the prediction of mine drainage quality (chapter 7); coal mine drainage prediction and pollution prevention in Pennsylvania, K.B.C Brady, M.W., Smith and J. Schueck (eds), The report of the Pennsylvania Department of Environmental Protection, Harrisburg, 5600-BK-DEP2256, PA DEP, 7-1 to 7.54.

Karadeniz, M., 2005. Asit Maden (Kaya) Drenajında Aktif ve Pasif Çözüm Yöntemleri, Madencilik ve Çevre Sempozyumu, 5-6 Mayıs, Ankara, s. 91-97.

Karadeniz, M., 2008. Sülfürlü madenlerin sorunu asit maden drenaji ve çözümü, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 231 s.

Kleinmann, R.L.P., Crerar, D.A. and Pacelli, R.R., 1981, Biogeochemistry of acid mine drainage and method to control acid formation, Mining Engineering, March, 300-305.

Kontopoulos, A., Adam, K., Monhemius, J., Cambridge, M. and Kokkoins D., 1996. Integrated environmental management in polymetallic sulphide mines, Fourth International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production, Cagliari, Italy, 321-330.

Koza, 2013. BİLECİK İli, Bozüyük İlçesi, Metristepe Köyü Mevkii Altin Madeni Açik Ocak İşletmesi Çevresel Etki Değerlendirmesi Raporu,Koza Altın İşletmeleri A.Ş., Ankara, s165-166.

Kuyucak, N., 2000. Miciooigamsms biotechnology and rock drainage emphasis on passive-biological control and treatment methods, Minerals Metallurgical Processing, Vol 17 No 2 , 85-95.

Lawrence, R.W., Marchant, P.B., 1991. Acid Rock Drainage Prediction Manual. Report CANMET, MEND Project 1.16.1b, Canada.

Morin, K.A., Hutt, N.M., 1997. Environmental Geochemistry of Mine site Drainage: Practical Theory and Case Studies. MDAG Publishing, Vancouver, Canada.

Nriagu, J.O., 1978. Sulfur in the Environment. Wiley, New York, pp. 314–325.

Ouangrawa M. vd., 2010, Preventing Acid Mine Drainage with an Elevated Water Table: Long-Term Column Experiments and Parameter Analysis, Water Air Soil Pollut (2010) 213:437–458.

Parbhakar-Fox, A.K., Edraki, M., Walters, S., Bradshaw, D., 2011. Development of a textural index for the prediction of acid rock drainage. Miner. Eng. 24 (12), 1277–1287.

Parbhakar-Fox, A., Lottermoser, B., Bradshaw, D., 2013. Evaluating waste rock mineralogy and microtexture during kinetic testing for improved acid rock drainage prediction. Miner. Eng. 52, 111–124.

Robertson, A. MacG. and Broughton, L.M., 1992, Reliability of acid rock drainage testing, Workshop on U.S. EPA Specifications for Tests to Predict Acid Generation from Non-Coal Mining Wastes, Las Vegas, Nevada, July 30-31.

Sapsford, D.J., Bowell, R.J., Dey, M., Williams, K.P., 2009. Humidity cell tests for the prediction of acid rock drainage. Miner. Eng. 22 (1), 25–36.

Scharer, J.M., Garga, V., Smith, R. and Halbert, B.E., 1991, Use of steady state models for assessing acid generation in pyritic mine tailings, In Proceedings Second International Conference on the Abatement of Acidic Drainage, September 16-18, Montreal, Canada, Volume 2, 211-230.

Smith, M.W., Skema, V.W., 2001. Evaluating the potential for acid mine drainage remediation through remining in the Tangascootack Creek watershed, Clinton County, Pennsylvania. Min. Eng., 41–48.

Ukwattage, N. L., Ranjith, P. G., Perera M. S. A., 2016. Effect of accelerated carbonation on the chemical properties and leaching behaviour of Australian coal fly ash, to improve its use as a compost amendment, Environ Earth Sci ,75:1398.

Ulrich, M., 1999. Non metallic carbonate minerals in the passive treatment of mining wastewater in Slovenia, Chemical Engineering and Processing, Volume 38, Number 3, May, 249-258.

ENERGY EFFICIENT CEMENT PRODUCTION IN A CONVENTIONAL TWO-COMPARTMENT BALL MILL GRINDING CIRCUIT

KONVANSİYONEL İKİ-KAMARALI BİLYALI DEĞİRMEN ÖĞÜTME DEVRESİNDE ENERJİ VERİMLİ ÇİMENTO ÜRETİMİ

Ömürden GENÇ[1*], A. Hakan BENZER[2]

[1:] Muğla Sıtkı Koçman University, Mining Engineering Department, Muğla, TURKEY

[2:] Hacettepe University, Department of Mining Engineering, Ankara, TURKEY

*: Corresponding Author: ogenc@mu.edu.tr

ABSTRACT: The objective of the study is to evaluate the grinding and classification performance of a conventional Polysius® two-compartment ball mill and a Sepol® dynamic air classifier closed circuit process at Portland cement (CEMI/42.5R type) and Portland composite cement (CEMII/32.5R type) productions and to determine energy consumptions. For this purpose, two industrial scale sampling surveys were performed around the circuit. Particle size distributions of the samples were determined by dry sieving from the top size down to 150µm. Sub-sieve sample of -150µm was dry sized down to 1.8µm by using a Sympathec® laser diffractometer. Tonnage flowrates were recorded in the control room during the sampling survey for mass balance calculations. Particle size distribution data and tonnage flowrates were used to do the mass balance of the circuits by using JKSimMet Steady State Mineral Processing Simulator. Size reduction performance of the ball mill was evaluated for both production cases. Separation efficiency of the dynamic air classifier which affects the ball mill feed conditions was evaluated based on the efficiency curve approach (Napier Munn et al., 2005).

As a result, it was determined that, approximately 12% circuit capacity increase could be achieved in the new operational condition for composite cement production. Overall energy savings of 7% was achieved when ball mill, ball mill filter and air classifier power consumptions were considered. Decrease in the amount of clinker usage in composite cement production will indirectly decrease the fuel consumption and

this will consequently reduce the CO_2 emmissions. In this respect, energy efficient cement production emphasizes importance for the environment.

Keywords: Grinding, Classification, Two-compartment ball mill, Air classifier, Cement, CO_2 emission

ÖZET: *Bu çalışmanın amacı, konvansiyonel Polysius® iki kamaralı bilyalı değirmen ve Sepol® dinamik havalı sınıflandırıcı kapalı devre işleminin Portland çimentosu (CEMI/42.5R tip) ve Portland kompoze çimentosu (CEMII/32.5R tip) üretimlerinde öğütme ve sınıflandırma performansının değerlendirilmesi ve enerji tüketimlerinin belirlenmesidir. Bu amaçla, devre etrafında iki adet örnekleme çalışması yapılmıştır. Örneklerin tane boyu dağılımları en iri boydan 150 µm'a kadar kuru elemeyle belirlenmiştir. -150 µm elekaltı örneğinin boyut analizi 1.8µm'ye kadar Sympathec® lazer difraktometresi kullanılarak kuru olarak yapılmıştır. Kontrol odasında tonaj akış değerleri örnekleme çalışmaları süresince madde denkliği hesaplamaları için kaydedilmiştir. Tane boyu dağılımı verileri ve tonaj akış değerleri, devrelerin madde denkliklerinin JKSimMet Cevher Hazırlama Simülatörü kullanılarak yapılması için kullanılmıştır. Bilyalı değirmenin boyut küçültme performansı her iki üretim koşulu için değerlendirilmiştir. Bilyalı değirmen besleme koşullarını etkileyen dinamik havalı sınıflandırıcının ayrım verimliliği, verimlilik eğrisi yaklaşımına göre değerlendirilmiştir (Napier Munn et.al., 2005).*

Sonuç olarak, kompoze çimento üretimi için, yeni işletme koşullarında devre kapasitesinde yaklaşık olarak %12'lik bir artış sağlanabilmektedir. Bilyalı değirmen, bilyalı değirmen filtresi ve havalı sınıflandırıcı enerji tüketimleri düşünüldüğünde, genel olarak %7'lik bir enerji tasarrufu sağlanmıştır. Kompoze çimento üretiminde klinker kullanımındaki düşüş, dolaylı yoldan yakıt tüketimini düşürecek, ve bu da sonuç olarak CO_2 emisyonunu düşürecektir. Bu açıdan enerji verimli çimento üretimi çevre için önem arzetmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Öğütme, Sınıflandırma, İki-kamaralı bilyalı değirmen, Havalı sınıflandırıcı, Çimento, CO_2 emisyonu*

1. INTRODUCTION

Carbon dioxide enters the atmosphere through burning fossil fuels (coal, natural gas, and oil), solid waste, trees and wood products, and also as a result of certain chemical

reactions such as in the manufacture of cement (www.epa.gov.tr). The cement industry consumes approximately 12-15% of total industrial energy use. Energy consumption in a typical cement plant is up to 75% fossil fuel and 25% electrical energy in dry processing (Madlool et.al., 2011). If cement grinding processes can be optimized, energy consumed in cement production and amount of fuel used will be reduced. Consequently, CO_2 emissions will be reduced. In this respect, energy efficient cement grinding applications should be investigated and evaluated.

In this study, production performance and energy consumptions of industrial cement grinding circuit was analysed when the circuit was producing CEMI/42.5R type Portland and CEMII/32.5R type Portland composite cements. CEM II Portland composite cement production provided overall energy savings of 7% and will lead to reduce the CO_2 emissions.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Plant-Site Studies

Sampling surveys at the cement plant were performed to characterize particle size distributions around the circuits and inside the mills at the steady state conditions at Portland cement (CEMI/42.5R) and Portland composite cement (CEMII/32.5R) production types. Circuit flowsheet with the sampling points is given in Figure 1 for the (CEMI/42.5R) Portland cement production case. Sampling points correspond to the following streams in Figure 1: Clinker feed (1), Gypsum feed (2), Total fresh feed (3), Mill overflow (4), Filter return (5), Separator (air classifier) feed (6), Separator reject (7), Separator fine (8), Trass (in composite cement production) (9), Fly ash (in composite cement production) (10).

CEMI/42.5R Portland cement was obtained by grinding Portland cement clinker and mineral additive material gypsum ($CaSO_4$:$2H_2O$) in the given circuit (Figure 1). Portland cement clinker is a black nodular hydraulic material, made by burning in a rotary kiln (pyroprocessing), at least to sintering a precisely specified mixture of raw materials containing CaO, SiO_2, Al_2O_3 and Fe_2O_3 at temperatures of about 1400^oC (Hewlett, 2003). Portland composite cement (CEMII/32.5R) was obtained by grinding clinker, gypsum and natural puzzolanic material which is called trass. Pozzolana is a siliceous and aluminous material that contains volcanic material such as pumice or

volcanic ash. Trass has an important effect on several properties of cement mortar and cement clinker such as their strength, settting time, the amount of C_3S ($3CaO.SiO_2$) (alite mineral) and durability, depending on the their substitution ratio and its fineness. Fly ash was added to air classifier feed stream directly due to its fineness in Portland composite cement (CEMII/32.5R) production case. Fly ash is a puzzolanic material. It is a by-product of burning pulverized coal in an electrical generating power station. It is collected from the exhaust gases by mechanical and electrostatic precipitators. It improves the long-term strength and reduces the permeability of the concrete (Thomas, 2007).

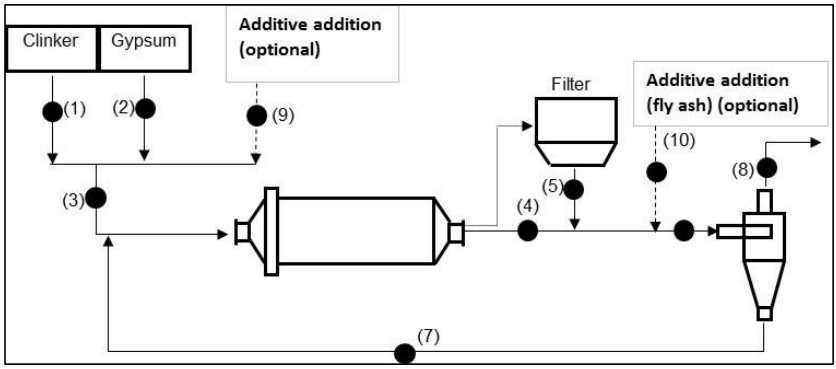


Figure 1. Simplified flowsheet of the industrial scale cement production circuit

Polysius® two-compartment ball mill and a Polysius® Sepol® dynamic high efficiency air classifier were operated in closed circuit to obtain the required cement types. Design specifications for the ball mill and air classifier are tabulated in Tables 1-2. There is a electrofilter at the discharge of the mill which collects fine particles (100% -212µm in CEMI production and 100% -850µm in CEMII production) from the mill by air sweeping. The circuit was operated without grinding aid in survey-1. However, grinding aid was added to the mill when trass and ash are added to the process in survey-2. Samples were collected from the streams shown in Figure 1 at the steady state condition of the circuits at both cement production types.

2.2. Mill Inside Sampling Survey

Ball mill was crashed-stopped for inside mill sampling in survey-1 after completing of the circuit sampling. Both compartments of the ball mill were sampled by

approximately one meter along the long axis of the mill from an approximate depth of 40cm below the mill ball charge level. Mill inside sampling locations are tabulated in Table 3.

Table 1. Polysius® two-compartment ball mill specifications

Parameter	Value
Diameter (m)	4.8
Compartment-1 length (m)	4.25
Compartment-2 length (m)	10
Mill motor (kW)	5200
Mill revolution (rpm)	14.87
Critical speed %	77.02
Volumetric air flowrate (m^3/h) at 100% fan opening	65000
Ball load % (compartment-1)	32.3
Ball load % (compartment-2)	31.2

Table 2. Air classifier design and operational specifications

Air classifier brand	Sepol® NSV310/4
Diameter (mm)	3100
Revolution of motor (rpm)	251.13
Revolution of rotor (rpm)	31
Number of cyclones	4
Pressure increase (mbar)	38.1
*Air flowrate, Q (Bm^3/h)	254107

*Bm^3/h: Cubic metres at operating pressure

Table 3. Measured mill inside sampling locations in grinding compartments 1 and 2 in survey-1 (CEMI/42.5R Portland cement production)

Compartment-1 axial length (m)	Compartment-2 axial length (m)
0 (compartment inlet)	0 (compartment inlet)
1.2	1
2.4	2
3.6	3
4.8	4
	5
	6
	7
	8
	9
	10

2.3.Particle Size Distribution

Particle size distributions of the samples were determined by dry sieving from the top size which was 50mm down to 150µm. Sub-sieve sample of -150µm material was dry sized down to 1.8µm by using a Sympathec® laser diffractometer. Ro-tap screening and

laser sizing results were mathematically combined to obtain the full size distribution from the top size down to 1.8 µm.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Mass Balancing using JKSimMet Software

Mass balance of the circuits were performed to estimate statistically adjusted tonnage flowrates and particle size distributions by using the mass balance module of the JKSimMet Mineral Processing Simulator. Calculated (mass balanced) tonnage flowrates and fineness values are given in Figures 2-3. Agreement between the experimental and calculated particle size distributions are shown in Figures 4-6. A comparison for ball mill feed and discharge particle size distributions is given in Figure 7. A very good agreement was obtained which indicated a successful sampling operation in each survey. Hence, mass balanced values could be used in performance evaluation study.

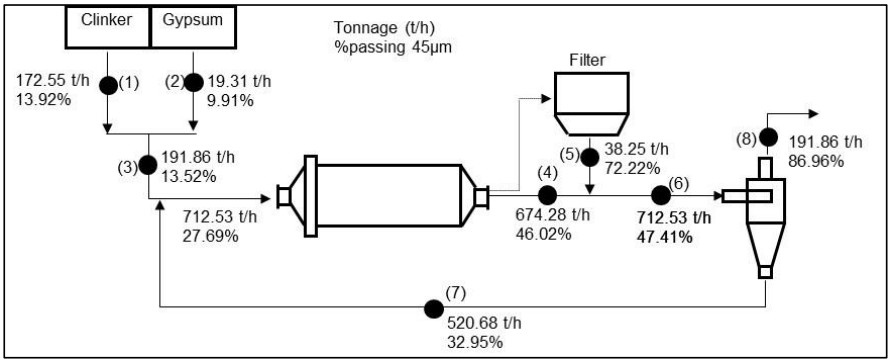


Figure 2. Mass balanced flowsheet of the sampled circuit in CEMI/42.5R Portland cement production (survey-1)

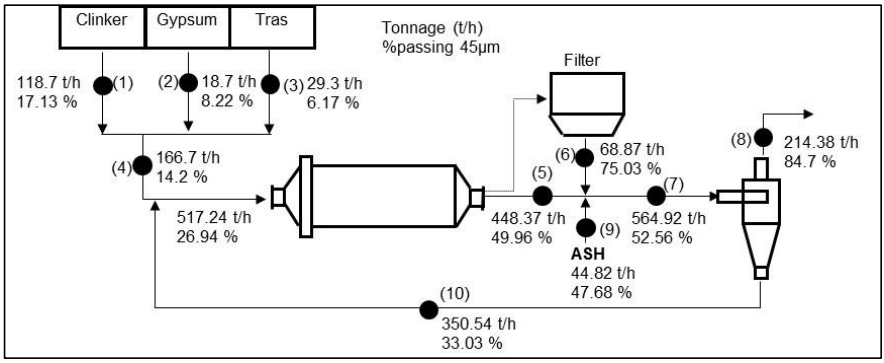


Figure 3. Mass balanced flowsheet of the sampled circuit in CEMII/32.5R Portland composite cement production (survey-2)

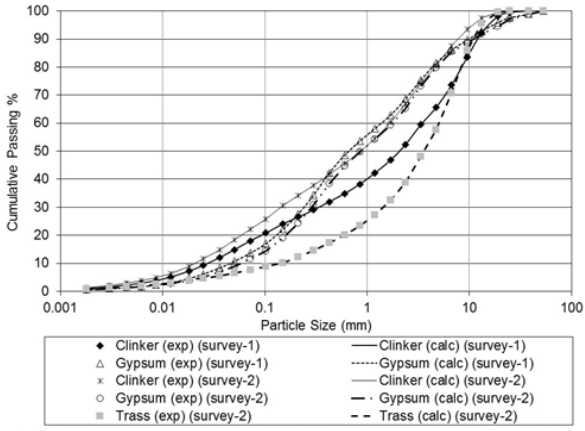


Figure 4. Experimental and calculated particle size distributions of circuit fresh feed materials in survey-1 and survey-2

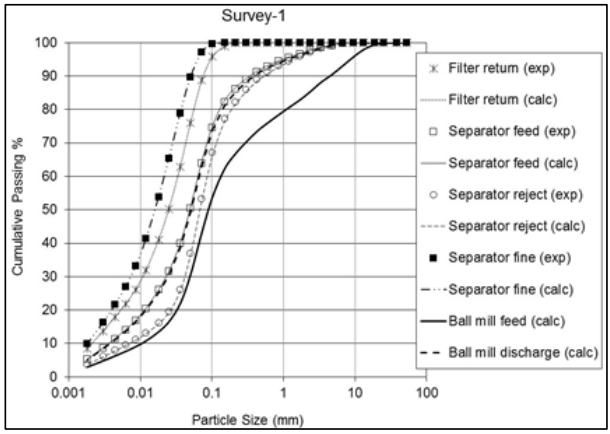


Figure 5. Experimental and mass balanced particle size distributions around the circuit in CEMI/42.5R Portland cement production (survey-1)

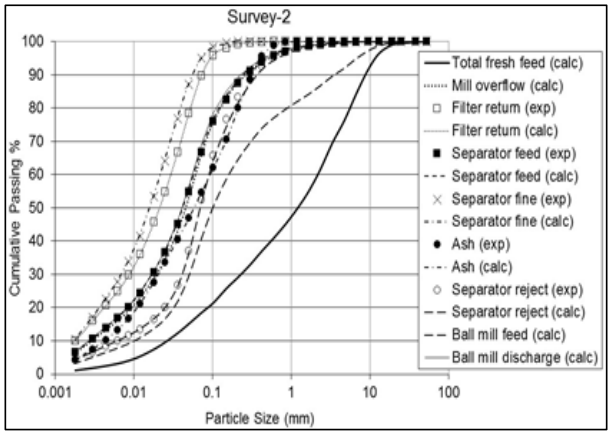


Figure 6. Experimental and mass balanced particle size distributions around the circuit in CEMII/32.5R Portland composite cement production (survey-2)

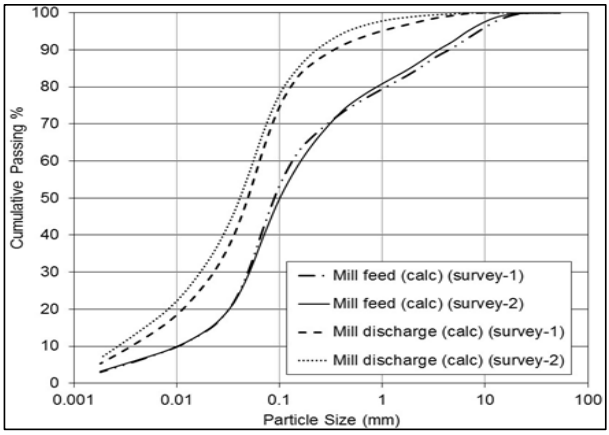


Figure 7. Ball mill feed and discharge particle size distributions in survey1 and survey2

3.2. Size Reduction Performance of the Two-compartment Ball Mill

Cumulative 90%, 80% and 50% passing sizes which are x_{90}, x_{80} and x_{50} sizes of the mill inside samples respectively are determined to evaluate the size reduction progress along the long axis of the compartments. Mill inside sampling was not performed in survey-2. Results are tabulated in Table 4 for survey-1. Size reduction (F_n/P_n) determined according to x_{90}, x_{80} and x_{50} particle sizes for compartments 1 and 2 in survey-1 (n=90, 80, 50) are given in Table 5. x_{90}, x_{80} and x_{50} particle sizes of mass balanced mill feed and discharge size distributions are given in Table 6 for the determination of the overall size reduction performance of ball mills. Size reduction ratios are tabulated in Table 7.

Size reduction performance in compartment-2 was determined to be higher than that of the compartment-1. Mass balance calculations showed that, mill throughput rate was 712.53t/h in survey-1 (when grinding aid was not added). However, it was calculated as 564.92t/h when grinding aid was added. Circulating load ratio of the mill was decreased from 271% to 164% in survey-2. Size reduction ratio (SRR) based on x_{90} and x_{50} sizes were increased. SRR of x_{80} size was decreased slightly which is not significant. Consequently, it could be concluded that, we could say that, SRR was increased in grinding aid addition case. Overall size reduction performance of the mill was improved at CEMII type Portland cement production. This achievement lead to the increase in circuit throughput rate. By this way circuit capacity was increased. The same circuit could be operated at 12% higher capacity value by using grinding aid at CEMII type Portland cement production. Grinding aid should be applied to ease the grinding of trass in the mill which also affected the production capacity increase.

Table 4. x_{90}, x_{80} and x_{50} sizes for mill inside samples in compartment1 and 2 in survey-1

Sampling location	x_{90} (mm)	x_{80} (mm)	x_{50} (mm)
0m (compartment-1 inlet)	2.75	0.74	0.086
1.2m	1.90	0.57	0.085
2.4m	1.10	0.42	0.080
3.6m	2.40	0.57	0.086
4.8m	11.80	3.50	0.125
0m (compartment-2 inlet)	3.70	0.85	0.077
1m	5.00	2.60	0.074
2m	5.50	3.60	0.073
3m	2.00	0.17	0.054
4m	1.50	0.17	0.055
5m	0.45	0.13	0.049
6m	3.00	0.19	0.050
7m	4.50	0.90	0.056
8m	8.00	2.10	0.057
9m	9.50	6.50	2.000
10m	10.70	5.00	0.073

Table 5. Size reduction (F_n/P_n) determined according to x_{90}, x_{80} and x_{50} particle sizes for compartments 1 and 2 in survey-1 (n=90, 80, 50)

	Mill feed	Comp-2 inlet (0m)	Mill feed	Comp-2 inlet (0m)	Mill feed	Comp-2 inlet (0m)
	F90 (mm)	P90 (mm)	F80 (mm)	P80 (mm)	F50 (mm)	P50 (mm)
Compartment1	4.2	3.7	1.05	0.85	0.086	0.077
F_n/P_n	1.1		1.2		1.1	
	Comp-2 inlet (0m)	Mill discharge	Comp-2 inlet (0m)	Mill discharge	Comp-2 inlet (0m)	Mill discharge
Compartment2	3.7	0.34	0.85	0.126	0.077	0.048
F_n/P_n	10.9		6.7		1.6	

Table 6. x_{90}, x_{80} and x_{50} particle sizes of mass balanced mill feed and discharge size distributions

Sampling Surveys	Feed F_{90} (mm)	Discharge P_{90} (mm)	Feed F_{80} (mm)	Discharge P_{80} (mm)	Feed F_{50} (mm)	Discharge P_{50} (mm)
Survey-1	4.200	0.340	1.050	0.126	0.086	0.048
Survey-2	3.500	0.230	0.800	0.110	0.097	0.040

Table 7. Overall size reduction (F_n/P_n) determined according to x_{90}, x_{80} and x_{50} particle sizes (n=90, 80, 50)

Sampling Surveys	F_{90}/P_{90}	F_{80}/P_{80}	F_{50}/P_{50}
Survey-1	12.4	8.3	1.8
Survey-2	15.2	7.3	2.4

3.3. Separation Efficiency of the Sepol® Dynamic Air Classifier

The Sepol® high efficiency separator (air classifier) has a high availability, high selectivity, low specific energy consumption, short amortization period and relatively capital cost. Sepol®SV (Standard Version) is equipped with cyclones which collect fine material. There is filter which dedusts the separator. The central material feed provides

uniform material distribution and achieves effective utilization of the separation area. The separating air stream is produced by an external fan and fed to the separating chamber through a spiral-shaped duct. The material is separated into fine and coarse fractions in the separating chamber due to the action of gravitational and airflow forces. Guide vanes at the outlet of the spiral maintain the swirl of the air stream. Rotor blades prevent coarse material from entering the interior of the rotor. The coarse material falls into the grit cone and is returned to the grinding process. The fines are carried by the separating air into the interior of the rotor and are sucked downwards and then carried to the fines collectors (cyclones). Utilisation of the gravitational force significantly reduces the energy requirement of the machine. The dedusted separating air stream is returned to the fan. The fineness and granulometric composition of the finished material (product) can be varied over a large range, primarily by altering the rotor speed and secondarily by controlling the separating air flowrate (www.polysiususa.com).

Efficiency or partition (Tromp) curves were plotted to determine the classification performance of the Sepol® dynamic air classifier in the sampling surveys. The tromp curve indicates the probability of a particle in the air classifier feed that will be returned to the mill (Genç and Benzer, 2017). Partition coefficients were calculated from Equation 1 to plot the efficiency curves.

$$\text{Partition coefficient} = \frac{Uu}{Ff} \times 100 \quad (1)$$

U : Air classifier reject flowrate (t/h)

F : Air classifier feed flowrate (t/h)

u : Percentage of particle size i in air classifier reject stream (%)

f : Percentage of particle size i in air classifier feed stream (%)

Sepol® air classifier feed size distributions are compared in Figure 8 for the sampling surveys. It was determined that, feed size distribution of the air classifier became slightly finer in survey-2. Efficiency curves for the air classifier are given in Figure 9. Performance parameters of the efficiency curves are tabulated in Table 8. Cut size or separation size (d50) defines the size for which 50% of the particles in the feed report to the underflow stream (Svarovsky, 1984). By-pass represents the percentage of feed material reporting to air classifier reject without classification. Fish-hook parameter represents the difference between the maximum percentage of fine material

amount that appears in underflow of the air classifier and the by-pass percentage. As the fish-hook and by-pass amount decrease, separation performance increases. Perfect separation can be achieved with zero fish-hook and by-pass amount.

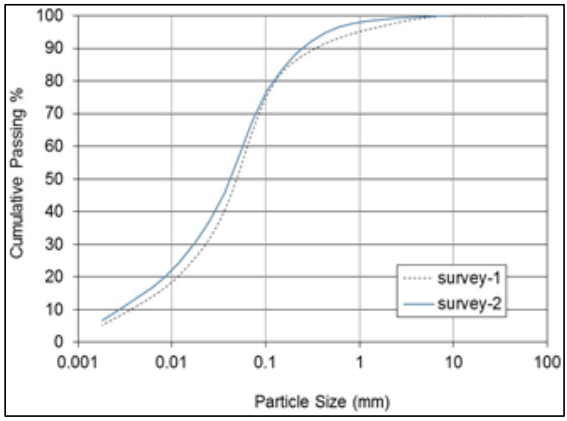


Figure 8. Sepol® air classifier feed size distributions in sampling surveys

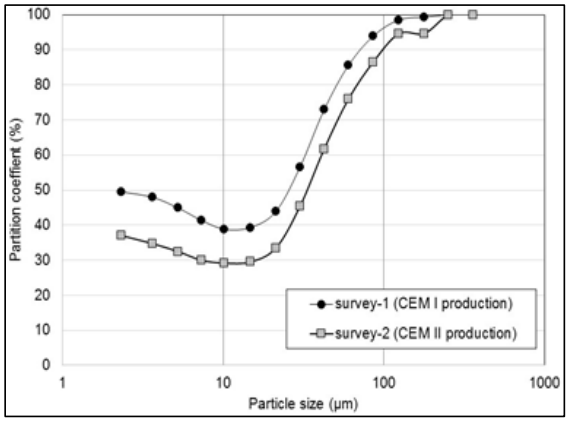


Figure 9. Efficiency curves of the air classifier in survey-1 and survey-2

Table 8. Air classifier performance parameters

Parameters	Survey-1	Survey-2
d_{50} (µm)	25.30	33.20
By-pass (%)	38.85	29.18
Fish-hook (%)	10.65	7.84

Air classifier performance was determined to be higher in CEMII Portland cement production case with lower by-pass and fish-hook per cent values. Grinding aid addition lowered the air classifier feed rate and more finer material was fed to the air classifier. This condition improved the classification performance. Since by-pass

amount decreased in the new operational case, less amount of fine material was rejected to the ball mill which could be one of factors affecting the size reduction performance of the ball mill. Consequently, circulating load was recorded to decrease in survey-2. Recirculation of less fine material to the ball mill will prevent coating and cushioning effects in the mill. It could be concluded that, mill grinding performance is closely related to the classification performance of the separator in the production line.

4. CONCLUSION

Grinding performance of the two-compartment ball mill was improved in CEMII type Portland cement production in which grinding aid was applied as the mill feed size distribution became coarser. Air classifier separation performance was also improved in CEMII type Portland cement production case. Consequently, approximately 12% circuit capacity increase was achieved in CEM II Portland cement production case which lead to decrease the overall energy consumption by 7%. Usage of trass and ash instead of clinker in composite cement production will indirectly effect the fuel consumption which will reduce the CO_2 emmissions. Thus, in the recent years the trend is towards the production of composite cement and CO_2 emmission reduction is one of its reason.

ACKNOWLEDGEMENTS

Authors would like to acknowledge the Turkish Scientific and Technical Research Council (Projects: MISAG 190 and MAG 104M369), Hacettepe University Research Unit (Project: 0202602020) and the researchers involved.

5. REFERENCES

Genç, Ö., Benzer. A.H., 2017. Performance Evaluation of a Conventional Closed Circuit Process at Different Cement Productions. New Trends in Mining, Proceedings of 25th International Mining Congress of Turkey, Antalya, Turkey, pp423.

Hewlett, P.C., 2010. Lea's Chemistry of Cement and Concrete, Fourth ed. Elsevier Butterworth-Heinemann, ISBN: 978-0-7506-6256-7.

Madlool, N.A., Saidur, R., Hossain, M.S., Rahim, N.A., 2011. A critical review on energy use and savings in the cement industries. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 2042-2060.

Svarovsky, L., 1984. Hydrocyclones. Holt, Rinehart & Winson Ltd., Eastbourne.

Thomas, M., 2007. Optimizing the use of fly ash in concrete. Portland Cement Association Publication, USA.

www.epa.gov.tr

www.polysiususa.com

EFFECT OF CONVENTIONAL AND MICROWAVE HEATING ON DRYING OF DRILLING SLUDGE

KONVANSİYONEL VE MİKRODALGA İLE ISITMANIN SONDAJ ÇAMURUNUN KURUTULMASI ÜZERİNE ETKİSİ

Esra TINMAZ KÖSE[1], Soner ÇELEN[2], Suna Özden ÇELİK[1*], Gizem AKIN[1], Aylin AKYILDIZ[3]

1: Namık Kemal University, Çorlu Engineering Faculty, Department of Environmental Engineering, Çorlu/Tekirdağ, TURKEY

2: Namık Kemal University, Çorlu Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, Çorlu/Tekirdağ, TURKEY

3: Namık Kemal University, Çorlu Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, Çorlu/Tekirdağ, TURKEY

*: Corresponding author: sunacelik@nku.edu.tr

ABSTRACT: Exploration, drilling, production, transportation, storage, and refining are the important operations from the exploration to launch of petroleum and /or natural gas. During these periods, as a result of using different chemical substances and techniques, solid, liquid, and gaseous wastes are produced. One of the most important waste generated during drilling activities is drilling sludge (DS). Management of DS is highly complicated because of its high moisture content, complex constituents, and chemical characteristics. Additionally, treatment, transportation, and disposal costs of DS are the other effective issues about the management of DS. Drying process can be defined as an effective solution to reduce sludge mass, and thus to reduce management cost. In this study, conventional and microwave drying of DS was studied to compare the effectiveness of conventional and microwave drying processes. Microwave power levels, drying temperature, drying times, moisture content of the DS, and energy consumption of drying processes were defined as control parameters. Microwave power levels of 120 and 700 W for microwave drying and 60 and 80 ^{o}C for conventional drying were used to dry the DS sample. The results showed that the microwave drying was the more effective in the view of drying times and also energy consumption.

Keywords: Hydrocarbon drilling waste sludge, Moisture, Energy, Conventional drying, Microwave drying

ÖZET: *Arama, sondaj, üretim, nakliye, depolama ve rafinasyon işlemleri petrol ve/veya doğalgazın aranmaya başlamasından transferine kadar olan dönemdeki önemli işlemlerdir. Bu dönemlerde, farklı kimyasal maddeler ve teknikler kullanılarak katı, sıvı ve gazlı atıklar üretilir. Sondaj faaliyetleri sırasında ortaya çıkan en önemli atıklardan biri de sondaj çamurudur (SÇ). SÇ'nun yönetimi, yüksek nem içeriği, karışık bileşenleri ve kimyasal özellikleri nedeniyle oldukça karmaşıktır. Arıtım, taşıma ve bertaraf masrafları, SÇ'nun yönetimi ile ilgili diğer önemli konulardır. Kuruma süreci, çamur miktarını azaltmak ve böylece yönetim maliyetini düşürmek için etkili bir çözüm olarak tanımlanabilir. Bu çalışmada SÇ' nun konvansiyonel ve mikrodalga ile kurutulması incelenmiş ve konvansiyonel ve mikrodalga ile kurutma işlemlerinin etkinliği karşılaştırılmıştır. Mikrodalga güç seviyeleri, kurutma sıcaklığı, kuruma süreleri, SÇ' nun nem içeriği ve kurutma işlemlerinin enerji tüketimi kontrol parametreleri olarak tanımlanmıştır. Mikrodalga ile kurutma için 120 ve 700 W mikrodalga güç seviyeleri ve konvansiyonel ile kurutma için ise 60 ve 80 ^{o}C sıcaklık uygulanmıştır. Sonuçlar, mikrodalga ile kurutmanın, kuruma süreleri ve enerji tüketimi açısından daha etkili olduğunu göstermiştir.*

Anahtar Kelimeler: *Hidrokarbon sondaj atık çamuru, Nem, Enerji, Konvansiyonel kurutma, Mikrodalga ile kurutma,*

1. INTRODUCTION

In parallel with rapidly increasing world population, it has been a rise in fuel demand of the mankind. This situation has led to increasing numbers of petroleum and natural gas, hydrocarbon exploration, and drilling activities. As a result, these relevant activities created a rise in the amounts and the types of the wastes, as well as environmental pollution problems.

In the oil industry, there are several steps namely exploration, drilling, production, transportation, handling, and refining from starting the exploration of oil and/or natural gas to their consumption. During these activities, solid, liquid, and gas wastes are produced due to use of various chemicals and techniques. One of the most important these wastes are drilling mud wastes. Drilling mud (also known as drilling

fluid) is used for cleaning the hole of cuttings created during the drilling process and other special purposes. Drilling mud is prepared by adding various organic, inorganic, and antibacterial chemical additives for controlling the physical and chemical properties. During the drilling process, the cuttings are also carried to the ground within the drilling mud and thus drilling waste mud is produced.

There are on-site (in-situ) and off-site (ex-situ) methods for the removal of hydrocarbon-based (petroleum and natural gas) pollution from soil and groundwater. The ex-situ methods are defined as treatment for polluted soil, rubble material, sludge or industrial wastes, hazardous materials, and wastes in mobile or fixed installations established outsides. The applications used within this method are usually soil washing, thermal treatment, biological treatment (pump & treatment technology), chemical treatment (using adsorption (using GAC), ion exchange, use of organic solvents or water based washing solutions, metal extraction, and solidification/stabilization (Jamieson et al., 1996). On the other hand, applicable in-situ methods include soil vapor extraction, bio-aeration, biological treatment (bioremediation methods), vitrification, on-site soil washing, soil mixing (solidification / stabilization), phytoremediation, thermal desorption, and pumping & refining methods (Hız, 2015).

As mentioned above, there are many different treatment methods about the drilling sludge. However, the drilling sludge is characterized by its high moisture content and low bulk density, which result in a low conversion efficiency as well as difficulties in its collection, storage, and transportation. The high moisture content of the drilling sludge is a critical factor determining its disposal options (Tao et.al, 2006; Zhang et.al, 2016). Drying process is an effective solution to reduce the mass of the sludge and thus to reduce its management cost. Drying is an energy intensive processes, and for that reason it is more important to select the technology that consumes less energy (Chen et.al., 2014).

Microwave drying is a method used for the treatment of a wide variety of waste types and has many potential advantages. Microwave application is a fast and flexible process that can be controlled quickly (selectable), easily controllable (remotely controllable) and accessible to high temperature values. Microwave heating requires less than 1% of the time required for conventional heating methods. Compared to other conventional systems such as conventional drying, it has the advantage of being a

cleaner energy source and energy saving. Microwave application, which can also be used for the in-situ treatment of wastes, is a method that has significant gains in terms of providing a significant reduction in waste volume, treating or immobilizing hazardous compounds that meet the legal requirements for waste handling and storage (Jones et al., 2001).

Microwave drying have been one of the topics investigated in the treatment of various wastes in recent years due to its outstanding features compared to conventional heating methods. In order to reduce the damage caused by wastewater treatment sludge and to reduce domestic wastewater treatment sludge mass (Töreci et al., 2009), microwave application can be carried out in a variety of ways including meat processing (Erden, 2013), food industry (Bezsedes, 2011), olive pine (Çelen et al., 2015; Robinson et al., 2008; Shang et al., 2006; Robinson et al., 2009), and in situ remediation of petroleum hydrocarbons (Chien, 2012), in the treatment of plastic wastes by pyrolysis. Chien (2012) previously conducted laboratory-scale studies on the microwave heating remediation of petroleum hydrocarbons contaminated sites to field measurements. The study suggested that the microwave heating was a permanent remediation method as well as cost effective and time efficient. Moreover, the results showed that polluted areas could be improved to such an extent that they can later be used for agricultural purposes. Shang et al. (2006) investigated the microwave heating method as a new method for the treatment of petroleum-contaminated drill cuttings by examining the thermal desorption of petroleum from the perspective of the influence of power, duration of treatment and moisture content. In the study, it was found that residual oil concentration would decrease considerably due to the microwave treatment for only 20 sec of petroleum-contaminated waste residues. In this study, the drying of drilling sludge via conventional and microwave processes was studied, and the energy consumptions and drying times were compared.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Material and Sample Preparation

In this study, the drilling sludge (DS) was obtained from the petroleum and natural gas drilling operations carried out by Turkish Petroleum (TP) in Thrace Region. The sludge samples were stored at 4 °C before using them for the experimental studies retrieved to

room temperature. The study was conducted in three replicates. The sample with a mass of 183.5±0,5 g was put into glass container of which 15 cm diameter and 0.5 cm height used for the conventional and microwave drying processes. The initial moisture content of the sample was measured with the method of ASTM 3173. For this, 10 g of raw material was dried at 105 °C in an oven for 24 h. The moisture content of DS was measured as 45%.

2.2 Experimental Setup

In order to the microwave drying of DS samples, Beko brand modified domestic microwave oven with 2450 MHz frequency (Figure 1) and 19 liters internal volume was used. During the microwave drying experiments, the moisture losses of the samples were measured by Presica XB 620 M brand precision scale which was put on the microwave oven. Two different microwave power levels of 120 and 700 W were used in this study. The drying experiments were continued until the sample mass decreased below the pre-measured sample mass with moisture content of 20%. This value was determined by preliminary studies.

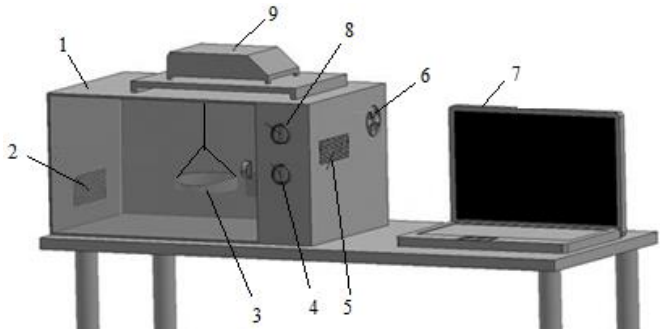


Figure 1. Microwave Drying System (1: Microwave oven, 2: Ventilation holes, 3: Tray, 4: Timer, 5: Magnetron, 6: Fan; 7: Computer, 8: Power switch, 9: Scales)

In the case of the conventional drying of DS samples, Kenton GX brand oven was used. Two different temperature degrees of 60 and 80 °C were chosen in this study. The drying experiments were continued until the moisture content of the sample reached the same content as the microwave drying study. Moisture content according to wet basis (Eq-1), dimensionless moisture ratio (Eq-2) were calculated with the following equations:

$\%m_{wb} = [M_w / (M_w+M_d)]\times 100$ (Eq-1)

$m_r = (m-m_e)/(m_o-m_e)$ (Eq-2)

where; M_d: Dry mass of DS (g),

M_w: Wet mass of DS (g),

m_r : Dimensionless moisture ratio,

m: Moisture content of DS at a specific time,

m_e: Equilibrium moisture content,

m_o: Initial moisture content,

m_{wb}: Moisture content according to wet basis (g water/g wet matter).

Equilibrium moisture content in the microwave (m_e) accepted as zero (Maskan, 2000; Hhen, 2014; Çelen et.al., 2015). Eq-2 was defined as follows for the microwave drying (Eq-3);

$m_r = m / m_o$ (Eq-3)

3. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, the microwave power levels of 120 and 700 W and hot air temperature degrees of 60 and 80 ^oC were used for drying the drilling sludge sample with a mass of 183.5±0,5 g. In Table 1, the microwave power levels, hot air temperature degrees, drying times, moisture ratio and energy consumption values are presented.

Table 1. Moisture ratio and energy consumption

Type of heating	Power and Temperature	Time	Initial Sample Weight (g)	m_{wb}* (g water/g wet matter)	Energy (kW/h)
Microwave	700 W	5,5 min	183.367	0.2139	0.11
	120 W	48 min	183.842	0.1926	0.16
Conventional	60 ^oC	18 h	183.937	0.2044	0.9
	80 ^oC	12 h	183.184	0.2022	0.99

*Calculated according to Eq-1.

The drying experiments were continued until the equal moisture content/ration within MW drying and hot air drying process. The last moisture ratio was obtained about 20±1% for both microwave power levels and hot air temperature degrees while the initial moisture ratio was 45%. As seen from Table 1, as the MW power level was increased from 120 W to 700 W, the drying time decreased from 48 min. to 5,5 min. The energy consumption for 700 and 120 W was 0,11 and 0,16 kW/h, respectively. According to this result, the energy consumption increased about 45.45% because of the

increasing drying time. As the hot air temperature degree was increased from 60 °C to 80 °C, the drying time decreased from 18 h to 12 h which indicated about 33% decrease in the drying time. Additionally, the energy consumption for 60 °C and 80 °C was determined as 0.9 and 0.99 kW/h, respectively. According to this result, the energy consumption increased about 9.1%.

When comparing the energy consumption of the microwave and conventional drying applications for the same moisture content of the sludge, the conventional drying process, compared to the microwave drying process, was resulted in 84% more energy consumption based on the minimum energy consumption (700 W and 60 ºC,) and 88% maximum energy consumption (130 W and 80 ºC).

There was a significant difference in the drying time between the microwave and conventional drying processes for the same moisture content of the sludge. According to Figure 2, lineer decrease was shown in moisture ratio for microwave and conventional drying process time. The increase in drying time resulted with the high energy consumption. As seen from Figure 2, while there was no significant change on the drying of the sludge using the conventional heating, the microwave heating, particularly at 700 W, showed considerable decrease in the sludge mass. These results clearly indicated the microwave heating can be effectively used on the drying of the drilling mud after determining the optimum parameters.

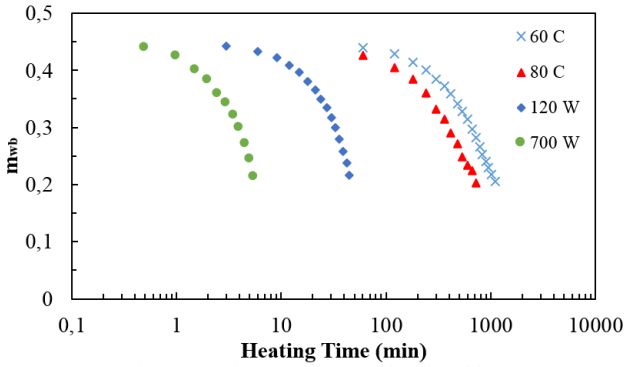


Figure 2. Drying ratio of DS at various MW power level and hot air temperature degree

4. CONCLUSION

According to the result of the study, the drying of the drilling mud at microwave power level of 700 W seems to provide the lowest energy consumption and drying time

compared to the conventional drying. It has been seen that the microwave drying of DS was much more effective than conventional drying in terms of drying time and energy consumption. It was determined that the moisture of the sludge decreased rapidly with the microwave drying which also decreased the drying time for energy saving. Drying of DS, with reducing its weight and volume, will also reduce the sludge collection, treatment, transportation, storage, and disposal costs as well as adverse environmental effects.

REFERENCES

Chien, Y. 2012. Field study of in situ remediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil on site using microwave energy. Journal of Hazardous Materials, 199-200, pp 457-461.

Çelen, S. T., Aktaş S. S., Karabeyoğlu A., Akyıldız, 2015. Zeytin pirinasının mikrodalga enerjisi kullanılarak kurutulması ve uygun ince tabaka modelinin belirlenmesi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi Journal of Tekirdag Agricultural Faculty, 2015: 12 (02).

Hhen Z., Afzal M.T., Salema A.A.,2014. Microwave drying of wastewater sewage aludge. Journal of Clean Energy Technologies, 2 (3).

Maskan, M., 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. Journal of Food Engineering, 44:71-78.

Meredith, R., 1998. Engineers Handbook of Industrial Microwave Heating, London: Institute of Electrical Engineers.

Shang, H., Snape, C.E., Kingman, S.W., Robinson, J.P. 2006. Microwave treatment of oil-contaminated north sea drill cuttings in a high power multimode cavity. Seperation and Purification Technology, 49, 84-90.

Tao T, Peng XF, Lee DJ. Skin layer on thermally dried sludge cake. Dry Technology, 2006;24(8):1047–52.

X.Y. Zhang, M.Q. Chen, Y.W. Huang, F. Xue, 2016. Isothermal hot air drying behavior of municipal sewage sludge briquettes coupled with lignite additive. Original Research Article Fuel, 171, pp 108-115.

DARALAN OLUK İLE ALBİT ZENGİNLEŞTİRİLMESİNDE TİTREŞİMİN ETKİSİ

EFFECT OF VIBRATION ON ALBITE CONCENTRATION BY PINCHED SLUICE

Erdal KARADAĞ[1]*, Taki GÜLER[2]

1: Straton Madencilik A.Ş., Muğla, TÜRKİYE

2: Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Muğla, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: erdalk@straton.com.tr

ÖZET: Albit, bağlayıcılık, alkali eriticilik, anti-korozif ve dayanım kazandırıcı gibi özelliklerinden dolayı özellikle cam, seramik, boya ve plastik üretiminde vazgeçilmez bir endüstriyel hammaddedir. Albit cevherinin, önemli renk verici safsızlıkları demir ve titan içeren mika, rutil, hematit ve limonit gibi minerallerdir. Bu çalışma kapsamında daralan oluk ile albit zenginleştirmesinde ve renk verici safsızlıkların uzaklaştırılmasında titreşimin etkisi incelenmiştir. Karakterizasyon amacıyla gerçekleştirilen XRD, XRF ve metal mikroskobi çalışmaları, cevher örneğinin demir safsızlığı içeren tabakalı mika mineralleri ile yüksek yoğunluklu hematit ve limonit, kil mineralleri ve TiO_2 kaynağı olan rutil ve eser miktarda sfen içerdiğini ortaya koymuştur. Daralan oluk ile albit zenginleştirme işleminde, besleme hızının artışı ile birlikte tabakalaşma olumsuz etkilenmiş ve yapraksı yapılı mika minerali olan biyotitin ayrılamaması nedeniyle konsantre demir içeriği yükselmiştir. En düşük Fe_2O_3 içeriği 0,69 t/h besleme hızında elde edilmiştir. Akış yönüne dik açı ile uygulanan titreşim modifiye daralan olukta zenginleştirme işleminde etkili olmuştur: Düşük titreşim genliğinde tane şekli, yüksek genliklerde ise tane yoğunluğu tabakalaşmada daha etkili olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Albit; Daralan oluk; Titreşim

ABSTRACT: *Albite is an indispensable industrial raw material especially in the production of glass, ceramics, paint and plastics due to its properties like bonding, alkaline softening, anti-corrosive and durability. Important iron and titanium containing coloring impurities of albite ore are mica, rutile, hematite and limonite. This*

study was performed to investigate the effect of vibration on albite concentration by pinched sluice and rejection of coloring impurities. Characterization of ore conducted by XRD, XRF and metal microscopy studies revealed that the ore sample is composed of iron impurity containing sheet-like mica minerals in addition to high density hematite and limonite, clay minerals, and rutile as a source of TiO_2 together with sphene in trace amount. Albite concentration tests by pinched sluice exhibited that stratification was affected adversely by increasing feed rate, and therefore, concentrate iron grade increased due to misreporting of impurity biotite mineral, a sheet-like mica mineral, into concentrate. The lowest Fe_2O_3 grade was determined at 0.69 t/h feed rate. Vibration applied at right angle to the flow direction was observed to be effective on concentration process by pinched sluice: particle shape was observed to have greater impact on stratification in case of lower vibration amplitudes while particle density become effective at higher vibration amplitudes.

Keywords: *Albite; Pinched sluice; Vibration*

1. GİRİŞ

Na-feldspat olarak da isimlendirilen albit, kimyasal formülü $NaAlSi_3O_8$ olan, Mohs ölçeğine göre 6-6,5 sertliğe sahip, ortalama 2,65 g/cm^3 yoğunluklu bir alümina silikattır (Kyonka ve Cook, 2007; Oyman, 2006; Seyrankaya, 2003). Bağlayıcılık özelliği ve düşük ergime sıcaklığından dolayı özellikle cam ve seramik sektörünün önemli bir hammaddedir. Dayanımı iyileştirici özelliği nedeniyle cam üretiminde alüminyum kaynağı olarak albit kullanılır. Cam saydamlığını olumsuz etkilediğinden dolayı albit konsantresi demir oksit içeriğinin, istenilen ürün kalitesine bağlı olmakla birlikte en fazla %0,4 olması istenir. Seramik sektöründe ise ergime sıcaklığını düşürme (alkali eriticilik özelliği) ve seramik ürün pişirme esnasında sıvı faz oluşumunu sağlama özelliğinden dolayı albit konsantresi kullanılır. Eritici ve ark özelliğinden dolayı elektrot üretiminde; anti-korozif ve dayanım kazandırıcı özellikleri nedeniyle dolgu maddesi olarak boya ve plastik üretiminde albit cevher/konsantresi kullanılır (Arcasoy, 1983; MMO, 2010; Olgaç, 1998; Şahin, 2008).

Albit zenginleştirme yöntemlerinde belirleyici olan unsur cevherin yapısı ve oluşumudur. Mikaya bağlı demiroksit oluşumu açısından yüksek tenörlü cevherlerde kuru veya yaş manyetik zenginleştirme başarılı olmaktadır; titan oksit içeriği yüksek

cevherlerde ise flotasyon işlemi zorunlu olmaktadır. Albit konsantresi üretiminde yerçekimi ile zenginleştirme yöntemleri pek tercih edilmezler. Bunun nedenleri arasında, albitten uzaklaştırılmak isteten safsızlıkların, çoğunlukla serbest mineral olarak değil mikaya bağlı olarak bulunması ve mika ile albit arasında bariz bir yoğunluk farkının bulunmamasıdır (Bayraktar vd., 1998, 1999, 2001).

Yerçekimi ile zenginleştirme işleminde ana değişken, taneler arası terminal hız farkıdır. Benzer şekilli taneler, tane boyutu ve yoğunluğuna göre akışkan ortamda belirli bir terminal hız kazanırlar. Tane boyutuna ek olarak tane şekli de tane terminal hızını belirler. Yapraksı yapılı tanelere, geniş yüzey alanlarından dolayı akışkan ortamda daha fazla kaldırma kuvveti uygulanacağından aynı kütleye sahip yapraksı şekilli tanenin terminal hızı daha küçük yüzey alanına sahip olan taneden düşük olacaktır (Gupta ve Yan, 2006; Wills ve Napier-Munn, 2006).

Daralan oluklar, özellikle düşük tenörlü cevherlerin zenginleştirilmesinde ve ön zenginleştirme amacı ile kullanılan, tabaka halinde akışlı bir gravite ayırıcısıdır (Ergün ve Ersayın, 2002). Daralan oluk, besleme tarafında geniş, ürün çıkış tarafında dar olan yamuk şekilli, belirli bir derinliğe sahip, besleme tarafından ürün çıkış tarafına doğru pülp akışını ve tabakalaşmayı sağlamak için eğimli şekilde monte edilen bir tabladır. Akış sürecinde oluk daralması ile birlikte ürün çıkış ağzına doğru, pülp film kalınlığı artar. Ürün çıkış ağzına yerleştirilen ayırıcı bıçak ile düşük terminal hıza sahip tanelerce zengin üst akım ve yüksek terminal hıza sahip tanelerce zengin alt akım oluşturacak şekilde pülp iki ürüne ayrılır. Ayırma verimini iyileştirmek amacı ile şlamı ayrılmış ve dar boyut aralığında sınıflandırılmış cevher beslenir. Çalışma değişkenlerine ve cevherin özelliğine bağlı olarak birden fazla bıçak kullanılarak, birden fazla konsantre veya konsantre ile birlikte ara ürün alınabilir (Ergün ve Ersayın, 2002; Siyahhan ve Ergün, 1999; Yurtsever, 2016).

Titreşim, özellikle ince boyutlu malzemenin sıkılanmasında, eleklerde tane boyutuna göre sınıflandırmada, boyut küçültme süreçlerinde, besleme ünitelerinde olmak üzere cevher hazırlama tesislerinde yaygın olarak uygulanmaktadır (Özkan, 1998; Wills ve Napier-Munn, 2006). Titreşim, mekanik olarak veya ultrasonik dalgaları ile sağlanabilir. Ultrasonik dalgalar yüksek frekansları ile titreşime neden olurlar. Titreşim, pülp ortamında oluşturduğu sıvı kavitasyonları ile tane yüzeyinde yüksek basınçlı sıvı püskürtme etkisi yaratarak tanelerin dağılmasını ve serbest hareket etmesini

sağlar (Mason ve Lorimer, 1988; Alp vd., 2004; Kyllönen vd., 2004). Uygulanan titreşim, sürtünmeyi azaltarak taneleri uygulandığı yönde hareketlendirir (Grönroos, 2010). Titreşimin taneler üzerindeki etkisi, tane boyutuna, yoğunluğuna ve şekline bağlı olarak farklılık gösterir. Yığına uygulanan titreşim, alt tabakalarda iri ve yoğun tanelerin zenginleşmesine neden olur. Benzer şekilde tane şekli de, yığında taneler arası sürtünmeyi etkilediğinden yapraksı şekilli taneler uygulanan titreşim ile yığının üst katmanlarına doğru hareket eder (Stoev, 1993). Bu nedenle, katı-sıvı ayrım işlemlerinde tane çökelme hızını artırarak, susuzlandırma verimini iyileştirme amacıyla titreşim uygulanmaktadır (Önal vd., 2003; Burat, 2011).

Albit cevherinde bulunan mika mineralleri, kırılma esnasında yapraksı yapılarını korurlar ve albite göre öğütülmüş üründe daha iri boyutta kalırlar. Benzer şekilde öğütülebilirliği albite göre güç olan kuvars taneleri de iri boyutta zenginleşirler (Amarante vd., 1997; Özgen, 2008; Bragança vd., 2011). Akışkan ortamda taneye etkiyen kuvvetleri, tane yoğunluğu ile birlikte tane şekli de belirler. Bu nedenle, yakın yoğunlukta olmalarına rağmen tabaka şekilli kırılan mika safsızlıklarının düzensiz şekilde kırılan albit minerallerinden akışkan ortamda ayrılabileceği düşünülmüştür.

Zenginleştirme işleminde ana hedef en düşük atık çıkışı ve en düşük üretim maliyeti ile en yüksek getiriyi sağlamaktır. Üretim maliyetinin düşürülmesi ilk yatırım ve işletme maliyetinin düşürülmesi ve dolayısıyla enerji tüketiminin düşürülmesi ile olasıdır. Çevre dostu üretim teknolojileri geliştirmede temel hedef enerji tüketimini düşürmek ve ayırma verimini iyileştirme üzerine odaklanmıştır. Bu nedenle yoğunluğa dayalı birçok zenginleştirme yöntemine oranla ilk yatırım ve işletme maliyeti çok düşük olmakla birlikte ayırma verimi iyi olmayan daralan oluk, modifiye edilerek çevre dostu bir zenginleştirici geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında albit içerisinde bulunan mika minerallerinin yapraksı kırılma şeklinden faydalanılarak akışkan ortamda, bu modifiye edilmiş daralan oluk ile temizlenebilirliği incelenmiştir.

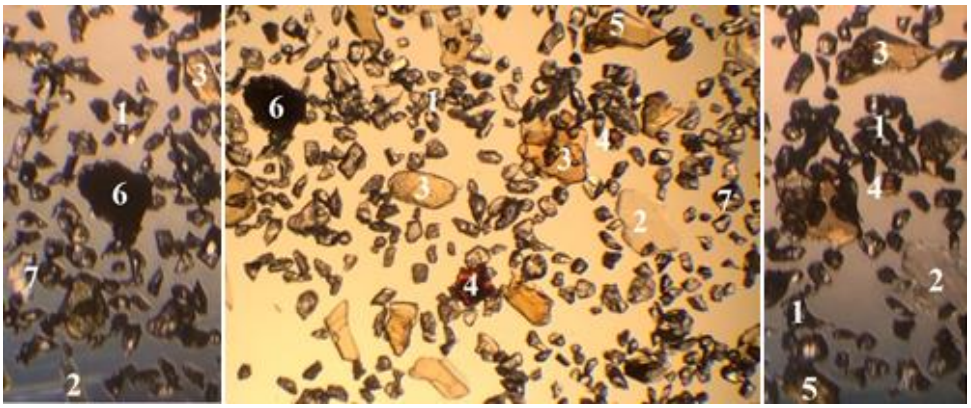
2. MALZEME VE YÖNTEM

Deneysel çalışmalar, Straton Madencilik A.Ş Eskihisar manyetik zenginleştirme devresi besleme ürününden alınan dar boyut aralığında sınıflandırılmış (-300+100 μm) albit cevher örneği üzerinde gerçekleştirilmiştir. Cevher örneği karakterizasyonu XRD, XRF ve optik mikroskobi çalışmalarıyla yapılmıştır. XRF testleri cevher örneğinin alümina

ve toplam alkali oksit oranı açısından market spesifikasyonunu sağladığını, fakat özellikle yüksek Fe_2O_3 oranı nedeniyle cevher zenginleştirme gerektirdiğini ortaya koymuştur (Çizelge 1). Yapılan XRD ve optik mikroskobi çalışmaları, cevher örneğinin albit, kuvars, rutil, mika ve kil mineralleri ile eser miktarda hematit, limonit gibi ağır mineraller içerdiğini ortaya koymuştur (Şekil 1).

Çizelge 1. Cevher örneği kimyasal bileşimi

Ürün	Oksit Tenörü, %							
-300µm+100 µm albit cevher örneği	Fe_2O_3	TiO_2	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MgO
	0,313	0,164	71,735	17,160	0,798	8,366	0,589	0,205



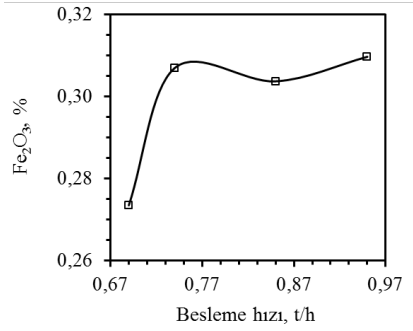
Şekil 1. Cevher örneği polarizan mikroskop görüntüleri (1: albit; 2: muskovit; 3: biyotit; 4: rutil; 5: TiO_2 içeren biyotit; 6: Fe oksitler; 7: kuvars)

Deneyler modifiye edilmiş daralan oluk kullanılarak yapılmıştır. Daralan oluk, daralma açısı 15º olacak şekilde pleksi camdan yapılmıştır. Oluk, derinliği 3 cm, uzunluğu 80 cm, genişliği ise besleme tarafında 24 cm, ürün çıkış tarafında 3 cm olacak şekilde tasarlanmıştır. Daralan oluk yüzeyinde her noktasında eşit pülp derinliğini sağlamak için serbest taşmayla oluk yüzeyine besleme yapılmıştır. Deney süresince homojen pülp katı oranı ve benzer mineralojik dağılım sağlamak için oluk-pülp tankı sisteminde kapalı devre olarak oluk yüzeyine besleme yapılmıştır. Oluk ürün çıkışına seviyesi ayarlanabilir bir ayırıcı bıçak monte edilerek pülp, alt akım ve üst akım olarak iki ürüne ayrılmıştır. Her iki ürün de kapalı devre oluşturmak için tekrar tanka beslenmiştir. Deneysel değişkenlerin ayırma verimine etkisini belirlemek amacıyla alt akımdan örnekler alınmış ve analizleri yapılmıştır.

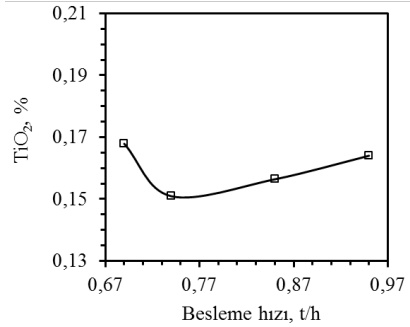
Daralan oluk şasesi, oluk yüzeyine 90° açı ile titreşim uygulayacak şekilde tasarlanarak daralan oluk ile zenginleştirme sistemi modifiye edilmiştir. Deneysel çalışmalarda titreşim motoru olarak 50 Hz frekanslı Vibsis VEM 1 manyetik vibratör kullanılmıştır. Oluk yüzeyine uygulanan titreşim genliği bir potansiyometre ile 1, 2, 3 ve 4 seviyelerine ayarlanmıştır. Bu seviyelerdeki titreşim genliği MEMS type Sense Box 7001 accelerometer cihazı ile sırasıyla 75 μm, 115 μm, 146 μm ve 177 μm ölçülmüştür.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

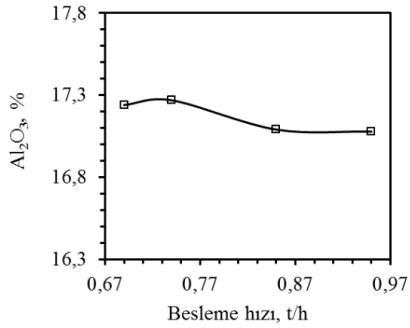
Deneysel çalışmalarda kullanılan albit cevheri örneğindeki en önemli safsızlık olan mika mineralleri, albite yakın yoğunluğa sahip olmakla birlikte boyut küçültme aşamasında farklı şekillerde kırılırlar (Şekil 1). Tabakalı şekilde kırılan mika minerallerinin, kütlesine oranla nispeten düşük yüzey alanlı granül şekilli albitten modifiye daralan oluk ile temizlenebilirliği deneysel olarak incelenmiştir. Tabaka şekilli mika minerallerine uygulanan kaldırma kuvveti, düzensiz granül şekilli albit tanelerine göre daha fazla olacağından dolayı mika minerallerinin akışkan tabakanın üst katmanlarında yoğunlaşması beklenmektedir (Gupta ve Yan, 2006; Wills ve Napier-Munn, 2006). Bu nedenle alt akım konsantre olarak değerlendirilmiştir. Vananın dört farklı kademesinde oluk kapasitesi 0,69 t/h, 0,74 t/h, 0,85 t/h ve 0,95 t/h olarak belirlenmiştir. Bu dört farklı kademede alt akımdan alınan örneklerin kimyasal analizi yapılmış ve besleme hızının ayırma verimine etkisi incelenmiştir (Şekil 2-4).



Şekil 2. Besleme hızının konsantre Fe_2O_3 içeriğine etkisi (Bıçak yüksekliği: %50; Oluk eğimi: 17º; Titreşim uygulanmadı)



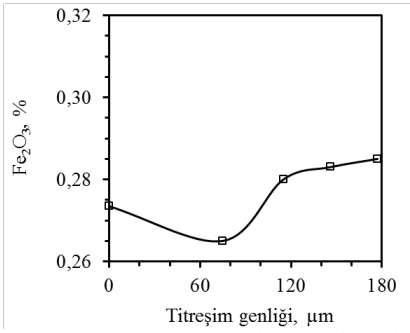
Şekil 3. Besleme hızının konsantre TiO_2 içeriğine etkisi (Bıçak yüksekliği: %50; Oluk eğimi: 17º; Titreşim uygulanmadı)



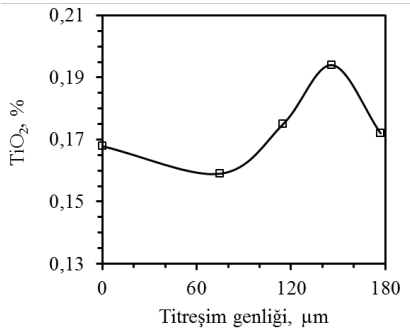
Şekil 4. Besleme hızının konsantre Al_2O_3 içeriğine etkisi (Bıçak yüksekliği: %50; Oluk eğimi: 17º; Titreşim uygulanmadı)

Ürünlerin TiO_2 tenörünü, hem yüksek yoğunluklu rutil hem de nispeten düşük yoğunluklu titan içeren mika mineralleri belirlemektedir. Bu nedenle besleme hızına bağlı olarak konsantre TiO_2 içeriğinde dikkate değer bir değişim gözlenmemiştir. Besleme hızı etkisi, Fe_2O_3 ve Al_2O_3 tenöründe daha belirgin olarak gözlenmiştir. Düşük besleme hızında konsantre Fe_2O_3 tenörü beslemeye göre düşerken, Al_2O_3 tenörü nispeten artmıştır. Cevheri oluşturan minerallerin kimyasal bileşimleri göz önünde bulundurulduğunda düşük alüminalı ve yüksek demirli mika minerali olan biyotitin (Al_2O_3 içeriği: ~%11,76; Fe_2O_3 içeriği: ~%18,42) üst tabakalarda yoğunlaştığı sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla alt akımda kısmi bir zenginleşme olmuştur. Alt akım Fe_2O_3 tenörünün daha fazla düşürülememesi, daralan oluğun çalışma prensibiyle ilişkilendirilebilir. Bununla birlikte cevher içerisinde eser miktarda da olsa yüksek yoğunluklu hematit ve limonit gibi demir içeren minerallerin varlığı, konsantre Fe_2O_3 tenörünün daha fazla düşürülememesini açıklamaktadır. Besleme hızının artışı ile birlikte tabakalaşma bozulmuş ve mikanın ayrılamaması nedeniyle konsantre demir içeriği yükselmiştir.

Akışkan yatağa uygulanan titreşim, tanelerin serbest hareket etmelerine katkı sağlar (Mason ve Lorimer, 1988; Alp vd., 2004; Kyllönen vd., 2004). Bu nedenle daralan oluk şasesi modifiye edilmiş, oluk altından pülp akış yönü ile 90º açıda oluk yüzeyine titreşim uygulayacak şekilde titreşim motoru konumlandırılmıştır. Uygulanan titreşim genliği, titreşim motoru potansiyometresinin dört farklı kademesi için sırasıyla 75 µm, 115 µm, 146 µm ve 177 µm ölçülmüştür. Titreşim genliğinin albit-mika ayrımına etkisi Şekil 5-7'de verilmiştir.



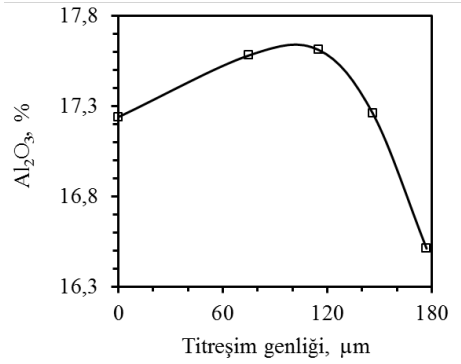
Şekil 5. Titreşim genliğinin konsantre Fe_2O_3 içeriğine etkisi (Besleme hızı: 0,69 t/h; Bıçak yüksekliği: %50; Oluk eğimi: 17º; Titreşim uygulama açısı: 90º)



Şekil 6. Titreşim genliğinin konsantre TiO_2 içeriğine etkisi (Besleme hızı: 0,69 t/h; Bıçak yüksekliği: %50; Oluk eğimi: 17º; Titreşim uygulama açısı: 90º)

Titreşim uygulanması konsantre kalitesini önemli oranda etkilemiştir. Düşük genlikte titreşim uygulandığında konsantre tenörü nispeten düşmüştür. Titreşim genliği artırıldığında ise büyük olasılıkla tabakalaşmanın olumsuz etkilenmesi sonucu konsantre Fe_2O_3 tenörü artmıştır. TiO_2 tenöründe de benzer eğilim gözlenmiş, 75 µm titreşim genliğinde konsantre TiO_2 içeriği hafif oranda düşmüştür. Al_2O_3 içeriğinde ise hemen hemen tam tersi bir eğilim gözlenmiştir: titreşim uygulanması ile birlikte düşük genliklerde Al_2O_3 içeriği artmış, titreşim genliğinin artışı ile birlikte düşmüştür.

Konsantre Al_2O_3 içeriğini etkileyen temel bileşenlerin, yüksek Al_2O_3 içeren albit (Al_2O_3 içeriği: %20,35) ve düşük oranda Al_2O_3 içeren biyotit (Al_2O_3 içeriği: % 11,76) olduğu göz önünde bulundurulduğunda titreşimin, faz ayrımını ve zenginleştirmeyi olumlu yönde etkilediği görülür. Düşük genliklerde titreşim uygulandığında demir oranı yüksek, alümina oranı düşük, tabakalı bir mika minerali olan biyotit, pülp film tabakasının üst katmanlarında yoğunlaşmıştır. Titreşim genliği artırıldığında ise TiO_2 içeriğinde önemli bir artışın gözlenmiştir. Titreşim genliğinin artırılması, mika minerallerinin ayrılmasını olumsuz etkilemiştir. Bununla birlikte yüksek yoğunluklu rutil tanelerinin pülp filminin alt tabakalarında zenginleşmesine neden olmuştur. En yüksek genlikte ise ayrım işlemi nispeten başarısız olmuş, konsantre Fe_2O_3 ve TiO_2 tenör değerleri, titreşimin, sürtünmeyi azaltarak uygulandığı yönde taneleri hareketlendirmesinden dolayı (Grönroos, 2010) besleme tenör değerlerine doğru yaklaşmış ve tabakalaşma bozulmuştur. Elde edilen deneysel verilerden, düşük genliklerde tane şeklinin, yüksek genliklerde ise tane yoğunluğunun tabakalaşmada daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 7. Titreşim genliğinin konsantre Al_2O_3 içeriğine etkisi (Besleme hızı: 0,69 t/h; Bıçak yüksekliği: %50; Oluk eğimi: 17º; Titreşim uygulama açısı: 90º)

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında modifiye daralan oluk ile albit cevherinin zenginleştirilmesine titreşimin etkisi incelenmiştir. Straton Madencilik A.Ş. Eskihisar albit zenginleştirme tesisi manyetik zenginleştirme devresi beslemesinden alınan cevher örneği üzerinde uygulanan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Manyetik konsantratör beslemesi, toplam alkali oranı %9,753 olan albit cevheridir. Cevher, demir safsızlığı içeren tabakalı mika mineralleri ile yüksek

yoğunluklu hematit ve limonit, kil mineralleri ve TiO_2 kaynağı olan rutil ve eser miktarda sfen içermektedir.

- Daralan oluk ile albit zenginleştirme işleminde besleme hızının artışı ile birlikte tabakalaşma bozulmuş ve yapraksı yapılı mika minerali olan biyotitin ayrılamaması nedeniyle konsantre demir içeriği yükselmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda en düşük Fe2O3 içeriği 0,69 t/h besleme hızında elde edilmiştir.
- Akış yönüne dik açı ile uygulanan titreşim modifiye daralan olukta zenginleştirme işleminde etkili olmuştur: Düşük titreşim genliğinde tane şekli, yüksek genliklerde ise tane yoğunluğu tabakalaşmada daha etkili olmuştur.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın yapılmasına olanak sağlayan Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (Proje No.2015/51) finansal desteğinden dolayı teşekkür eder.

5. KAYNAKLAR

Alp, İ., Deveci, H., Özdağ, H., (2004) Processing tincal ores using ultrasonic waves, *II. Uluslararası Bor Sempozyumu*, 23-25 Eylül, Eskişehir, ss. 59-64.

Amarante M. M., Botelho de Souza, A. and Machado Leite, M.(1997) *Benefication of a feldspar ore for applicationin the ceramic industry, SAAIM, pp. 193-196.*

Arcasoy, A., 1983. Seramik Teknolojisi, *Marmara üniversitesi yayını* No: 457, İstanbul, 277 s.

Bayraktar, L, Ersayın, S., Gülsoy, Ö.Y., 1998, Magnetic Separation and Flotation of Albite Ore, Innovations in Mineral and Coal Processing, pp. 315-318.

Bayraktar, İ., Ersayın, S., Gülsoy, Ö.Y., Ekmekçi, Z., Can, M., 1999, Temel Seramik Hammaddelerimizdeki (Feldispat, Kuvars ve Kaolin) Kalite Sorunları ve Çözüm Önerileri*, 3. End. Ham. Semp., TMMOB Maden Mühendisleri Odası, s.22-33, İzmir.*

Bayraktar, İ., Gülsoy, Ö.Y., Can, N.M., Orhan, E.C., 2001, Feldispatların Zenginleştirilmesi, 4.Endustriyel Hammaddeler Sempozyumu, s.118-119, Ekim.

Bragança, S.R., Lengler, H.C.M., Bergmann, C.P., (2011) Spodumene-bearing rocks as flux for triaxial ceramic bodies, *Advances in Applied Ceramics*, 110(5): 293-300.

Burat, F. (2011) *Küçük Boyutlu Kömürlerin SusuzlandırılmasındaUltrasonik ve Mekanik Titreşim Mekanizmalarının Etkilerinin Araştırılması*, Doktora, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 182.

Ergun, L. ve Ersayin, S. (2002) Studies on pinched sluice concentration, Part II: Characterization of flow over a pinched sluice, Minerals Engineering, 15(6): 437-446.

Grönroos, A., 2010. Ultrasonically Enhanced Disintegration: Polymers, Sludge, and Contaminated Soil, University of Jyväskylä Department of Chemistry, Ph.D. Thesis, 100 s.

Gupta, A., Yan, D.S., 2006. Mineral Processing Design and Operations: An Introduction, Elsevier, 693 s.

Kyllönen, H., Pirkonen, P., Hintikka, V., Parvinen, P., Grönroos, A., Sekki H., 2004. Ultrasonically aided mineral processing technique for remediation of soil contaminated by heavy metals, Ultrasonics Sonochemistry, 11: 211-216.

Kyonka, C. J. ve Cook, L. R., 2007. The Propotites Of Feldspars And Their Use İn Whitewares, İllionis University, University Of İllionis Engineering Experiment Station Bulletin, 422:1-42.

Mason, T.J., Lorimer, J.P., 1988. Sonochemistry: Theory, Applications and Use of Ultrasound in Chemistry, Ellis Horwood Limited, Chichester, England, 252 s.

MMO, 2010. Maden Mühendisleri Odası, Feldspat Raporu, Şubat, 2010, Ankara, 40 s.

Olgaç, M. (1998) *Yüksek Titanyum İçerikli Albit Cevherinin Değerlendirilmesi,* Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 86.

Oyman, T., *Batı Anadolu'da Metamorfikler İçindeki Granit ve Pegmatitlere Ait Turmalinlerin Kristal Kimyası,* Deü Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi Cilt: 8 Sayı: 2 S. 47-65 Mayıs 2006

Önal, G., 1985. Cevher Hazırlamada Flotasyon Dısındaki Zenginlestirme Yöntemleri. İTÜ, Maden Fakültesi, 153s, İstanbul.

Özgen, S. (2008) *Silikatların Flotasyonunda Mineral Özelliklerinin Flotasyon Başarısına Etkisi*, Yüksek Lisans, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 112.

Özkan, Ş.G. (1998) *Ultrasonik İşlemlerin Flotasyon Üzerindeki Etkileri*, İstanbul.

Seyrankaya, A., 2003. Muğla-Milas Yöresi Albit Cevherlerinden Mika ve Ağır Minerallerin Flotasyon ile Uzaklastırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, 5 (3), İzmir.

Siyahhan S. ve Ergün Ş. L., 1999. Daralan oluklarda tane boyu, besleme tenörü ve şlam miktarının ayrım performansı üzerindeki etkisi, Türkiye 16. Madencilik Kongresi, 313-319.

Stoev, S., 1993. Pneumatic vibroacoustical classification, Türkiye XII. Madencilik Kongresi, ss.609-618.

Şahin, C. (2008) *Aydın/Çine Yöresi Gözlü Gnayslarının Zenginleşebilirliğinin Araştırılması,* Yüksek Lisans, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 215.

Wills, B.A. ve Napier-Munn, T.J. (2006) *Wills' Mineral Processing Technology*, Elsevier, England, 456 s.

Yurtsever, S. (2016) *Kuvars Zenginleştirme Tesis Atıklarının Modifiye Daralan Oluk ile Zenginleştirilebilirliğinin İncelenmesi,* Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 58 s.

RECOVERY OF TAILINGS OF TAMAZERT-ALGERIA KAOLIN CONCENTRATOR FOR VARIOUS END-USES

TAMAZERT-CEZAYIR KAOLIN ZENGİNLEŞTİRME TESİSİ ATIKLARININ FARKLI SON KULLANIM ALANLARI İÇİN KAZANIMI

Abdellali BOUZENZANA

University of Tébessa, Department of Mining Engineering, ALGERIA

bouz_abdli@yahoo.fr

ABSTRACT: The factory of the Kaolin El Milia is installed in order to process and produce a kaolin who's the essential concentrate is kaolinite. This concentrate is intended for different branches of industry such as the sanitary ceramics, the production of the plastic industry, paper... etc. During the production of Kaolin, the chain product 4 rejections in very large quantities in the dumps located right next to the treatment plant, and which occupies a very large surface and an environmental problem. These rejects are classified according to size symbolized as suite: G0, G00, GW and GW2. The first two rejects (G0, G00) are rich in silica and can be recovered valued and used in several sectors of industry such as hollow glass or as addition in concrete....etc. The other two (GW and GW2) have poor silica are considered as particular clays. These four releases present very large quantities and present a serious problem at the unit level and considerably reduce the efficiency of the plant since only 100 trucks 13 are considered to be concentrated. For this study, it is proposed to develop an effective method for the recovery and recovery of these rejects by increasing the silica content to diversify their use in the different industrial branches

Keywords : Kaolin, rejections, valorisation, environmental problemn Tamazert

ÖZET: *Kaolen El Milia tesisi, kaolinit konsantresi başta olmak üzere kaolen üretmek amacıyla kurulmuştur. Bu konsantre, sıhhi tesisat seramiği, plastik ve kağıt üretimi gibi dört farklı endüstri dalı için üretilmektedir. Kaolen üretimi sırasında açığa çıkan atıklar, tesisin hemen yanında yer alan çok geniş bir alanda stoklandıklarından dolayı geniş bir alan işgal edilerek çevresel problemlere neden olmaktadır. Bu atıklar*

ebatlarına göre sınıflandırılmıştır: G0, G00, GW, GW2. İlk iki atık (G0, G00) silika bakımından zengindir ve boşluklu cam ve beton katkısı gibi endüstrinin çeşitli alanlarında kullanılmaları için kazanılabilecek kalitededir. Silika açısından fakir olan diğer ikisi (GW ve GW2) ise özel killer olarak kabul edilirler. Ortaya çıkan bu dört atık çok büyük miktarlardadır. İşletmenin üretim verimini önemli ölçüde düşürmekte ve ancak 100 kamyondan 13'ünün konsantre olarak üretilebildiği düşünülürse ciddi bir sorun oluşturmaktadırlar. Bu çalışmada, silikon içeriğini artırarak farklı sanayi kollarındaki kullanımlarını arttırmak için bu atıkların geri kazanımı ve geri kazanımı için etkin bir yöntem geliştirilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Kaolen, Atık, Değerlendirme, Tamazert çevresel problemi*

1. INTRODUCTION

Kaolin is a mineral mixture of aluminosilicate, the main constituent of which is kaolinite with particular accessory minerals such as dickite, nakrite or halloysite. Its crystalline structure is formed of stacked hexagonal plates, which determine the rheological and plastic properties of kaolin. The physical and chemical properties of kaolin remain decisive for its use in industry. Kaolin is used in several industries such as paper making, ceramics, as filler products for pesticides, rubber, fertilizers, cosmetics, pharmaceuticals, laminated glass, in building materials refractory materials, etc.

Currently, Algeria needs a large amount of kaolin. The current production is 25,000 tons/year of merchant kaolin for ceramic industries and paper requirements. The reserves in place are 20 million tons. Spread over four Kaolin deposits with economic potential that have already been identified, including Tamazert, Sidi Ali Bounab, Chekfa and Djebel Debbagh. The study area is an integral part of the small Kabylie, it shows a seemingly simple device, but has complex structural and metamorphic characteristics.

1.1 Deposit Tamazert

The deposit consists of four bodies (central, Sidi Kader, North and East) which are grouped on an area of 2000m of side. They are located in a powerful NE-SW-oriented gneiss formation with a mean dip directed towards SW. This formation is flanked on

south versons by a series of micaschiste with two micas and garnets. Total reserves in B + C1 amounted to 8.15 MT. They are 67% localized in the central body, 28% in the northern body and 5.1% in the body Sidi Kader. The reserves some B1 2.4 MT, represent 29.5% of the total reserves of the upper level and are all in the central body. (BOUILLIN 1977). The deposit is operated by the open pit method, with steps of 4 to 5 m high, and a width of 14 m minimum. Dump trucks with a capacity of 14 tonnes are used to transport the ore to the processing plant. (Operation Department of the El Milia Kaolin Complex) 2014.

1.2 Treatment

The treatment is based on the gravimetric method in order to obtain a concentrate called Kaolinite. During processing, the percentage of iron Fe_2O_3 increases from 1.22% to 2.02%, which poses a problem on the quality of the kaolin since it gives a pinkish coloring harmful to the manufacture of the paper. For this reason, a whitening station is installed which works batchwise in stirred tanks treated with an antacid, after having acidified to a pH of minus three with sulfuric acid (H_2SO_4), Sodium hydroxide (NaOH) to obtain a white kaolin (Whiteness 83%) called F3B. (El-Milia Kaolin Treatment Plant 2014). The treatment chain yields four releases consisting essentially of quartz sand, which are classified according to the size and silica content (Table 1).

Table 1. Silica content of the treatment rejects

Rejects	Silica content (SiO_2)%
GOO	96.8
GO	86.6
GW1	72.2
GW2	55.5

Discharges GOO and GO originate from the first phase of concentration, while releases GW1 and GW2 originate from the underflow of fine-cut classifiers. First two releases can be used in the glass industry after appropriate treatment. The scheme comprises a mechanical preparation (grinding and classification) to obtain the required size (0.5 to 0.1 mm) required by the glass industry followed by selective flotation to remove impurities such as micas, heavy minerals and the feldspars. The concentrate of the flotation has a silica content of 98% and a very limited iron content which does not exceed 0.08% ideal for the hollow glass industry. The quality of this concentrate can be

improved for the production of semi-white glass by the installation of a magnetic separation which will reduce the iron content to minus 0.05% and increase the silica content to 99% (Bouabdallah 2009).

2. MATERIAL AND METHODS

2.1 Characteristics of Rejects

Chemical analysis of four groups of rejected materials, and their sizi distributions are given in Table 2 and Table 3-4, respectively.

Table 2. Chemical analysis of the rejects

Element, %	GOO	GO	GW1	GW2
SiO_2	96.8	96.60	72.2	55.5
Al_2O_3	1.82	8.03	16.9	28.9
Fe_2O_3	0.12	0.37	0.71	0.83
TiO_2	0.08	0.26	0.43	0.53
CaO	0.01	0.01	0.03	0.05
MgO	0.05	0.26	0.54	0.58
Na_2O	0.10	0.19	0.37	0.20
K_2O	0.43	2.15	4.17	4.44
P_2O_5	0.01	0.01	0.01	0.02
BaO	0.02	0.03	0.05	0.05
P.A.F	0.60	1.88	4.22	8.68

Table 3. Granulometric analysis of the GOO and GO rejects

Dimension, mm	GOO	GO
-8+4	7.0	-
-4+2	40	-
-2+1	95	0.1
-1+0.5	-	13.5
-0.5+0.25	-	32.5
-0.25+0.1	-	65
-0.1+0.063	-	81.5
-0.063+0.025	-	94.3
-0.025+0	-	5.7

Table 4. Particle size analysis of the GW1 and GW2 discharges

Dimension, mm	GW1	GW2
-2.5+1.25	42.5	-
-1.25+1.00	0.1	-
-0+0.50	8.0	0.3
-0.5+0.45	80	13.5
-0.45+0.25	94.8	40
-0.25+0.10	-	94.5
-0.1+0.05	-	97.8
-0.05+0.025	-	99.4
-0.025+0.0125	-	0.6

2.2 Standards Required for Sand in the Glass Industry

Table 5. Classification of the Qualities of the sands according to their contents of elements.

Quality	SiO_2, min %	Fe_2O_3, max %	TiO_2, max %	Al_2O_3, max %	CaO, max %	SO_3, max %	Na_2O	K_2O
superior	99.5	0.005	0.02	0.15	0.10	0.01		
1	99.5	0.010	0.02	0.20	0.10	0.01		
1b	99.4	0.015	0.03	0.30	0.10	0.01		
2	99.3	0.020	0.05	0.40	0.10	0.01	N.L	N.L
3	98.5	0.030	0.08	0.80	0.20	0.02		
4	98.0	0.050	0.08	0.80	0.20	0.02		
5	97.5	0.080	0.10	0.80	0.30	0.05		
6	95.0	1.00	0.20	1.50	1.50	0.15		

***N.L:** No limits

Table 6. ENAVA requirements for the use of sand in various glass industries

Use	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	Cr_2O_3
Flat glass	+99	-0.02	-0.10	-0.001
Hollow glass	+98	-0.05	-0.10	-
bottles	+99	-0.015	-0.15	-0.001
Crystal	+98	-0.04	-0.10	-0.001
Flaconnage	+99.3	-0.02	-0.10	-
glassware	+98	-0.08	-0.10	-
Glass bricks	+98	-0.08	-0.05	-
Optical glass	+99.3	≤ 0.015	-0.05	-0.001

Granulometry required: Flat glass -0.8 + 0.1

Other drinks -0.6 + 0.1

3. RESULS (PROPOSED SCHEME FOR SAND VALUATION)

a) Grinding: GOO sand (20 to 1.5 mm) is introduced into a grinder with a special material shielding and flint balls to avoid contaminating it with iron. At the exit of the crusher the GOO is mixed with the sand Go with a smaller particle size (1.5 to 0.9 mm). This operation gives us sand with an 89% silica content.

b) Classification: The glass industry requires a granulometry of 0.1 to 0.5 mm to have the product is screened on a vibrating sieve with two polyurethane cloth one 0.5 mm and the second 0.1 mm to have three products.

- Product> 0.5 mm
- Product between 0.5 and 0.1 mm
- Product <0.1 mm

The sand above 0.5 mm returns to the grinder. The fraction between 0.5 to 0.1 mm is oriented towards flotation to eliminate impurities while the product less than 0.1 mm is eliminated from the circuit.

c) Flotation: The glass fraction 0.5 to 0.1 mm is floated in an acidic medium with Ph of less than 3 with a collector suitable for the removal of heavy minerals from micas and feldspars. The concentrate obtained has a cilice content of about 98% and an iron content of 0.08%.

d) Magnetic separation this iron content is suitable for the hollow glass industry. For the semi-white glass, if necessary, a high-intensity magnetic separation for the reduction of the iron is installed at minus 0.05% (Figure 1).

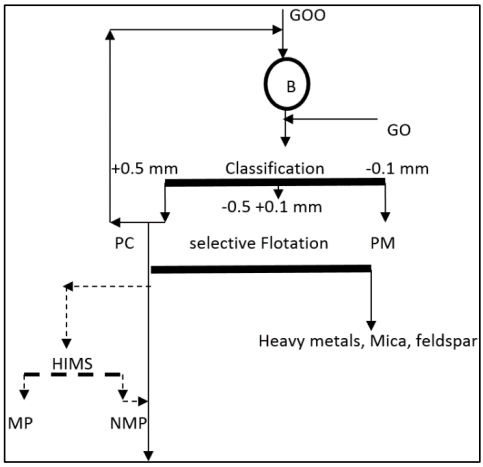


Figure 1: Proposed scheme for the valuation of GOO and GO discharges

4. CONCLUSION

The study of the discharges of Tamazert kaolin demonstrates that this rejection is very rich in silica and very close to the requirements and standards fixed for the manufacture of hollow glass, but to diversify its use there must be a complementary treatment such as Proposed in this study. In addition to increasing the silica content, it is very important to reduce impurities to the standards required for other uses. In addition to the diversification of the use, this treatment will allow the mill to dispose of these quantities of rejects, which will have a positive impact on the company's environment.

REFERENCES

Bouillin J.P (1977) Alpine Geology of the Little Kabylie of Collo and El-Milia (Algeria) (Thesis sc).

Operation Report (Operation Department of the El Milia Kaolin Complex) 2014.

Documentation ‘’ENOF’’ National Non-Ferrous Minerals Company (El-Milia Kaolin Treatment Plant " jijel ''2014

Operation guide (analysis method) NERTEC, laboratory service of the El Milia kaolin complex p-1,2,3,4,5,6,7,59,60,47,48,49,50,41.

Bouabdallah Soufiane (2009) Thesis: Study of the valuation of kaolin by-products

Pb-Zn MADENİ PROSES ARTIKLARININ ELEKTROKİNETİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF ELECTROKINETIC PROPERTIES OF Pb-Zn MINE PROCESS TAILINGS

Orhan ÖZDEMİR, Deniz ADIGÜZEL, Yasin BAKTARHAN, Serkan TÜYLÜ, Ataç BAŞÇETİN*

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34320, Avcılar, İstanbul, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: atac@istanbul.edu.tr

ÖZET: Günümüzde madencilik sektöründe ortaya çıkan yüksek miktardaki proses artıklarının yerüstünde depolanması çevresel açıdan birçok sorun oluşturmaktadır. Özelikle bazı artıkların içerdiği pirit (FeS_2) ya da protit (FeS) gibi sülfür mineralleri ortamdaki su ve oksijen ile reaksiyona girerek okside olmaktadır. Bu durum pH değerine bağlı olarak ortamın asiditesi ve çözünebilirliğini de değiştirmekte ve literatürde asit maden drenajı (AMD) olarak bilinmektedir. Bu çalışmada Marmara bölgesinde yer alan bir Pb-Zn yer altı madeni proses artıkları kullanılmıştır. Asidik ve bazik şartlarda yapılan pH profilleri sonucunda numunenin pH 9 civarında bir buffer pH'ya ulaştığı görülmüştür. Ayrıca zeta potansiyel sonuçları da numunenin tüm pH değerlerinde negatif yüzey yüke sahip olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar varlığında artık numunesinin depolanmasının çevre açısından bir probleme yol açmayacağı ortaya konmuştur. Ama ilkim şartlarına bağlı olarak yapılacak pilot çaplı testler bunu daha net ortaya koyacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kurşun-çinko, Proses artık, Elektrokinetik özellikler

ABSTRACT: *Disposal of a high amount of process tailings of mining industry on a surface has created many environmental problems. Especially, the tailings, which contain sulphur minerals such as pyrite (FeS_2) or pyrotite (FeS) affects the acidity and dissolution level of the medium through oxidation after reacting with water and oxygen depending on pH. This situation changes acidity of medium and solubility depending on pH, and it is known as acid mine drainage (AMD) in literature. In this study, the*

process tailings obtained from a Pb-Zn mine were used. First, the physical, mineralogical, and chemical properties of the samples were determined. Then, the electrokinetic properties if the samples were determined using pH profile and zeta potential experiments. The measurements carried out at acidic and basic pH values showed that the sample had a buffer pH around 9. Moreover, the zeta potential experiments indicated that the sample had negative surface charge at all pH values. Based on these results, it can be concluded that the disposal of the tailings will not cause any problem in terms of environmental. However, pilot scale tests carried out under climate conditions will make this clearer.

Keywords: *Lead-zinc, Process tailings, Electrokinetic properties*

1. GİRİŞ

Maden proses artıkları, maden işletmelerinde ocakta kazılan tüvenan cevherin öğütülerek ince taneli bir granülometriye dönüştürülmesinden sonra cevher kazanımı için uygulanan fiziksel ya da fizikokimyasal işlemlerden geriye kalan, yüksek su içerikli ve güncel ekonomik değeri olmayan malzeme olarak ifade edilebilir. Bu formdaki artıkların artık barajlarında geleneksel yöntemlerle depolanması güvenlik ve çevresel hususlar açısından tehlikeler ve riskler barındırmaktadır. Özellikle atmosferik koşullara maruz kalan artıklar, doğal akıntılar yoluyla yüzeyden taşınabileceği gibi, sızıntı ve katmanlar arası emilim yolları ile de yeraltı sularına karışarak barındırdığı doğal ortamı kirletebilir (Çetiner ve diğ., 2006; Meggyes ve Debreczeni, 2006). Madenlerde drenaj sularının pH değeri kuvvetli bazikten kuvvetli asidiğe geniş bir aralıkta değişkenlik gösterebilmektedir (Rebecca ve diğ., 2007). Embile vd (2016), Pb-Zn artıkları ile ilgili çalışmalarında sızıntı suyu pH değerlerini 7-8 arasında, Benzozua vd. (2004) Altın artıkları ile ilgili çalışmalarında sızıntı suyu pH değerlerini 7-9 arasında ve Demers ve Bussière (2008) Bakır artıkları ile ilgili çalışmalarında sızıntı suyu pH değerlerini 3-9 arasında belirlemişlerdir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine göre (2004), madencilik endüstrisinde artık sularının alıcı ortama deşarjında pH değeri 6-9 aralığında olması gerekmektedir.

Minerallerin asit ortamında bozuşmalarına bağlı olarak alıcı ortama metal salınır. Artan metal konsantrasyonu da suda metal zehirliliğine sebep olur. Genel olarak metallerin asitli ortamda çözünürlükleri artmaktadır. Başta Fe, Mn ve Al olmak üzere

Ca, Mg, Cu, Pb, Zn, Co, As ve Cd gibi metal ve ağır metal iyonları çözeltiye geçmektedir (Karadeniz, 2008; Peng ve diğ., 2014; Giri and Singh, 2015). Sulara taşınan ağır metaller aşırı derecede seyrelirler ve kısmen karbonat, sülfat, sülfür şeklinde katı bileşik oluşturarak su tabanına çöker ve bu bölgede zenginleşirler (Kahvecioğlu ve diğ., 2001; Guo ve diğ., 2015). Ayrıca yüzey suları ve yeraltı suları, temas halinde oldukları toprak ve kayaç malzemeden mineral çözerler. Bu kapsamda çözünen ana iyonlar; sodyum (Na^{+}), potasyum (K^{+}), kalsiyum (Ca^{+2}), magnezyum (Mg^{+2}), bikarbonat (HCO_3^{-}), klor (Cl^{-}), karbonat (CO_3^{-2}) ve sülfat (SO_4^{-2})'tır (Dasca˘lu ve diğ., 2015).

Su kirliliğinde bir diğer önemli konu ise Asit Maden Drenajı (AMD) oluşumu veya oluşma riskidir. Bünyesinde sülfürlü demir minerali (pirit ve pirotin) bulunduran metalik maden sahalarında, demir minerallerinin nemli ortamda oksitlenmeye maruz kalmasıyla gelişen tepkimeler sonucu, sulu ortama proton (H+ iyonu) vermesi ve çözeltinin asidik niteliğe bürünmesi sonucu AMD (Acid Mine Drainage) oluşmaktadır. Maden artıklarının su, oksijen ve mikroorganizmalar yardımı ile sülfürlü mineralleri çözündürüp asiditesini sülfürük metal iyonlarına bağlı olarak yükseltme olasılığı bulunmaktadır. Asit oluşumunu engelleyebilmek için, oksidasyon reaksiyonunu meydana getiren esas elementler (sülfit, su veya oksijen) üzerine yoğunlaşmak gerekir (Dagenais ve diğ., 2005; Demers ve diğ., 2009; Jia ve diğ., 2015). AMD riskinin belirlenmesi sırasında, ilk adım artık içerisindeki kükürt oranı tespit edilerek asit potansiyeli (AP) değerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra, örtü tabakasındaki asit nötürleştirici malzeme sayısallaştırılarak nötralizasyon potansiyeli (NP) hesaplanır. AP ve NP için bulunan değerlerin birimleri aynıdır. Aralarındaki orana bakılarak numunenin asit üreten mi, yoksa tüketen mi olduğu belirlenir. Buna göre NP\AP değeri 1'den küçük olması durumunda AMD riski bulunmaktadır (David, 2003; Verburg, 2001; Karadeniz, 2008; Smith vd., 1974).

Bu çalışmada, Marmara bölgesinde yer alan bir Pb-Zn yer altı madeni proses artıklarının yerüstünde depolanması sırasında oluşabilecek riskler çevresel açıdan değerlendirilmiş ve bu artıkların iklimsel koşullar altında depolanabilirliği ortaya konulmuştur.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada Marmara bölgesinde yer alan bir Pb-Zn yer altı madeninin flotasyon tesisi artıkları kullanılmıştır. Söz konusu Pb-Zn yer altı madeni proses artıkları ilk önce fiziksel, mineralojik ve kimyasal analizler ile karakterize edilmiştir. Daha sonra Pb-Zn yer altı madeni proses artıklarının doğal pH, asidik pH ve bazik pH değerlerindeki davranışları incelenerek pH profilleri çıkartılmıştır. Bu amaçla, 0,5 g numune 50 mL saf su içerisine (%1 katı oranı) atıldıktan hemen sonra zamana bağlı olarak süspansiyonun pH değerleri ölçülmüş ve buna bağlı olarak süspansiyonların pH profilleri elde edilmiştir. Asidik ve bazik pH değerleri için ise ilk önce saf suyun pH'sı istenilen pH değerlerine (2, 3, 10 ve 11) göre ayarlanmış ondan sonra artık numunesi pH'sı sabit suyun içerisine atılarak yine zamana bağlı olarak süspansiyonların pH değerleri ölçülmüştür.

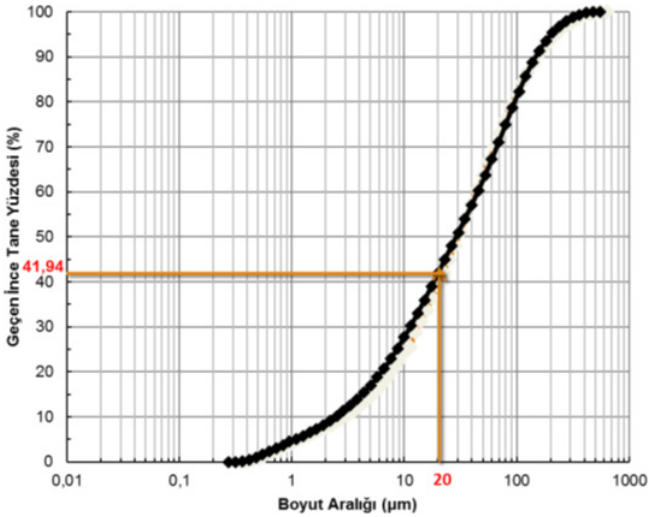
Zeta potansiyel ölçümleri elektroforez yöntemi ile ölçüm yapan Brookhaven marka ZetaPlus model Zeta Potansiyel Ölçüm Cihazı ile yapılmıştır. Deneyler %1 katı konsantrasyonunda gerçekleştirilmiştir. Karıştırma işlemi bir beher içerisinde manyetik karıştırıcı yardımıyla 20 dk süreyle 500 dev/dk hızda gerçekleştirilmiştir. Kondisyon işleminden sonra iri tanelerin çökmesi için belli bir süre beklenmiştir. Daha sonra beherden alınan temsili süspansiyon zetametre cihazının hücresine (küvet) transfer edilerek artık numunesinin zeta potansiyel değeri ölçülmüştür. Her bir pH değeri için zeta potansiyel değeri 20 ölçümün ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Standart hata ise yaklaşık 1-2 mV olarak bulunmuştur. Süspansiyon pH'sı 0,1 M HCl ve NaOH çözeltileri kullanılarak ayarlanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Karakterizasyon

3.1.1 Fiziksel özellikleri

Kurşun-Çinko flotasyon işlemi artıklarının tane boyut analizi sonucu d_{10}, d_{50} ve d_{90} boyutları sırasıyla 2,83, 33,17 ve 169,09 µm olarak bulunmuştur (Şekil 1). Artık malzemesinin tane boyutu dağılımı TS 1500 standardına göre %8'i kil, %72'si silt ve geriye kalan %20'lik kısmı ince kum boyutlarından oluştuğu görülmektedir. Artık malzemesinin yoğunluğu helyum piknometre analizi ile 3,5 g/cm^3, BET analizi yöntemine göre de spesifik yüzey alanı 3,698 m^2/g olarak bulunmuştur.



Şekil 1. Artık numunesinin tane boyut dağılım eğrisi

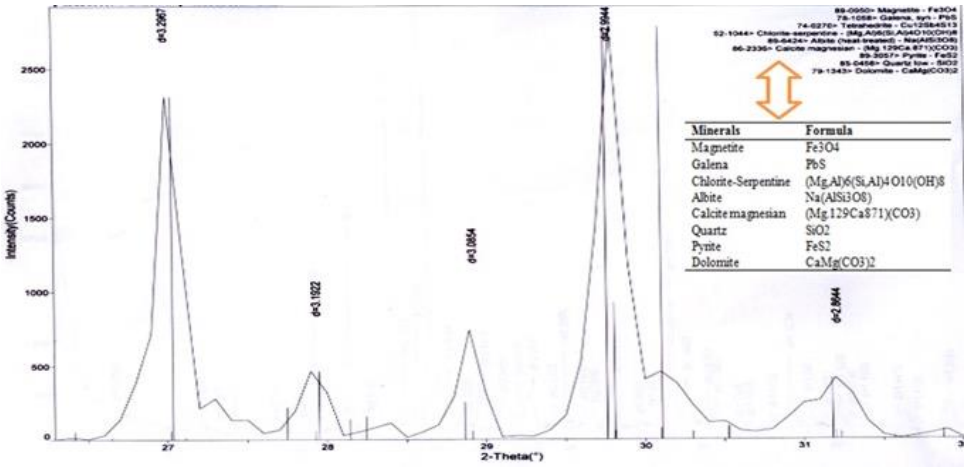
3.1.2 Mineralojik analiz

Artık numunesi X-Işını Kırınım (XRD) analiz sonucuna göre, öncelikli olarak kalsit ($CaCO_3$), dolomit [$CaMg(CO_3)_2$]ve kuvars (SiO_2) daha sonra ise sırasıyla feldspat grubu mineralleri (albit $Na(AlSi_3O_8)$), pirit (FeS_2), kil grubu mineraller ve mika grubu minerallerin artığın içerisinde yer aldıkları belirlenmiştir (Şekil 2). Ayrıca kil grubu minerallerin varlığı, atığın tane boyu dağılımına göre %8 kil boyutunda malzeme barındırdığı sonucunu desteklemektedir. Bu sonuca göre artık malzemesinin taşıdığı ağır metal mobilizasyonunu engelleyebilme ve malzemeyi doygun bir halde tutabilme özelliğinin olduğu söylenebilir. Artıkta yer alan mika grubu minerallerinden muskovit "$(KAl_2(Al_2Si_3O_{10})(OH)_2$" ve biyotit "$(K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}(F,OH)_2)$", ortamda oluşan asiditeyi nötürleştirme potansiyeli olan bazı minerallere örnek olarak verilebilir.

3.1.3 Kimyasal analiz

Artık malzemesinin ICP-MS cihazı ile yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre artık malzeme içerisinde en fazla %36 değeri ile kuvars minerali bulunmaktadır. CaO ise, cevher zonunun yan kayacının kireçtaşı olması ve flotasyon işleminde şist ve piritin çöktürülmesinde ve pülpün pH değerini ayarlamada kireç kullanılmasından dolayı %23 değeri ile katı artığın içerdiği en yüksek değerlerden biri olarak gözükmektedir. Demirin ağırlıklı olarak piritten, alüminyumun albitten geldiği ifade edilebilmektedir. Kızdırma kaybı değerlerine (LOI) bakıldığında ise

organik maddeler ve uçucu bileşiklerin artık malzemesinin yaklaşık %12'sini oluşturduğu belirlenmiştir. Ağır metallerden olan Cu, Pb, Zn, As ve Cd değerlerinin EPA'da belirtilen maksimum değerleri (sırasıyla 110, 110, 270, 33 ve 4) aştığı tespit edilmiştir. Bu orandaki metallerin, çevresel açıdan toprak ve sular üzerinde önemli oranda toksisite oluşturması beklenir (Su Kirliliği Yön., 2004; Şimşek ve diğ., 2012).



Şekil 2. Artık numunesinin XRD sonucu

Çizelge 1. Artık numunesinin elementel analiz sonuçları

Temel Oksitler (%)										
SiO_2	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**MgO**	**CaO**	**Na_2O**	**K_2O**	**TiO_2**	**P_2O_5**	**MnO**	**Cr_2O_3**
36,19	8,08	13,58	2,54	23,26	0,20	2,45	0,29	0,08	0,038	0,01
Baz ve Değerli Metaller (ppm)										
Mo	**Cu**	**Pb**	**Zn**	**Ni**	**As**	**Cd**	**Sb**	**Bi**	**Ag**	**Au**
5,7	217,2	1500,1	1548	29,4	601,8	8,2	23,6	26,5	3,7	0,055
	Ba	**Co**	**Rb**	**Sn**	**Sr**	**V**	**W**	**Zr**	**Hg**	
	404	15,7	76,4	11	191,3	62	44,6	76,8	0,37	
Nadir Toprak Elementleri (ppm)										
La	**Ce**	**Pr**	**Nd**	**Sm**	**Eu**	**Gd**	**Tb**	**Dy**	**Ho**	**Er**
30,4	57,2	6,00	20,9	3,86	0,99	3,37	0,54	2,87	0,55	1,62
			Tm	**Yb**	**Lu**	**Y**	**Sc**			
			0,27	1,58	0,23	17,2	7			
Radyoaktif Elementler (ppm) ve Diğer Değerler (%)										
Th	**U**						**TOT/C**	**TOT/S**	**LOI**	**Toplam**
9,0	6,4						3,16	7,49	12,4	99,48

Kimyasal analizler sonucunda, artık numunesinde "S" oranı tespit edilmiş ve artık malzemesinin asit potansiyeli (AP) değeri hesaplanarak, AMD riski açısından değerlendirilmiştir. Asit ve nötralize potansiyelleri modifiye asit-baz hesaplama (ABA) (Acid Base Accounting) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre atık

numunesinin %7,44'ünün "S" olduğu tespit edilmiş ve Ortalama AP değeri yaklaşık olarak 233 kg $CaCO_3$/t olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, mineralojik ve kimyasal analiz sonuçlarına göre, numunedeki NP'nin kaynağının Ca ve Mg içeren mineraller olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca %20 pülpte katı oranındaki (PKO) artık filtre edilerek proses suyununda özellikleri saptanmıştır (Çizelge 2). Elde edilen sonuçlar varlığında Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğindeki (2004) Tablo 4.7'de yer alan maden sanayi atık sularının alıcı ortama deşarj standartlarına göre Askıda Katı Madde (AKM) değerleri aşılmamaktadır. Ayrıca 3,668 mS/cm Ec değerine karşılık Toplam Çözünmüş Madde (TDS) değeri 1834 mg/L (g/t) olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla suda yüksek oranda TDS değeri (>2000) bulunmadığı ve artık boru hatlarının iç çeperinde çözünen katı partiküllerin tabakalaşmaya neden olmayacağı söylenebilir.

Çizelge 2. Artık numunesinin proses suyu analizi

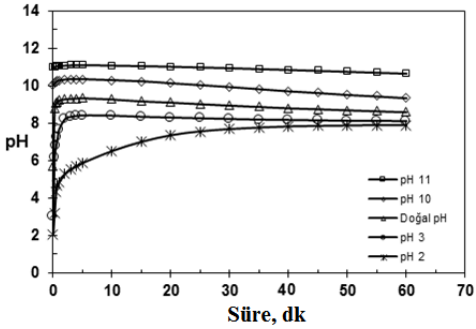
pH	11,83
İletkenlik (mS/cm)	3,668
Yoğunluk (g/cm^3)	1,004
Bulanıklık (NTU)	16,85
Alkalinite (mg/L OH^-)	4317,92
AKM (mg/L)	2,106
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	27,53
SO_4^{-2} (mg/L)	679,18
SO_3^{-2} (mg/L)	118,21

Ayrıca bu numunenin depolanması sonucu yağmurlama sızıntı suyunun da pH'sı 7,34, iletkenliği de 2,44 ms/cm olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar açıkça artık numunesinin depolanmasının çevre açısından bir AMD riski oluşturmadığını göstermiştir. Ancak farklı iklim koşullar altında numunenin depolanması ele alınması gereken en önemli konulardan biridir.

3.2 pH Profili

Artık numunesinin elektrokinetik özelliklerinin tespiti amacıyla farklı pH'larda numunenin pH profili çıkartılmıştır. Bu sonuçlar varlığında numunenin süreye bağlı olarak ulaşacağı buffer pH bulunmaya çalışılmıştır. Şekil 3'de artık numunesinin pH'ya bağlı olarak farklı sürelerde elde edilen pH değişimi görülmektedir. Şekil 3'den görüldüğü üzere her pH değerinde numune pH'sının bazik bölgede buffer bir pH'ya

ulaştığı görülmüştür. Bu sonuçlar varlığında, artık numunesinden süreye bağlı olarak SiO_2 ve Al_2O_3'ün büyük bir kısmının çözündüğü ve çözünme olayı durduktan sonra da pH'nın dengeye ulaştığı söylenebilir (Ozdemir ve Celik, 2002).



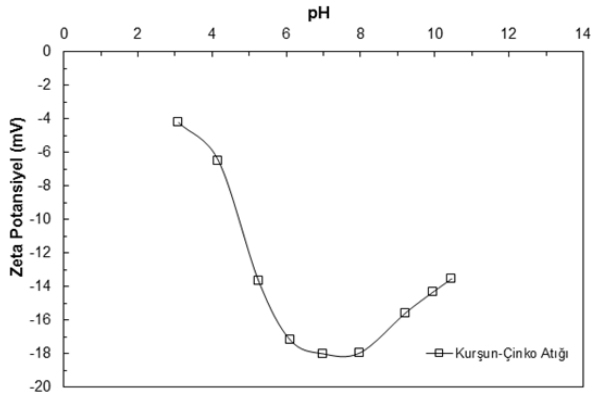
Şekil 3. Artık numunesinin farklı pH değerlerinde pH profilleri

3.3. Zeta Potansiyel Ölçümleri

Artık numunesinin zeta potansiyel-pH profilini ortaya çıkarmak için farklı pH değerlerinde numunenin zeta potansiyel değerleri ölçülmüştür. Şekil 4'de numunenin zeta potansiyel-pH profili görülmektedir. Şekil 4'den görüldüğü üzere numunenin yüzey yükü her pH değerinden negatif bulunmuş ve herhangi bir sıfır yük noktası (syn) bulunamamıştır. Bunun sebebinin ortama geçen Si^{+4}, Al^{+3} veya Ca^{+2} gibi iyonların etkisidir. SYN ortamda bulunan iyonlara bağlı olarak değişmektedir. Bilindiği üzere ortamdaki Al^{+3}, Ca^{+2} ve Mg^{+2} gibi iyonların varlığıyla bu değer yukarılara pH 10 gibi değerlere ulaşırken Si^{+4} gibi iyonların varlığında bu değer aşağılara çekilmektedir (Ozdemir ve Celik, 2002).

Sonuçları AMD açısından incelediğimizde ise artık bünyesinde bulunan pirit, pirotin gibi demir minerallerinin oksitlenmesiyle asiditesi yükselen su, bünyesindeki karbonatlarla temas ettiğinde onları çözündürmektedir. Bu sırada asit tüketimiyle ortam pH'sı yükselme eğilimine girer. Ortamın nötürleşmesinde en etkin mineraller kalsit ve dolomittir. Bu iki mineralinde artık malzeme içerisinde yer aldığı XRD analiz sonuçlarında görülmektedir. Artık malzeme içerisinde yer alan diğer bir mineral ise albit minerali olup, artıkta bulunan sodyum (Na) ağırlıklı bir feldspat mineralidir. Kalsit ve dolomit türü karbonatların asitli ortamı yüksek nötürleştirme potansiyeline karşın, daha yavaş çözünen albitler (plajioklaslar) ve K-feldspatlar gibi kayaç oluşturan bazı mineraller, karbonatlara oranla AMD riskine karşı daha güçlü tampon kapasitesine

sahiptir (Karadeniz, 2008). Artık numunesinin elektrokinetik özellikleri de elde edilen bu sonuçları teyit etmektedir.



Şekil 4. Artık numunesinin zeta potansiyel-pH profili

4. SONUÇLAR

Cevherlerin üretimi ve zenginleştirilmesi işlemleri sonucunda, özellikle metalik cevherler de önemli miktarda çözünebilen sülfür içeriği yüksek artıklar açığa çıkmaktadır. Zenginleştirme amaçlı kullanılan kimyasal maddeleri de içeren bu artıkların çevreye olan olumsuz etkileri çoktur. Bünyesinde sülfürlü demir minerali bulunduran metalik maden sahalarında, maden artıklarının su, oksijen ve mikroorganizmalar yardımı ile sülfürlü mineralleri çözündürüp asiditesini yükseltme olasılığı bulunmaktadır. Böylece ortamdaki sular asidik karakter kazanır ve ortamın pH seviyesi düşer. Asidi nötralize etmek için yeterli alkali mineral ortamda yoksa, ortaya çıkan sızıntı suyu asidik hale gelir. Asit Maden Drenajı olarak tanımlanan AMD, madencilik sektörü açısından en önemli çevresel sorunlardan biri olmaya devam etmektedir. Asit oluşumunu engellemek için, oksidasyon reaksiyonları doğrudan etkileyen unsurları kontrol etmek gerekir. Bu çalışma sonucu elde edilen sonuçlar varlığında artık numunesinin depolanmasının çevre açısından bir AMD riski oluşturmadığını göstermiştir. Ancak farklı iklim koşullar altında numunenin depolanması ele alınması gereken en önemli konulardan biridir.

KAYNAKLAR

Benzaazoua, M., Bussière, B., Dagenais, A.-M., Archambault, M., 2004. Kinetic tests comparison and interpretation for prediction of the Joutel tailings acid generation potential. Environ. Geol. 46, 1086.

Çetiner, E.G., Ünver, B. ve Hindistan, M.A., 2006. Maden Atıkları İle İlgili Mevzuat: Avrupa Birliği ve Türkiye. Madencilik, Cilt 45, Sayı 1, s. 23-34.

Dagenais A., Aubertin M., Bussière, B., Martin V., 2005. Large scale applications of covers with capillary barrier effects to control the production of acid mine drainage. Post-Mining, November 16-17, Nancy, France.

Dasca˘lu D., Pitulice L., Ionel R., Bizerea-Spiridon O., 2015. The usage of a zeolitic composite for quality improvement of copper contaminated mining wastewaters. Int. J. Environ. Sci. Technol., 12:2285–2298.

David, L.F., 2003. Acid-Base Accounting. *USGS Billings Symposium / ASMR Annual Meeting Assessing the Toxicity Potential of Mine-Waste Piles Workshop*, U.S. Department of the Interior.

Demers I., ve Bussière. B. 2008. Repeatability evaluation of instrumented column tests in acid mine drainage prediction and cover efficiency evaluation, GeoEdmonton'08/GéoEdmonton2008.

Demers I., Bussie`re B., Mbonimpa M., and Benzaazoua M., 2009. Oxygen diffusion and consumption in low-sulphide tailings covers. Can. Geotech. J. 46: 454–469.

Embile Jr., R, Walder I., Madai F., Mo´ricz F., Rzepka P., Walder P., 2016. Grain size effects on mine water quality and acid/neutral rock drainage production in kinetic testing using recsk porphyry skarn cu–zn deposit rocks. Mine Water Environ, 35:421–434.

Giri S. and Singh A. K., 2015. Human health risk and ecological risk assessment of metals in fishes, shrimps and sediment from a tropical river. Int. J. Environ. Sci. Technol., 12:2349–2362.

Guo P. Y., Liu Y., Wen X., Chen S. F., 2015. Effects of algicide on the growth of Microcystis flos-aquae and adsorption capacity to heavy metals. Int. J. Environ. Sci. Technol., 12:2339–2348.

Jia Y., Maurice C. and Öhlander B., 2015. Metal mobilization in tailings covered with alkaline residue products: results from a leaching test using fly ash, green liquor dregs, and lime mud. Mine Water Environ, 34:270–287.

Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., 2001. Metallerin Çevresel Etkileri-I'' İTÜ, Metalürji ve Malzeme Müh. Bölümü, *Metalurji Dergisi*.136, İstanbul, 47-53.

Karadeniz, M., 2008. Sülfürlü madenlerin sorunu asit maden drenajı ve çözümü. TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Fersa Matbaacılık, Ankara, syf: 231, ISBN: 978-9944-89-600-9.

Meggyes, T. and Debreczeni, A., 2006. Paste technology for tailings management. Land Contamination& Reclamation, 14(4), 2006 EPP Publications Ltd.

Ozdemir, O ve Celik, M.S., 2002. Characterization and recovery of lignitic fly ash byproducts from the Tuncbilek power station. Canadian Metallurgical Quarterly, 41(2), 143-150.

Peng X., Liang C. and Li S., 2014. Immobilization of phosphorus, copper, zinc and arsenic in swine manure by activated red mud. Environ Earth Sci., 71:2005–2014.

Rebecca A. Adler, Marius Claassen, Linda Godfrey, and Anthony R. Turton, 2015. Water, mining, and waste: an historical and economic perspective on conflict management in South Africa. The Economics of Peace and Security Journal, 2(2), 33-41.

Smith, R.M., Grube, W.E., Arkle, T.A., Sobek, A.A., 1974. Mine spoil potentials for soil and water quality. U.S. EPA 670/2-74-070, Washington, DC.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 2004. Resmi Gazete Tarihi: 31.12.2004 Resmi Gazete Sayısı: 25687.

Şimşek, C., Gündüz, O. ve Elçi, A., 2012, "Terkedilmiş Balya (Balıkesir) Pb-Zn Maden Atıklarının Ağır Metal ve Doğal Radyoaktivite İçeriği ve Çevre Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi", Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, Cilt:2, Sayı:1, s:43-55.

Verburg, R. B., 2001. Use of paste technology for tailings disposal: potential environmental benefits and requirements for geochemical characterization. IMWA Symposium, 24-28 April 2001, Belo Horizonte, Brazil.

YÜKSEK FIRIN VE ÇELİKHANE ÇAMURLARINDAN HİDROMETALURJİK YÖNTEMLE ÇİNKONUN UZAKLAŞTIRILMASI

REMOVAL OF ZINC FROM BLAST FURNACE AND BASIC OXYGEN FURNACE SLUDGES USING HYDROMETALLURGICAL METHOD

Didem Nedret İNCEOĞLU, İsmail ÖZBAY*, Bilge ÖZBAY

Kocaeli Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: iozbay@kocaeli.edu.tr

ÖZET: Entegre demir çelik tesislerinde yüksek fırın ve çelikhane bacalarında sulu sistemlerle tutulan tozların yeniden kazanılmasına yönelik çalışmalar atıkların değerlendirilmesi ve hammadde tüketiminden tasarruf edilmesi anlamında büyük önem taşımaktadır. Bu işletmelerde cevherin kok ile indirgenmesi yüksek fırın prosesi ile sağlanmaktadır. Yüksek gaz debileri ile cevher ve kokun tozlaşma kapasiteleri bir araya geldiğinde sulu toz toplayıcılarda parçacık boyu küçük, safsızlık oranı yüksek, öte yandan safsızlıklarından arındırıldığında ve peletlendiğinde hammadde olarak girdi sağlayacak miktarda demir oksit ve karbon içeriğine sahip atık çamurlar tutulmaktadır. Bu çalışmada yüksek fırın ve çelikhane çamurlarından çinko uzaklaştırılırken demir ve karbon içeriğinin korunması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak "Değiştirilmiş NaOH liç" yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca tüketilen NaOH'ın yeniden kullanılabilirliği sağlamak için de sedimentasyon yöntemi kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Demir-çelik, Yüksek fırın baca çamuru, Baca tozu geri kazanımı, NaOH liçi

ABSTRACT: *In integrated iron and steel plants, the chimney dust of the blast furnace and the basic oxygen furnace are hold in scrubbers. It is an important case to find out a feasible technique for recycling of the sludge in terms of waste management and reduction of raw material consumption. In the iron production process, ore is reduced by carbon combustion in a blast furnace. The sludge has very small particle size, many impurities but also has high iron and carbon content which can be used as raw material*

if it is pelletized after cleaning from impurities. In this study, it was aimed to protect iron and carbon content while removing zinc from the sludges of blast furnace and the basic oxygen furnace With this aim, concentrated NaOH leaching technique was applied. Furthermore, sedimentation technique is used for NaOH recovery.
Keywords: *Iron-steel, Blast furnace sludge, Chimney dust recycling, NaOH leaching*

1. GİRİŞ

Genel olarak entegre çelik tesislerinde demir-çelik üretim süreci boyunca büyük miktarda katı atık üretilmektedir. Bu katı atıkların bünyesinde ekonomik olarak geri kazanıldığında yeniden kullanılabilen birçok değerli ürün bulunmaktadır (Das vd., 2002). Çelik üretimi esnasında çoğunlukla demir oksitlerden ve demir içermeyen metallerden oluşan bir toz yan ürün oluşumu meydana gelmektedir. Toz içerisindeki ortalama demir konsantrasyonu ağırlıkça yaklaşık %30 civarında olmaktadır (Leclerc vd., 2002). Demir-çelik üretimi sırasında üretilen tozlar, kullanılan hammeddelerden yada özellikle üretim sırasında çinko galvanizli çeliklerin geri dönüşütürülmesi prosesinden dolayı genelde çinko ile kirlenmektedir (Steer ve Griffiths, 2013). Oluşan tozun bünyesinde ZnO ve $ZnFe_2O_4$ olarak ağırlıkça yaklaşık % 20 oranında bulunan çinko, demir içermeyen metaller arasında en önemlisidir (Leclerc vd., 2002). Bu tozlar ağır metal içeriklerinden dolayı tehlikeli atık olarak değerlendirilirken (Zeydabadi vd., 1997), yönetimi genellikle iki şekilde gerçekleştirilmektedir. En yaygın kullanılan yöntem, hidrolik bağlayıcılar kullanılarak katılaştırma/stabilizasyon sonrası tehlikeli atık depolama alanlarında depolanmasıdır. Diğer arıtma yöntemi ise hidrometalurji veya pirometalurji yöntemlerle zenginleştirmedir. Bu yöntemlerdeki amaç çinko veya kurşun gibi demir içermeyan metalleri ekstrakte etmek, matrisin geri kazanımına olanak sağlamak ve onların depolanarak bertarafından kaçınmaktır (Leclerc vd., 2002). Çeliğin sürdülebilir üretiminde bu atıkların yeniden kullanımı ve geri dönüşümü hem çevresel hem de ekonomik olarak önemli bir rol oynamaktadır.

Demir üreten yüksek fırınlardaki indirgeme atmosferinde, sıcaklık 2000 ^oC'nin üzerine ulaşabilmektedir. Bu sıcaklıklarda mevcut çinko bileşikleri, bir metal için nispeten düşük kaynama noktasına (907 °C) sahip olan metalik çinkoya kimyasal olarak indirgenir. Bu çinko, okside olabildiği yerde kapalı gaz sistemi içerisinde uçucu hale geçer ve fırının soğuk bölgelerinde tekrar yoğunlaşarak, demir ve karbon gibi toz

partiküllerine veya soğuk yüzeylere çökerler (Steer ve Griffiths, 2013). Yüksek fırınlardaki çinko kirliliği refrakter astarın yıpranması ve aşınması gibi işletme sorunlarına neden olabilmektedir. Sonuç olarak bu sorunlar çinko kirliliğini ortadan kaldırmak veya azaltmaya yönelik araştırmaların gelişmesine neden olmuştur.

Çinko kirliliği tipik seviyeleri, ergitme makineleri gibi harici ekipmanlar ile çinkonun geri kazanımının ekonomik olmasını azaltmasına karşın, yüksek demir seviyeleri ve atılması durumunda karşı karşıya kalınacak çevresel sorumluluklar, demir veya çelik üretim prosesinde toz geri kazanımına yönelik çalışmaların artmasına neden olmaktadır (Steer ve Griffiths, 2013). Dünya çapında bir çok çelik tesisi, işletme verimliliğini ve ekonomisini iyileştirme amacı ile bu atıklar için yenilikçi önlemler almaktadır. Bu sadece atıkların bertaraf edilme maliyeti ve çevre kirliliğini düşürmekle kalmamakta, aynı zamanda mevcut prosese yakıt oranı avantajları getirerek önemli miktarda demir cevheri akı malzemesi sağlamakta ve hammadde tüketiminden tasarruf edilmesi anlamında büyük önem taşımaktadır (Das vd.,2002).

1.1 Çalışmanın Amacı

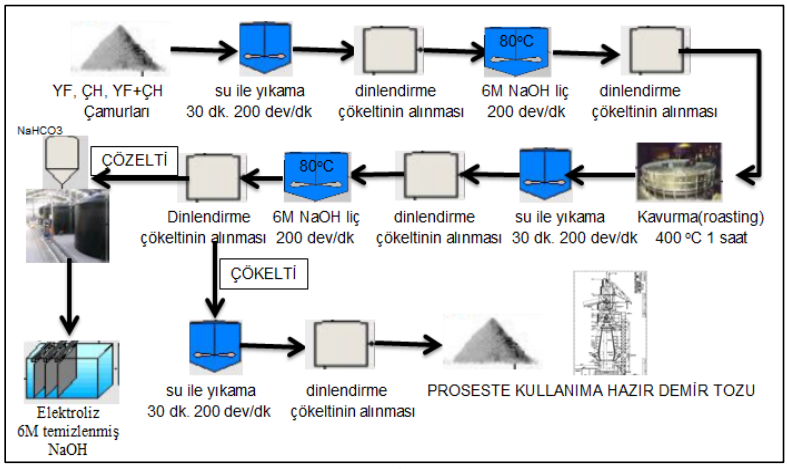
Entegre demir çelik tesislerinde yüksek fırın ve çelikhane proseslerinde bacalardan sulu filtreler ile tutulan çamurlarda yüksek oranda Fe_2O_3 (%30-50), karbon (%8-25) ve düşük oranlarda çinko, alüminyum, kurşun vb metal oksitler yer almaktadır. Bu çamurların demir içeriğinin yeniden üretime kazandırılabilmesi için metal oksitlerden arındırılması için hidrometalurjik ve pirometalurjik yöntemler kullanılmaktadır.

Pirometalurjik çinko giderimi için döner fırın, plazma veya alevli yanma reaktörleri kullanılabilmekte ve %90 düzeyinde başarı elde edilebilmektedir (Nakamura, 2005). Ancak 1000°C sıcaklıklara ulaşan bu yöntem (Roine,2006) ile çamur içerisindeki karbonun yanarak tamamen kaybedilmesi söz konusudur. H_2SO_4 ile yapılacak asidik liç yönteminde ise demirin de çözünerek kaybedilmesi gündeme gelmektedir. (Cruells vd., 1992).

Prosesin özelliğine, fabrikanın imkan ve amaçlarına, beklenen verim/maliyet oranlarına göre işletmelerde farklı yöntemler uygulanmaktadır. Bu çalışmada sodyum hidroksit (NaOH) liçi ile demir dışı metal oksitlerin uzaklaştırılması incelenirken, kullanılan NaOH çözeltisinin yeniden kullanımını sağlamak için sedimentasyon yöntemi geliştirilmek hedeflenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Yapılan literatür çalışmasından elde edilen bilgiler ışığında NaOH, çinko oksit (ZnO) ve kurşunoksit (PbO) yapısının çözülmesini sağlayarak Zn^{+2} ve Pb^{+2} olarak sıvıya geçmesine neden olurken demir ve karbonun katı formunu korumasında bir etki yaratmadığı görülmüştür (Youcai ve Stanforth, 2000 a,b). Deneyin temel akım şeması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği şeması

Bu sayede yüksek verim ile ayrıştırma sağlanması için deneylerde 1 birim çamura karşılık 10 birim NaOH çözeltisi ile çalışılmasına karar verilmiştir. 1/10 oranında karışımın 80°C'de belli bir sürede karıştırılması ve bu sayede iyonlaştırılan elementlerin uzaklaştırılması liç işlemi olarak adlandırılmıştır.

Çinkonun liç edilmesinde kullanılan kostik (NaOH) çözeltisinin verimini etkileyen faktörlerden biri de çözeltideki klor (Cl^-) iyonlarının varlığıdır. Klor iyonu su ile kolaylıkla uzaklaştırılabileceği için deneyin ilk adımı olarak klor içermeyen (deiyonize) su ile oda sıcaklığında, 30 dk, 200 devir/dk hızda karıştırılarak ($NaCl_2$, KCl_2) çamurdan uzaklaştırılması sağlanmıştır. Yaklaşık 15 dakika dinlendirme ardından dipte kalan malzeme liç işlemine tabi tutulmuştur. Liç işleminde kostik çözeltisinin konsantrasyonun ve sürenin optimize edilmesi için 4-10 M arasındaki çözeltiler 15 dk-4 sa arasındaki değişik sürelerde aynı özellikteki çamur numuneleri üzerinde denenmiştir. 6 M NaOH ile 2 sa 80°C'de liç edilmesi en uygun koşul olarak belirlenmiştir. Bu işlem sonucunda beklenen reaksiyonlar aşağıdaki gibidir.

$$ZnO + 2NaOH + H_2O \rightarrow 2\ Na^+ + Zn(OH)_4^{22} \quad (1)$$

$$PbO + 2NaOH + H_2O \rightarrow 2\ Na^+ + Pb(OH)_4^2 \quad (2)$$

Liç işleminin ardından su ile yıkama yapılarak katı demir parçalarından sodyum uzaklaştırılması ile hematit yapısı tekrar elde edilir (tepkime 3). İleri yıkama ne kadar iyi olursa hem çözünmüş impüritelerin uzaklaşma verimi artacak hem de sodyumun ilave bir iyon etkisi olarak karışımda yer almasının önüne geçilmiş olacaktır.

$$2\ NaFeO_2 + 2H_2O \rightarrow 2\ Na^+ + 2OH^- + Fe_2O_3 \qquad (35\ ^oC) \quad (3)$$

Yüksek Fırın (YF) çamurlarında ZnO yapısı daha yüksek oranda bulunurken Çelikhane (ÇH) çamurunda yüksek sıcaklıkta oluşan çinko ferrit yapısının daha yoğun görülmesinin nedeni hurdadan gelenlerle birlikte çinko girdisinin artması olarak görülmektedir. ZnO uzaklaştırılması %1'lik çözeltilerde kolaylıkla %0,1'in altına düşürülebilirken çelikhane çamurunda ferritik yapıdan ötürü böyle bir başarı gözlenememektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yüksek fırın, çelikhane çamurları ve atık sahasında karışık olarak depolanan YF+ÇH çamurlarının X-Işını Floresans (XRF) cihazı ile yapılan kimyasal analizleri Çizelge 1'de yer almaktadır. Bizim çalışmalarımızda koruma amacında olduğumuz demir (Fe), karbon (C) ve yapılan işlem sonucunda uzaklaştırmak istediğimiz çinko (Zn) ile kurşun (Pb) miktarları vurgulanmıştır.

Çizelge 1. Yüksek fırın ve çelikhane çamur numunelerinin kimyasal analizi

Element	YF Çamuru	ÇH Çamuru	YF+ÇH Çamuru
	Kütle/Kütle, %	Kütle/Kütle, %	Kütle/Kütle, %
Fe	**21,28**	**53,98**	**48,5**
Al	3,03	0,109	0,856
Mg	1,29	0,509	0,46
C	**38,0**	**2,20**	**13,51**
Si	5,40	0,668	1,68
Ca	2,39	7,51	4,60
Zn	**2,47**	**3,14**	**2,0**
Pb	**0,317**	**0,337**	**0,151**

Atık sahasında karışık depolanan YF+ÇH çamuru ile yapılan deneylerde Zn %1,5-2'den %0,9'a indirilmiştir ancak hedef olan %0,1 değerinin altına düşürülememiştir. İstenen verime ulaşılamamasının nedenleri; YF çamurunda %25-30 karbon varken, YF+ÇH çamurunda karbon %12-15 arasında olması, çinkonun demir ile

ferritik bağ ($ZnO.Fe_2O_3$) oluşturması olarak belirlenmiştir. Bu aşamada ferritik bağı kırmak için liç işlemi öncesi 0,25-0,05 oranlarında (NaOH/Atık) 300-400 ^{0}C arasında 1 sa kavurma (roasting) yapılmıştır (Peng vd., 2012). Uygulanan işlemlerde numunelerde ölçülen çinko değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Kavurma ile elde edilen verim

Deney Adımları	Zn Miktarı (%)
Kuru numune	2,00
1. liç (NaOH)	0,86
Kavurma+2. liç (NaOH)	0,70
Kavurma+2. liç (Su)	0,43

Kavurma işlemi ile denklem 4'de gösterildiği gibi çinko ferrit yapısı kırılarak çinko serbest hale geçmektedir. Kavurma denemesinde hem kostik ile yüksek sıcaklıkta tepkimeye giren çamurun tekrar kullanımında yüksek kayıplar meydana gelmesi hem de yüksek sıcaklık nedeniyle karbon kaybına neden olduğunun gözlenmesi üzerine bu basamağın atlanmasına karar verilmiştir. Çinko ferrit yapısı ile ilgili çalışmalar ötelenmiş, onun yerine kullanılan kostik çözeltisinin geri kazanımını sağlama çalışmalarına ağırlık verilmiştir.

$$ZnFe_2O_4 + 2NaOH \rightarrow ZnO + 2NaFeO_2 + H_2O_{(g)} \quad (>328\ ^oC) \qquad (4)$$

3.1 Kimyasal Çöktürme (Sedimentasyon)

Literatür araştırması sırasında diğer metal iyonlarının elektroliz sırasında çinkodan önce indirgenerek çinko kazanım verimini düşürmesini engellemek amacı ile elektroliz öncesi sementasyon yapılarak çinko dışındaki metallerin çözeltiden uzaklaştırılabileceği bilgisine ulaşılmıştır. Elektroliz yöntemine alternatif olarak kimyasal çöktürme ile çinkonun da çöktürülmesinin denenmesine karar verilmiştir (Claassen, 2002). Liç işleminde kullanılmış ve çinkoya doymuş 6 M NaOH çözücüsüne sodyum bikarbonat ($NaHCO_3$) ilave edilmiştir. Yeni bir çamur numunesinin semente edilmiş kostik ile yapılan liç sonrası %2'lik Zn oranı yalnızca 1,5 ye düşürülebilmiştir. Laboratuvar imkanlarında $NaHCO_3$ ile çöktürme yapılmak istenmiştir. Al ve Pb çökerken Zn için anlamlı bir düşüş gözlenmemiştir. Çöktürme sonrasında tekrar liç amaçlı kullanılan NaOH solüsyonunun veriminin çok düşük olduğu ve mutlaka çinkonun uzaklaştırılması gerektiği anlaşılmıştır.

Çizelge 3'te temiz NaOH ve kimyasal çöktürme işleminden geçirilmiş NaOH kullanılarak yapılan liç işlemleri sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3. YF+ÇH karışık çamurunun temiz ve geri kazanılmış kostik ile 1.liç sonuçları

	Temiz NaOH ile liç	Geri kazanılmış NaOH ile Liç
Element	Kütle/Kütle %	Kütle/Kütle %
Fe	**47,87**	**48,2**
Al	0,328	0,66
Zn	**0,536**	**1,57**
Mg	0,641	0,493
Si	1,55	1,52
Ca	4,28	4,67
Pb	**0,0968**	**0,132**
C	15,0	15,0

Yapılan literatür araştırması sonucu yüksek konsantrasyonlu bazik çözeltilerde diğer metaller iyonik özelliklerini korurlarken zinkat $(Zn(OH)_4)^{2-}$ formuna dönüşmektedir. Bu nedenle diğer metaller sodyum karbonat eklenerek sementasyon işlemine tabi tutularak uzaklaştırılabilirken çinko çözeltide (-) yüklü iyon olarak kalmaktadır. Elektrolize ihtiyaç duymadan çinkonun da uzaklaştırılmasını sağlamak adına kalsiyum bileşiklerin çözünürlüğünün düşük olmasından yola çıkarak kalsiyum karbonat (kalsit) kullanarak kostik çözeltisinden çinkonun çöktürülmesi denenmiştir.

Bu çalışmada $CaZn(OH)_4$ oluşarak çökmesi hedeflenmiştir. Kalsiyum zinkatın yüksek bazite de çözünürlüğü konusunda bir bilgiye ulaşılamamıştır. Bu nedenle yf+çh karışık çamur haricinde yüksek fırın ve çelikhane çamurları ayrı ayrı çalışılarak denemeler yapılmıştır. 12 adet numune elde edilerek XRF sonuçları Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Kostik Çözeltisi Geri Kazanım Denemeleri

NUM NO:	NUMUNE	İŞLEM	Zn miktarı
1	Yf+çh	ham	2,0
2	Yf+çh	1.liç	1,02
3	Yf+çh	1.liç($CaCO_3$)	1,42
4	Yf+çh	2.liç($CaCO_3$)	1,15
5	çh	ham	3,14
6	çh	1.liç	2,06
7	çh	1.liç ($CaCO_3$)	2,26
8	çh	2.liç($CaCO_3$)	2,02
9	yf	ham	2,47
10	yf	1.liç	0,81
11	yf	1.liç($CaCO_3$)	0,69
12	yf	2.liç($CaCO_3$)	0,3

4. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışma sonucu $CaCO_3$ katılması ile kostik çözeltisinin büyük ölçüde yeniden kullanılabilir olduğu anlaşılmıştır. Ancak kostik yalnızca ZnO formundaki çinkoyu çözebildiği için $ZnOFe_2O_3$ yapısında yer alan çinkonun çelikhane çamurunda daha fazla bulunması nedeniyle çelikhane ve karışım çamurlarından ferritik yapının uzaklaştırılması üzerine çalışmaların yönlendirilmesi ve bu aşamada da pirometalurjik yöntemler denenmesi gerekmektedir.

YF çamurunun içeriğinde %40 gibi yüksek oranlarda bulunan ve yakıt özelliği nedeniyle kaybetmek istemeyeceğimiz karbonu, hidrometalurjik yöntem ile koruyabilmekteyiz. Ancak pirometalurjik yöntemlerde büyük ölçüde karbon kaybı meydana gelmektedir. Bu nedenle YF çamuru ile ÇH çamurlarının ayrı ayrı toplanmaya başlaması ile YF çamurunun NaOH çözeltisiyle çinkosuzlaştırılması, sinterde kullanımı sağlanması kok girdisinin de azaltılmasına katkı sağlayacaktır. ÇH çamurları ise pirometalurjik yöntemlerden geçirilerek ferritik çinko uzaklaştırılması sonrasında üretime katılacağından ayrı depolanmalıdır.

Mevcut YF+ÇH karışım çamurlarının eritilmesi için ise birleştirmiş bir yöntem uygulanması sağlanarak karbon kaybının azaltılması sağlanmaya çalışılacaktır.

Kurulan pilot test laboratuvarı tamamlandığında hidrometalurjik işlemlerin yanında pirometalurjik işlemler de uygulanabilir hale gelebilecek; aynı zamanda peletleme makinasının faaliyete geçirilebilmesi durumunda elde edilen “temiz” demir tozları peletlenmiş olarak kullanıma hazırlanma konusunda deneme yapma fırsatı doğacaktır.

KAYNAKLAR

Claassen, J.O., 2002. Characterization and optimisation of Zincor iron removal process, Master Thesis in Department of Materials Science and Metallurgical Engineering, University of Pretoria, South Africa, pp. 21-24.

Cruells, M., Roca, A., Núñez, C.,1992. Electric arc furnace flue dusts: characterization and leaching with sulphuric acid, Hydrometallurgy, 31, 213-231.

Das, B., Prakash, S., Reddy, P.S.R., Biswal, S.K., Mohapatra, B.K., Misra, V.N., 2002, Effective utilization of blast furnace flue dust of integrated steel plants, The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection, 2(2), 61-68.

Leclerc, N., Meux, E., Lecuire, J.M., 2002. Hydrometallurgical recovery of zinc and lead from electric arc furnace dust using mononitrilotriacetate anion and hexahydrated ferric chloride, Journal of Hazardous Materials, B 91, 257-270.

Nakamura, T., 2005. Zinc recycling technology now and in the future. Lead & Zinc '05, Kyoto, Japan. Ed. Fujisawa, T., MMIJ, pp.123-137.

Peng, N., Peng, B., Chai, L.Y., Liu, W., Li, M., Yuan, Y., Yan, H., Hou, D.K., 2012. Decomposition of zinc ferrite in zinc leaching residue by reduction roasting, Procedia Environmental Sciences, 16, 705-714.

Steer, J.M., Griffiths, A.J., 2013. Investigation of carboxylic acids and non-aqueous solvents for the selective leaching of zinc from blast furnace dust slurry, Hydrometallurgy, 140, 34-41.

Youcai, Z., Stanforth, R., 2000 (a). Integrated hydrometallurgical process for production of zinc from electric arc furnace dust in alkaline medium, Journal of Hazardous Materials, B80, 223–240.

Youcai, Z., Stanforth, R., 2000 (b). Technical note extraction of zinc from zınc ferrıtes by fusion wıth caustic soda, Minerals Engineering, 13(13), 1417-1421.

Zeydabadi, B.A., Mowla, D., Shariat, M.H., Kalajahi, J.F., 1997. Zinc recovery from blast furnace flue dust, Hydrometallurgy, 47, 113-125.

INVESTIGATION OF THE COATING BEHAVIOUR OF A WASTE MARBLE FROM MUĞLA-YATAĞAN REGION IN A LABORATORY SCALE MILL

MUĞLA-YATAĞAN BÖLGESİ ATIK MERMERİNİN LABORATUVAR ÖLÇEKLİ DEĞİRMENDE KAPLANMA DAVRANIMININ İNCELENMESİ

Ömürden GENÇ*, Merve BAYIR

Muğla Sıtkı Koçman University, Department of Mining Engineering, Muğla, TURKEY

*: Corresponding Author: ogenc@mu.edu.tr

ABSTRACT: In this study, a laboratory-scale coating mill was designed to investigate the coating behaviour of a waste marble sample prepared in different size fractions. Waste marble sample belonging to Muğla-Yatağan region of Turkey was used in the tests. Particle size fractions of +150µm, -150+106µm, -106+53µm, -53+38µm, -38µm were prepared by dry sieving after crushing and grinding stages of the sample. Size fraction of -5+1µm was provided by sampling of the final product cyclone in the waste marble processing plant for the coating tests. Tests were conducted with stearic acid [$CH_3(CH_2)_{16}COOH$] and zinc stearate [$Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$] in the designed mill to investigate the coating performance differences of the different size fractions. The mill was heated up to 70-120°C by an external heat source during the experiments. All the particle size fractions were observed to be coated with both acid types. Coating performance was observed to increase as the particle size fraction got finer in the tests conducted with both acid types. Stearic acid provided better coverage as compared to zinc stearate for all size fractions. The most efficient coating was observed for the -5+1µm size fraction. It was concluded that, stearic acid is more suitable for the coating process due to the observed higher coating performance and it is also more cheaper as compared to zinc stearate.

It was proposed that, coated waste marble powder size fractions of +150µm and -150 +106µm could be evaluated by the construction and cement industries, whereas -106+53µm size fraction by construction chemicals and joint filler industries. Size

fractions of -53+38μm and -38μm could find market in the paint and PPC (Polypropylene Copolymer) raw material industries. -5+1μm size fraction has a potential market in the paper industry.

Keywords: Waste marble, Calcium carbonate, Calcite, Coating

ÖZET: *Bu çalışmada, farklı boyut fraksiyonlarında hazırlanan bir atık mermer örneğinin kaplanma davranımını incelemek üzere laboratuvar ölçekli bir kaplama değirmeni tasarlanmıştır. Testlerde, Türkiye'nin Muğla-Yatağan bölgesine ait atık mermer örneği kullanılmıştır. Kırma ve öğütme aşamalarından sonra örnekten kuru elemeyle +150μm, -150+106μm, -106+53μm, -53+38μm, -38μm tane boyu fraksiyonları hazırlanmıştır. Kaplama testleri için, -5+1μm tane fraksiyonu atık mermeri işleyen tesiste, son ürün siklonundan örneklemeyle sağlanmıştır. Testler tasarlanan değirmende, farklı tane boyu fraksiyonlarının kaplanma performansları arasındaki farkı incelemek için, stearik asit [$CH_3(CH_2)_{16}COOH$] ve çinko stearat [$Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$] ile yürütülmüştür. Değirmen deney süresince 70-120°C'a kadar dışardan bir ısı kaynağı ile ısıtılmıştır. Tüm tane boyu fraksiyonlarının her iki asit tipi ile kaplandığı gözlemlenmiştir. Her iki asit tipi ile yürütülen deneylerde kaplama performansının, tane boyu fraksiyonu inceldikçe arttığı gözlemlenmiştir. Tüm boyut fraksiyonları için, stearik asit çinko stearate göre daha iyi bir kaplama sağlamıştır. En verimli kaplama, -5+1μm boyut fraksiyonunda gözlemlenmiştir. Gözlemlenen yüksek kaplama performansı ve ayrıca stearik asitin çinko stearata göre daha ucuz olması nedenleriyle stearik asidin kaplama işlemi için daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.*

+150μm ve -150+106μm boyut fraksiyonlarındaki kaplanmış atık mermer tozunun yapı ve çimento endüstrisi, -106+53μm boyut fraksiyonunun ise yapı kimyasalları ve derz dolgu endüstrileri tarafından değerlendirilebileceği önerilmiştir. -53+38μm ve -38μm boyut fraksiyonları boya ve PPC (Polipropilen Copolimer) hammaddesi sektörlerinde pazar bulabilecektir. -5+1μm boyut fraksiyonu kağıt endüstrisinde potansiyel bir pazara sahiptir.

Anahtar Kelimeler: *Atık mermer, Kalsiyum karbonat, Kalsit, Kaplama*

1. INTRODUCTION

Turkey is one of the major European marble producers. Waste marble can be exported as two different products from the marble processing plant. The first product is waste marble with large size pieces (optical particle size) and the second product is cutting powder dust which can reach up to 2mm maximum particle size. These materials are stockpiled in the surrounding areas of the quarries affecting landscape aesthetics and leading to environmental pollution.

Marble contains 90-98% $CaCO_3$ (calcium carbonate) and also can contain minor amount of $MgCO_3$ (magnesium carbonate). Calcium carbonate is the most widely used mineral filler in paper, paint and plastics. Calcite is a carbonate mineral and the most stable polymorph of calcium carbonate ($CaCO_3$) and it is the main mineral of the marble. Chalk, limestone and marble are the main raw materials used for the production of ground calcium carbonate (GCC) in Europe (Modak, 2003). Coated calcium carbonate (calcite minerals) could be used directly in different industries such as, paint, plastic, paper, cement, construction (concrete, asphalt, roofing, tiles and bricks) etc. Thus, marble wastes could be evaluated by various industries which will accordingly contribute to the reduction of environmental pollution.

In this study, coating behaviour of different size fractions obtained from a coarse marble waste provided from BAYIR A.Ş. was tested by using stearic acid and zinc stearate using the designed laboratory scale coating mill. Effects of using different acid types on the coating performance of the waste marble were investigated. Coated size fractions were proposed to be evaluated by different industries.

2. MATERIALS AND METHODS

Waste marble sample was provided from the processing plant of BAYIR A.Ş. in Muğla. The run-of-mine marble waste sample was screened in the processing plant and after size classification sold to calcite processing plants. Particle size of the collected sample was +20cm. Typical chemical composition of the sample is given in Table 1.

2.1. Sample Preparation for the Coating Tests

Hand crushing of +20cm particles was performed by using a hammer ahead of crushing in a jaw crusher. Jaw crusher discharge material was dried at 105°C. Dried material was

ground in a vibratory disc mill shown in Figure 1a and the product was screened in dry mode to the desired particle size fractions (Figure 1b). Wet screening was applied to obtain -53+38µm size fraction. Size fraction from wet screening was filtered and dried at 105ºC. +150µm, -150+106µm, -106+53µm, -53+38µm, -38µm particle size fractions were prepared by dry sieving after crushing and grinding stages of the sample. -5+1µm size fraction was provided from the final product cyclone at the processing plant which was treating the same marble waste.

Table 1. Typical chemical composition of the waste marble sample from Muğla-Yatağan region

Component	%
SiO_2	0.10
Al_2O_3	0.40
Fe_2O_3	<0.01
CaO	55.40
MgO	0.43
CO_2	43.05
Pb	0.015
Cu	<0.05
Zn	0.02

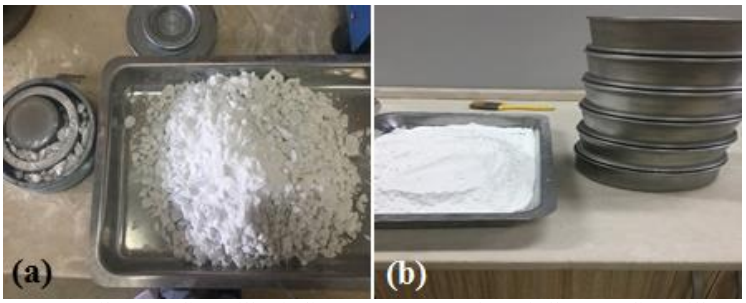


Figure 1. a) Vibratory disc mill grinding, **b)** Dry screening of vibratory disc mill product

2.2. Laboratory scale coating mill

Laboratory scale mill was designed and constructed for the coating tests and shown in Figure 2. It has an effective diameter of 17.5 cm and a nominal diameter of 18 cm. Length of the mill is 30.5 cm. The mill is made of steel and the motor power is 350 Watt. It has no inside liners but internal plates to lift and aid the mixing of material during the coating process. An external gas heater was used to heat up the mill and a thermometer was attached to the mill body surface to view the temperature. Material was fed from the mill inlet plate and the plate was tighten before starting up the mill.

2.3.Coating tests

Stearic acid [$CH_3(CH_2)_{16}COOH$] and zinc stearate [$Z_n(C_{18}H_{35}O_2)_2$] are used for the coating of the waste marble powder. Stearic acid is obtained by hydrolysis of animal oils. It is found in various animal and plant fats, and is a major component of cocoa butter and shea butter (https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov). Zinc stearate is a fine white soft and muctuous, odourless bulky powder (Lower, 1982). Zinc Stearate is used in plastic, rubber construction chemicals and paint industry. It is an external lubricator. It is proper to all type rubber and plastic applications (http://www.berkimkimya.com.tr). It contains no electrolyte and has a hydrophobic effect. Experiments for each test size fractions were conducted by using 100 grams of ground waste marble powder and 5 grams of stearic acid (20:1). The same treatment was applied for zinc stearate case. The mill was heated up to 70^{o}C by an external gas heater during the tests and tumbled until 70^{o}C was obtained in the mill. Tumbling duration was corresponded to 50-60 minutes for the coating process of each size fraction. The temperature of the mill inside sample was made to increase up to 120^{o}C in the tests with zinc stearate. Specifications of the chemicals used in the experiments are given in Table 2.

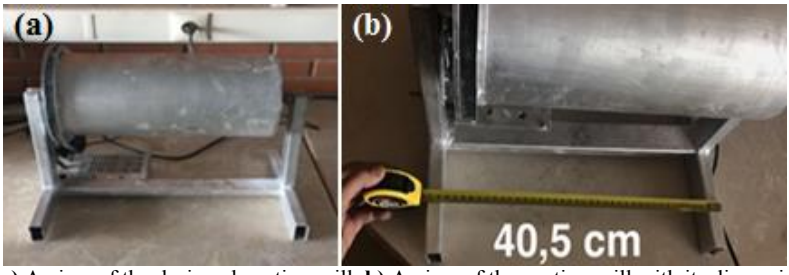


Figure 2. a) A view of the designed coating mill, **b)** A view of the coating mill with its dimension

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Coating Control Tests

In order to check whether the ground waste marble powder was successfully coated or not, coating control tests were performed. For this purpose, 2 gr of sample was taken from the mill inside and mixed with 300ml of water in a beaker. The ground calcium carbonate (waste marble powder) and water were mixed and shook. The color of the water was observed. If the color of the water remains clear, coating process is concluded to be successful in these type of control tests. However, if the water become so much

turbid, the coating process was concluded to be not successful. Pictures from the experiments are shown in Figure 3 for the coating process of -150+106 μm and -5+1 μm size fractions with both acid types. As could be observed, the turbidity of the water was increased in the coating process with zinc stearate. All particle size fractions were concluded to be coated and results were given in Table 3. However, the reaction performance with zinc stearate was observed to be not high as the one with stearic acid. Stearic acid provided better coverage and clear water. As the particle size fraction got finer, the turbidity of the water was observed to decrease which indicated a higher reaction performance.

Table 2. Specifications of the chemicals used

Acid type (property)	**Stearic acid ($CH_3(CH_2)_{16}COOH$)**	**Zinc stearate ($Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$)**
Density (g/cm^3)	0.847	1.095
Melting point (ºC)	69-70	120-130
Boiling point (ºC)	383	decomposes
Price (TL/kg)	21.6	54

Figure 3. Testing of the coating behaviour of **a)** -150+106μm size fraction with stearic acid, **b)** -150+106μm size fraction with zinc stearate, **c)** -5+1μm size fraction with stearic acid, **d)** -5+1μm size fraction with zinc stearate

Table 3. Summary of the test results (x=coated)

Particle size fraction (μm)	**Stearic acid**	**Zinc stearate**
+150	x	x
-150+106	x	x
-106+53	x	x
-53+38	x	x
-38	x	x
-5+1	x	x

-38μm material was characterized for its particle size distribution by using a Sympatec® laser diffractometer. 50% cumulative passing size of the sample was determined as 6.73μm and 27.24% of the sample was under 2μm. -38 material was also analysed for its color with a ELREPHO 450x Whiteness Colour Tester. Whiteness test results for -38μm material of raw feed (not coated) and coated samples with both acid

types were tabulated in Table 4. It was observed that, although the whiteness and brightness values were higher when coated with zinc stearate, yellowness value was increased which reduced the quality of the coated product. Obtained results with stearic acid were within the acceptable range by various industries.

Table 4. Comparison of the whiteness test results for -38μm material

Parameter	Raw feed sample, -38μm	Coated with stearic acid, -38μm	Coated with zinc stearate, -38μm
Whiteness CIE	86.40	83.07	85.00
ISO Brightness UV	90.59	87.51	89.72
Yellowness DIN 6167	2.64	2.81	3.05

4. CONCLUSION

It was demontrated that, different size fractions of waste marble could be coated successfully by both stearic acid and zinc stearate in the designed mill. However, coating performance with zinc stearate was observed to be not high as the one with stearic acid. Zinc stearate is also a more expensive chemical. In this respect, stearic acid was concluded to be more convenient for the coating process.

It was proposed that, coated waste marble size fractions of +150μm and -150+106μm could be evaluated by the construction and cement industries. Size fraction of -106+53μm by the construction chemicals and joint filler industries, -53+38μm and -38μm size fractions could find market in the paint and PPC (Polypropylene Copolymer) raw material industries. -5+1μm size fraction has a market in the paper industry.

ACKNOWLEDGEMENTS

Authors would like to acknowledge BAYIR A.Ş. and ADAÇAL A.Ş for their valuable support during the study. Research Assist. Ercan Polat from Mining Engineering Department of Muğla Sıtkı Koçman University is also gratefully acknowledged.

REFERENCES

Modak, P., 2003. Theme Five: Assessing Environmental Impact, Getting 'Waste Wise' Reforming Production and Taming Consumption, Proceedings of the International Symposium Advances in Waste Management and Recycling, Sustainable Waste Management, pp257-262.

https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov

Lower, E.S., 1982. Zinc stearate: its properties and uses, Pigment & Resin Technology, Vol. 11 Issue: 6, pp.9-14.

http://www.berkimkimya.com.tr

KONSANTRATÖR ATIĞINDAN KUVARS KAZNIMI: MODİFİYE DARALAN OLUK İLE DEMİR SAFSIZLIĞININ UZAKLAŞTIRILMASI

QUARTZ RECOVERY FROM CONCENTRATOR TAILINGS: REJECTION OF IRON IMPURITIES BY MODIFIED PINCHED SLUICE

Süleyman YURTSEVER[1]*, Taki GÜLER[2]

1: Esan Eczacıbaşı Çine Tesisi, Çine, Aydın, TÜRKİYE

2: Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Muğla, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: suleyman.yurtsever@eczacibasi.com.tr

ÖZET: Kuvars cevheri; renk verici demir oksitler gibi safsızlıkları uzaklaştırmak amacıyla zenginleştime işlemine tabi tutulur. Uygulanan fiziksel zenginleştirme yöntemine bağlı olarak kuvars cevherinin bir kısmı atık olarak çıkar. Bu kısım, hem ekonomik kayba hem de çevresel sorunlara neden olur. Bu çalışma kapsamında daralan oluk modifiye edilerek cevher hazırlama tesisi atığından Fe-oksitleri uzaklaştırarak kuvars konsantresi üretilebilirliği incelenmiştir. Oluk altına REM mıknatıs içeren manyetik tabla yerleştirilerek ve üstünden akış yönünde titreşim uygulanarak daralan oluk modifiye edilmiştir. Beklenildiği gibi daralan oluk, zenginleştirme işleminde başarılı olamamıştır. Manyetik taabla kullanılması durumunda kısmi bir zenginleşme olmuştur. Tabla oluk yüzeyine yaklaştırıldığında, manyetik alan çizgileri boyunca maneyik Fe-oksitler oluk yüzeyine yapışarak yapay eşikler oluşturmuş ve tabakalaşmayı bozmuştur. Tabla oluktan uzaklaştırıldığında ise oluk yüzeyine uygulanan manyetik alan şiddeti azaldığından ancak kısmi bir zenginleşme olmuştur. Oluk yüzeyine manyetik alana ilave olarak titreşim uygulandığında 930 ppm Fe_2O_3 içeren cevherden 160 ppm Fe_2O_3 içeren kuvars konsantresi üretilebilmiştir. Manyetik alan, yerçekimine ilave olarak manyetik çekim kuvveti ile manyetik tanelerin pülp filminin alt tabakalarında zenginleşmesini sağlarken, akış yönünde uygulanan titreşim tanelerin serbest hareket etmesini sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Kuvars, Atık, Modifiye daralan oluk, Titreşim, Manyetik alan

ABSTRACT *Quartz ore is concentrated to remove coloring impurities like Fe-oxides. Some part of quartz is rejected as tailing depending on applied physical separation method. Rejected part of concentrator feed causes both economical losses and environmental problems. In this work, recovery of quartz concentrate from mineral processing plant tailings was investigated by modifying pinched sluice to reject Fe-oxide impurities. Pinched sluice was modified by mounting a magnetic plate of REM magnets and by applying vibration from top of sluice surface along pulp flow. As expected, pinced sluice failed in concentration process. Concentration was achieved partially by using magnetic plate. When this plate was mounted underneath the sluice in closer position, magnetic Fe-oxides were pinned onto sluice surface along magnetic field lines forming artificial riffles, which adversely affected the stratification. On the other hand, quartz concentration was achieved to some extend when plate was apprted from surface, in which case applied magnetic field intensity onto pinched sluice surface decreased. In addition to magnetic field, when vibration was applied onto sluice, a quartz concentrate with 160 ppm Fe_2O_3 could be obtained from a feed containing 930 ppm Fe_2O_3. Vibration, applied along pulp flow direction, satisfied free flow of particles while magnetic particles were concentrated in lower layers of pulp film thickness by the added effect of magnetic field intentsity in addition to gravitation force.*

Keywords: *Quartz, Tailings, Modified pinched sluice, Vibration, Magnetic field*

1. GİRİŞ

Kuvars (SiO_2), özellikle cam ve seramik sanayi başta olmak üzere birçok endüstri dalının vazgeçilmez hammaddesidir. Son kullanım alanlarında, kuvars cevher ve konsantrelerinin kullanılabilirliğini belirleyen ana etmenlerden biri, ürünün renk verici Fe-oksit içeriğidir. Günümüzde tespit edilmiş ve/veya işletilmekte olan kuvars rezervlerinin büyük bir kısmı, bu kirletici empürite açısından piyasa spesifikasyonlarını (< 200 ppm) sağlayamadığından tüketim öncesi zenginleştirme işlemine tabi tutulur (Akçıl vd., 2007; Göktepe vd., 2011; Hacıfazlıoğlu, 2011; Köse ve Türeli, 1986; Yurtsever, 2016).

Kuvars zenginleştirme işleminde yaygın uygulanan yöntemler; dağıtma ve boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme, manyetik ayırma ve flotasyondur. Cevherde yüksek oranda alümina silikat bulunması durumunda, ince boyutlu killi

malzemenin kuvars yüzeyinden serbest hale getirilmesi (dağıtma) sonrası sınıflandırma işlemi ile kil minerallerinden gelen bu kirlilik, yıkama ve sınıflandırma ile fiziksel olarak temizlenmektedir (Yurtsever, 2016). Manyetik ayırma, kuvars zenginleştirme işleminde en etkili olan yöntemdir. Yüksek manyetik duyarlılığa sahip Fe-oksitler, diyamanyetik kuvarstan manyetik ayırıcı ile temizlenmektedir (Hacıfazlıoğlu, 2011). REMS tipi kuru manyetik ayırıcılar ile yapılan zenginleştirme çalışmasında, kuvars konsantresinde Fe oksitlerin oranı 980 ppm'den 390 ppm'e düşmüştür (Arvidson, 1999). Al-Maghrabi (2004) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise düşük tenörlü Arabistan kuvarsının Fe_2O_3 içeriği yüksek manyetik alan şiddetli kuru manyetik ayırıcı ile %0,40'dan %0,10'a kadar düşürülmüştür.

Kuvars cevherlerinde bulunması olası Fe-oksitlerin yoğunluğu ($d > 4,5$ g/cm^3) kuvarsa ($d = 2,65$ g/cm^3) oranla yüksek olduğundan dolayı yoğunluk farkı ile zenginleştirmenin kuvars cevherine uygulanabileceği görülmektedir. Kuvars zenginleştirme işlemlerinde ilk olarak sarsıntılı masalar kullanılmıştır. Köse ve Türeli (1986) yoğunluk farkının -300+106 mikron besleme boyutu için en az 1,75 g/cm^3 olması gerektiğini belirtmiştir. Al-Maghrabi (2004) sarsıntılı masa ile yaptığı kuvars zenginleştirme çalışmasında Fe_2O_3 tenörü %0,60'dan %0,30'a kadar düşürülmüştür. Spiral ayırıcılar ile yapılmış kuvars zenginleştirme çalışmasında ise Fe_2O_3 içeriği 960 ppm'den önce 660 ppm'e, daha sonra uygulanan temizleme kademesi ile 490 ppm'e düşürülmüştür (Hacıfazlıoğlu, 2011).

En eski gravite ayırıcılardan biri olan daralan oluk, film halinde akan pülp ortamında tanelerin pülp film kalınlığının belirli deriliklerinde terminal hızı belirleyen tane fiziksel özelliklerine göre sınıflanması prensibi ile çalışan bir ayırıcıdır. Daralan oluklarda sınıflanma, diğer gravite ayırıcılarda olduğu gibi tane yoğunluğu, boyu ve şekline bağlıdır. Terminal hızı belirleyen tane fiziksel özelliklerine ilave olarak türbülanslı ve girdaplı akış ortamının varlığı daralan oluklarda son ürün elde edilemsini güçleştirmektedir (Abdinegoro ve Partridge, 1979; Ergün ve Ersayın, 2002; Wills ve Napier-Munn, 2006). Bu nedenle daralan oluklar, son ürün elde etmekten ziyade ön konsantre üretmek amacıyla kullanılabililer. Fakat birçok gravite zenginleştirme cihazıyla karşılaştırıldığında ilk yatırım ve işletme maliyetinin düşük olması ve düşük enerji gereksinimi, çevre dostu bir ayırıcı olan daralan oluklara ilginin devam etmesine neden olmaktadır (Sivamohan ve Forsberg, 1985; Yurtsever, 2016).

Kuvars zenginleştirme sürecinde önemli bir miktar atığa gitmektedir. Bu durum ciddi ekonomik kayıplara ve stok sahaları bağlamında çevresel sorunlara neden olmaktadır. Dolayısıyla kuvars zenginleştirme tesisi atıklarından ekonomik bir şekilde geri kazanımı sağlayacak süreçlerin geliştirilmesi; hem çevresel kaygılar açısından hem de yeraltı zenginliklerinin etkin değerlendirilmesi açısından bir gerekliliktir. Bu çalışma kapsamında Esan Eczacıbaşı Çine tesislerinde uygulanan zenginleştirme işlemi sonucu ekonomik değeri olmadığı için atık havuzuna atılan kısmın modifiye daralan oluk kullanılarak geri kazanım olanakları araştırılmıştır. Yüksek yoğunluklu Fe-oksitlerin terminal hızını artırmak ve pülp filminin alt katmanlarında daha etkin bir şekilde zenginleşmesini sağlamak amacıyla oluk altından manyetik alan uygulanmıştır. Daralan oluklarda engelli çökme koşullarında etkin tabakalaşmanın gerçekleşmesi için pülp katı oranının yüksek (%40-65) olması gereklidir (Ergün ve Ersayın, 2002; Sivamohan ve Forsberg, 1985; Wills ve Napier-Munn, 2006). Yüksek katı oranı ise tanelerin serbest hareket etme olasılığını azaltmaktadır. Yapılan çalışmalar titreşimin tanelerin serbest hareket etmesine katkı sağladığını ortaya koumuştur (Alp vd., 2004; Grönroos, 2010; Kyllönen vd., 2004; Mason ve Lorimer, 1988). Bu nedenle titreşimin modifiye daralan olukta tabakaşmaya etkisi de deneysel olarak incelenmiştir.

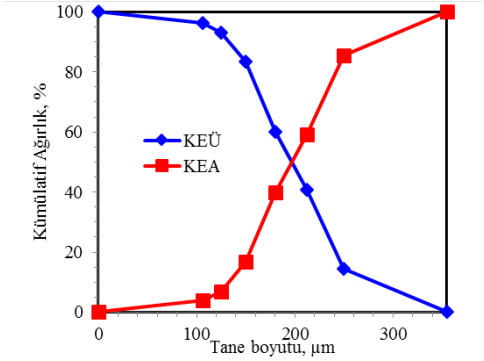
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmalarda kullanılan kuvars örneği Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler Sanayi ve Ticaret A.Ş. atık havuzundan alınmıştır. Tane boyutunun, ayırma işlemindeki etkisini azaltmak için alınan kuvars örneği, laboratuvar ortamında eleme ve yıkama işlemine tabi tutularak kilinden ayrılmış ve dar boyut (-355+106 μm) aralığında sınıflandırılmıştır. Deney örneğinin boyut dağılımı Şekil 1'de verilmiştir.

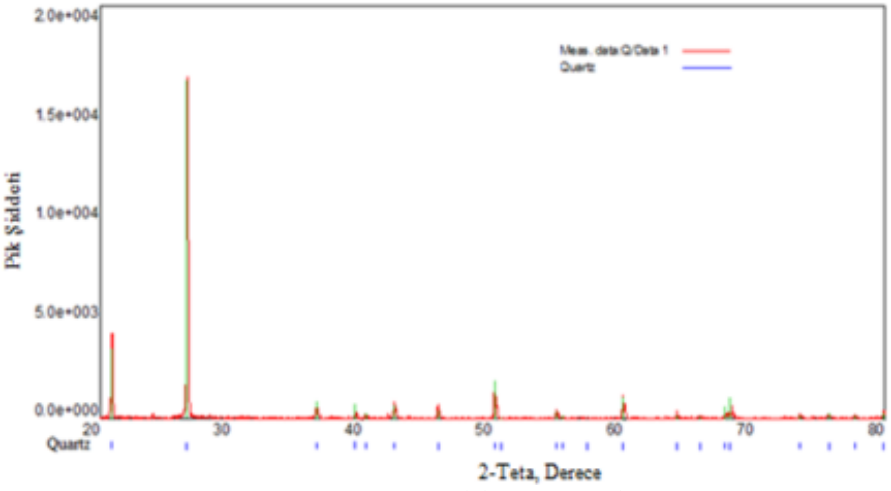
Deney örneğinin karakterizasyonu XRD, SEM-EDS, XRF ve optik mikroskobi yöntemleriyle yapılmıştır. Mineralojik karakterizasyon amacıyla çekilen XRD difraktogramı kuvars örneğinin yüksek saflıkta olduğunu ortaya koymuş ve sadece kuvars pikleri elde edilmiştir (Şekil 2). Kimyasal karakterizasyon ve optik mikroskobi çalışmaları örneğin kirletici olarak kil, feldspat ve mikaya ilave olarak Fe ve Ti içerdiğini ortaya koymuştur (Çizelge 1).

Deneyler modifiye edilmiş daralan oluk kullanılarak yapılmıştır. Daralan oluk, 100 cm uzunluğunda 22 cm besleme, 3,5 cm ürün çıkış açıklığında ve 5 cm yan çeper

yüksekliğinde krom saçtan yapılmıştır. Oluk daralma açısı 10,57˚, oluk eğimi 17˚'dir. Pülp besleme tankı ile kapalı devre çalışacak şekilde tasarlanan deneye düzeneğinde, oluğa serbest taşma yöntemi ile besleme yapılarak oluk yüzeyinde besleme tarafının her noktasında pülp derinliğinin homojen olması sağlanmıştır. Yapılan ön deneylerden optimum besleme hızı 0,88 t/h (Yurtsever, 2016) bulunduğundan deneysel çalışmalar süresince besleme hızı bu değerde sabit tutulmuştur. Oluğun ürün çıkış noktasına ayırma bıçağı pülp film kalınlığının %20'si seviyesinde yerleştirilerek pülp kalınlığının bir kısmı üst akım (pülp film kalınlığının %80'i), kalanı ise alt akım (pülp film kalınlığının %20'si) olarak alınmıştır. Oluk beslemesi pülp katı oranı tüm deneyler süresince sabit (%52,07) tutulmuştur.



Şekil 1. Deneysel çalışmalara kullanılan kuvar örneğinin tane boyut dağılımı (KEÜ: Kümülatif Elek Üstü; KEA: Kümülatif Elek Altı)



Şekil 2. Deney örneğinin XRD paterni

Çizelge 1. Deneysel çalışmada kullanılan konsantratör atığı kimyasal bileşimi

Ürün	Tenör							
	SiO_2, %	Al_2O_3, %	Fe_2O_3, ppm	TiO_2, ppm	CaO, %	MgO, %	Na_2O, %	K_2O, %
Yıkanmış tesis atığı	98,47	0,81	930	460	0,06	0,06	0,16	0,20

Daralan oluk, titreşim ve manyetik alan ekleyerek modifiye edilmiştir. Bir titreşim motoru (Vibsis VEM 1 manyetik vibratör) kullanılarak oluk üzerine paralel olarak akış yönünde 115 µm genlikte titreşim uygulanmıştır. Oluk altına "55cm x 18cm x 6.5 cm" ölçülerinde düzgün yamuk şekilli manyetik tabla yerleştirilerek oluk yüzeyine manyetik alan uygulanmıştır. Manyetik tablanın içerisine REM mıknatıslar yerleştirilmiştir. Manyetik tablanın oluk yüzeyine uyguladığı manyetik alan şiddeti Magnetfeld-Tester PCE-MFM 3000 cihazı ile ölçülmüştür.

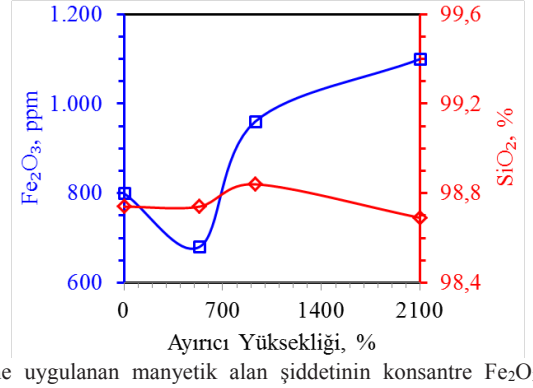
3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Kuvars cevherinin kalitesini olumsuz etkileyen renk verici demir oksit safsızlıkları, kuvarsa oranla yüksek yoğunluklu olduğundan akışkan bir ortamda öncelikli olarak çökelecek ve pülp filmi alt tabakasını oluşturacaktır. Bu nedenle daralan oluk çıkışında pülp filmi ayırıcı bıçak ile iki ürüne ayrılmış ve üst akım konsantre olarak değerlendirilmiştir. Deney örneği üzerinde yapılan ön deneylerle belirlenen optimum koşullarda (oluk eğimi: 17°; besleme hızı: 0,88t/h; pülp katı oranı: %52,07; ayırıcı bıçak yüksekliği: pülp film kalınlığının %20'si) yapılan zenginleştirmesi işleminde konsantre Fe_2O_3 tenörü 930 ppm'den ancak 800 ppm'e düşürülebilmiş, zenginelştirme başarısız olmuştur. Daralan oluktan ancak bir ön konsantre üretilebilmiştir.

Akışan bir film tabakasında yoğun tanelerin pülp filminin alt katmanlarında yoğunlaşması; faz ayrımı nedeniyle daha düşük yoğunluklu kısmın üst tabakalarda yoğunlaşması anlamına gelir (King, 1987, 2001; Wills ve Napier-Munn, 2006; Yurtsever ve Güler, 2017). Faz ayrımını iyileştirmek amacıyla yerçekim kuvvetine ilave olarak oluk altına yerleştirilen bir manyetik tabla ile oluk yüzeyine manyetik alan uygulanarak kuvars temizleme deneyleri yapılmıştır (Şekil 3): Kuvars cevher örneği, yüksek manyetik duyarlılığa sahip ağır Fe-oksit mineralleri içerdiğinden, oluk altından akış yüzeyine uygulanan manyetik alan ile yoğun manyetik tanelerin çökelmesinde etkili olan bileşke kuvvet artırılmıştır.

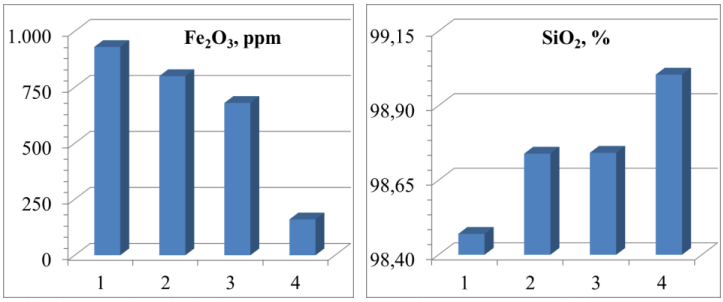
Çalışma kapsamında oluk yüzeyine uygulan manyetik alan şiddeti, oluk yüzeyi ile manyetik tabla arasındaki mesafeyi değiştirerek ayarlanmıştır. Tablanın en yakın

olduğu mesafede oluk yüzeyinde 2100 gauss'luk manyetik alan şiddeti ölçülmüştür. Bu kadar yüksek alan şiddeti nedeniyle Fe-oksitlerin, oluşan manyetik alan çizgileri boyunca oluk yüzeyine yapışması sonucu oluk yüzeyinde yapay eşikler oluşmuş ve akış düzeni bozulmuştur. Bu durumdan dolayı tabakalaşma, deney boyunca düzgün olmamıştır. Eşiği oluşturan hareketsiz manyetik taneler belirli bir kalınlığa geldiklerinde akışa direnç gösteremedikleri için kopmuşlar ve oluktan örnek alma sürecinde yüksek konsantrasyonlarda örnek kabına geldiğinden zenginleştirme üzerindeki manyetik alan etkisi düzgün bir şekilde belirlenememiştir. Manyetik tablanın oluktan bir miktar uzaklaştırılması durumunda ölçülen 930 gauss'luk manyetik alan şiddetinde de zayıf bir şekilde de olsa eşik oluşmuş ve tabakalaşma olumsuz etkilenmiştir. Manyetik tabla ile daralan oluk mesafesi biraz daha açıldığında oluk yüzeyinde oluşturulan zayıf manyetik alan (535 gauss) ağır manyetik Fe-oksitleri, yerçekimine ilave kuvvetle oluk yüzeyine doğru çekerek fazların daha etkin ayrımı sağlanmıştır. Pülp akış yönünde akışdan dolayı oluşan yatay sürükleme kuvveti nedeniyle dikey yönde uygulanan zayıf manyetik alan, eşik oluşumuna neden olmamış ve tabakalaşma daha etkin bir şekilde gerçekleşmiştir. Bu nedenle renk verici istenmeyen Fe-oksitler nispeten uzaklaştırılabilmiştir. Manyetik tabla yokken daralan oluk ile 930 ppm'den ancak 800 ppm'e indirilebilen Fe_2O_3 tenörü, manyetik tabla kullanımı ile 680 ppm'e kadar düşürülebilmiştir (Şekil 3). Fakat düşük kalite cam üretimi için aranan en falza 200 ppm Fe_2O_3 değernine sahip konsantre üretilememiştir (Akçıl vd., 2007; Göktepe vd., 2011; Hacıfazlıoğlu, 2011; Köse ve Türeli, 1986; Yurtsever, 2016).



Şekil 3. Oluk yüzeyine uygulanan manyetik alan şiddetinin konsantre Fe_2O_3 ve SiO_2 içeriğine ve verimine etkisi (Besleme hızı: 0,88 t/s; Bıçak yüksekliği: Pülp film kalınlığının %20'si; Titreşim uygulanmadı)

Daralan oluklarda engelli çökelme koşullarının sağlanabilmesi ve pülp film dikey kesitinde etkin tabakalaşma oluşması için pülp katı oranının %40'ın üzerinde olması gerekir. Zenginleştirilecek cevheri oluşturan tanelerin fiziksel özelliklerine bağlı olmakla birlikte pülp katı oranının çok yükse (>%65) olması durumunda daralan oluklarda taneler serbest hareket edemeyeceğinden tabakalaşma olumsuz etkilenecektir (Ergün ve Ersayın, 2002; Sivamohan ve Forsberg, 1985; Wills ve Napier-Munn, 2006). Diğer gravite ayırıcılara oranla yüksek katı oranında çalışan daralan oluklarda, muhtemelen optimum çalışma pülp katı oranında dahi tanelerin serbest hareket edememesi nedeni ile oluk ayırma verimi düşük olmaktadır. Oluk altından manyetik alan uygulanmasına rağmen ayırma veriminde dikkate değer bir iyileşme olmamıştır. Yapılan çalışmalar titreşim uygulamasının tanelerin serbest hareket etmesini sağladığını ortaya koymuştur (Alp vd., 2004; Kyllönen vd., 2004; Mason ve Lorimer, 1988). Titreşim, yoğun katı ortamında taneler arası sürtünmeyi azaltarak uygulandığı yönde taneleri hareketlendirmektedir (Grönroos, 2010). Bu nedenle sabit manyetik alana (535 gauss) ilave olarak ayırma verimini iyileştirme amacıyla akış yönünde oluk üsütünden 115 μm genlikte titreşim uygulanmıştır. Titreşim ve manyetik alanın birlikte uygulanması ile Fe_2O_3 ve SiO_2 tenörleri için elde edilen sonuçlar (4); besleme (1), standart daralan oluk ile zenginleştirme (2) ve daralan oluğa sabit manyetik alan (535 gauss) uygulama (3) koşulları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4). Kuvars tenöründe önemli bir değişim gözlenmezken manyetik Fe mineralleri etkin bir şekilde uzaklaştırılabilmiştir. Konsantre Fe_2O_3 tenörü, manyetik tabla ile birlikte akış yönünde titreşim uygulandığında 160 ppm'e düşmüştür. Oluk yüzeyine sürekli manyetik alan uygulanması nedeniyle pülp tabakasının alt tarafına doğru yerçekimine ilave olarak manyetik kuvvet ile çekilen Fe mineralleri titreşim yardımıyla oluk çıkışına doğru daha etkin bir şekilde taşınmıştır. Manyetik tabla kullanımı ile konsantre Fe_2O_3 tenörünü ancak 680 ppm'e düşürmüştür. Manyetik alana ilave olarak titreşim uygulandığında ise konsantre Fe_2O_3 tenöründe keskin bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu durum, manyetik alan şiddeti zayıf ta olsa sadece manyetik alan uygulamanın, manyetik tanelerin oluk yüzeyine yapışması neden olduğunu ve dolayısıyla yapay eşik oluşumu sonucu tabakalaşmaının olumsuz etkilendiğini göstermektedir. Titreşim uygulanması nedeni ile zayıf bir çekim kuvveti ile oluk tabanına yapışan manyetik taneler, yapay eşikler oluşturamamış ve titreşim etkisi ile ürün çıkışına doğru taşınmıştır.



Şekil 4. Manyetik alan ve titreşimin konsantre Fe_2O_3 ve SiO_2 tenörüne etkisi ((1): Besleme; (2): Daralan oluk konsantresi; (3): Manyetik tabla (535 gauss) ile modifiye edilmiş daralan oluk konsantresi; (4): Titreşim (Titreşim genliği: 115 µm) ve Manyetik tabla (535 gauss) ile modifiye edilmiş daralan oluk konsantresi)

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Esan Eczacıbaşı Çine Kuvars Zenginleştirme Tesis atıklarından modifiye daralan oluk ile Fe-oksitlerin temizlenmesi üzerine yapılan deneysel çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- Daralan oluk ile tesis atıkları zenginleştirilememiştir.
- Oluk yüzeyine sadece sabit manyetik alan uygulanması verimli olmamıştır. Manyetik tabla oluk yüzeyine fazla yaklaştırıldığında yüzeye uygulanan manyetik alan şiddeti arttığından tabakalaşma bozulmuştur. Manyetik alan şiddeti düşürüldüğünde ise manyetik duyarlılığı yüksek ağır mineraller yeteri oranda uzaklaştırılamamıştır. Oluk yüzeyine sabit 535 gauss manyetik alan şiddeti uygulayabilecek şekilde oluk altına manyetik tabla yerleştirildiğinde oluktan %98,74 SiO_2 ve 680 ppm Fe_2O_3 içeren konsantre elde edilmiştir.
- Oluk yüzeyine sabit 535 gauss manyetik alan şiddeti uygulayabilecek şekilde oluk altına manyetik tabla yerleştirildiğinde ve oluk yüzeyine akış yönünde 115 µm genliğinde titreşim uygulandığında, oluktan %99,00 SiO_2 ve160 ppm Fe_2O_3 içeren satılabilir konsantre elde edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın yapılmasına olanak sağlayan Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (Proje No.2015/50) finansal desteğinden dolayı teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Abdinegoro, S. ve Partridge, A.C., 1979. Flow characteristics of a pinched sluice, Australian Institute of Mining and Metallurgy Conference, Western Australia, 79-83.

Akçıl, A., Tuncuk, A. ve Deveci, H., 2007. Kuvarsın saflaştırılmasında kullanılan kimyasal yöntemlerin incelenmesi, Madencilik, 46(4): 3-10.

Al-Maghrabi, M.N.H., 2004. Improvement of low-grade silica sand deposits in Jeddah area, JKAU: Eng. Sci., 15(2): 113-128.

Alp, İ., Deveci, H., Özdağ, H., 2004. Processing tincal ores using ultrasonic waves, *II. Uluslararası Bor Sempozyumu*, 23-25 Eylül, Eskişehir, ss. 59-64.

Arvidson, B.R., 1999. Advances in rare earth magnetic drum separators for heavy mineral sands processing, Proceedings of Heavy Minerals 1999, Kasım 1999, 121-124.

Burat, F., 2011. Küçük boyutlu kömürlerin susuzlandırılmasında ultrasonik ve mekanik titreşim mekanizmalarının etkilerinin araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 182s.

Ergün, Ş.L. ve Ersayın, S., 2002. Studies on pinched sluice concentration, part II: Characterization of flow over a pinched sluice, Miner Eng, 15: 437-446.

Göktepe, F., İpek, H. ve Göktepe, M., 2011. Beneficiation of quartz waste by flotation and by ultrasonic treatment, Physicochem Probl Miner Process, 47: 41-50.

Grönroos, A., 2010. Ultrasonically Enhanced Disintegration: Polymers, Sludge, and Contaminated Soil, University of Jyväskylä Department of Chemistry, Ph.D. Thesis, 100 s.

Hacıfazlıoğlu, H., 2011. Silis kumunun zenginleştirilmesinde kullanılan yöntemler ve flotasyon ile manyetik ayırma yöntemlerinin demir giderimi bakımından karşılaştırılması, Madencilik, 50(3): 35-48.

King, R.P., 1987. A quantitative model for gravity separation unit operations that rely on stratification, APCOM 87 Proceedings of the 20th International Symposium on Computers and Mathematics in the Mineral Industries, vol. 2. S. Afr. Inst. Min. Metall., s.147–151.

King, R.P., 2001. Modelling and Simulation of Mineral Processing Systems, Butterworth-Heinemann, 403 s.

Köse, M. ve Türeli, T.K., 1986. Cam üretiminde kullanılan kuvars kumlarında aranan özellikler, zenginleştirme yöntemleri ve Yozgat Sarıkaya kuvarsitlerinin bu açıdan incelenmesi, Madencilik, 25(4): 21-28.

Kyllönen, H., Pirkonen, P., Hintikka, V., Parvinen, P., Grönroos, A., Sekki H., 2004. Ultrasonically aided mineral processing technique for remediation of soil contaminated by heavy metals, Ultrasonics Sonochemistry, 11: 211-216.

Mason, T.J., Lorimer, J.P., 1988. Sonochemistry: Theory, Applications and Use of Ultrasound in Chemistry, Ellis Horwood Limited, Chichester, England, 252 s.

Sivamohan, R. ve Forssberg, E., 1985. Principles of sluicing, Int J Mineral Process, 15: 157-171.

Wills, B.A., Napier-Munn, T.J., 2006. Wills' Mineral Processing Technology, Butterworth-Heinemann, 444s.

Yurtsever, S., 2016. Kuvars Zenginleştirme Tesis Atıklarının Modifiye Daralan Oluk ile Zenginleştirilebilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 58 s.

Yurtsever, S., Güler, T., 2017. Kuvars zenginleştirme tesisi atıklarının daralan oluk ile zenginleştirlmesinde manyetik alanın etkisi, Türkiye 25. Uluslararası Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı – IMCET2017, 11-14 Nisan 2017, Antalya, ss.627-633.

BAŞER MADEN SAN. VE TİC. A.Ş.'YE AİT CEVHER HAZIRLAMA TESİSİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

THE INVESTIGATION ON THE ENVIRONMENTAL EFFECTS OF THE MINERAL PROCESSING PLANT BY BAŞER MINING CO.

Yakup UMUCU*[1], Salih AKBOĞA[2]

1: Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta, TÜRKİYE

2: ADO Başer A.Ş., Şarkikaraağaç, Isparta, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: umucuy@hotmail.com

ÖZET: Günümüzde çevre bilincinin gittikçe önem kazanması madencilik kaynaklı olumsuz çevresel etkilerin minimize edilmesi zorunluluğunu beraberinde getirmektedir. Çevresel etkilerin ölçülmesi ve ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla literatürde farklı yaklaşımlar mevcuttur. Ölçümlerin doğru olarak gerçekleştirilmesi ve varsa eğer çevresel olumsuzlukların nedenlerinin doğru bir şekilde ortaya konması sorunun çözümünde kilit unsur olmaktadır.

Bu çalışma kapsamında birçok kurum ve kuruluşa örnek olabilecek, cevher hazırlama tesislerinin çevre denetleyicileri ile karşılaşabilecek sorunların çözümü noktasında yön verecektir. Bu amaçla çalışma kapsamında Başer A.Ş.'ye ait tesisin bulunduğu bölgenin jeolojik yapısı, toprak özellikleri, tesisin faaliyet alanı, tesiste oluşan atıkların özellikleri ve bu atıkların yer altı suları ve toprak başta olmak üzere çevreye etkileri ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Barit, Atık, İnert madde, Cevher hazırlama

ABSTRACT: *Nowadays, environmental awareness becomes increasingly important, the need to minimize adverse environmental impacts from mining is bringing together. There are different approaches in the literature for measuring environmental effects and evaluating measurement results. Accurate realization of measurements, if the causes of environmental adversities are correctly revealed, it is a key factor in solving the problem.*

In this study, it can be an example to many institutions and organizations, the point of resolution of the problems they may encounter with environmental auditors of the mineral processing plants will be directed. For this purpose, the geological structure of the region, the soil properties, the activity area of the plant, the characteristics of the wastes formed in the plant, and the effects of these wastes on the environment, where the facility belongs to Başer CO. and these wastes were discussed environmental impacts on mainly underground waters and soil.

Keywords: *Barite, Waste, Inert substance, Mineral processing*

1. GİRİŞ

İnsanların temel ihtiyaçlarından olan ***ÇEVRE ve MADENCİLİK*** ilk bakışta birbirlerine ters iki kavram gibi görünürler. Oysa Çevre ve Madencilik birbirini tamamlayan iki unsurdur. Madenler, milyonlarca yılda oluşan tüketildiğinde yenilenemeyen kaynaklardır. Bu nedenle mutlaka etkin bir planlamayla ülkenin ihtiyaçları göz önüne alınarak çevreye duyarlı bir şekilde ve kamu yararı öncelikli olarak üretilmelidir. Çevre sorunları ekseninde tartışılan global ısınma, ozon tabakasının delinmesi, nükleer radyoaktivite gibi sorunlar sadece çevrecilerin değil, tüm insanlığın gündeminde yer alması gereken konulardır. Ancak sorunun çözümü için getirilen öneriler; ne yazık ki popülist eksende geliştirilmekte, sanayi karşıtlığını körüklemektedir. Bu kapsamda ne yazık ki, hammadde üretimi aşamasında görsel bir kirliliğin ötesine geçmeyen madencilik te nasibini almaktadır. Üstelik de bu bilinçsiz popülist tepkiler daha çok da maden varlığının belirlenmesine yönelik hiçbir çevre sorununun olmadığı arama döneminde yoğunlaşmaktadır. Maden üreticisi kamu ya da özel kuruluşların, maden mi, çevre mi dilemması çıkmazına sokulmak yerine, daha işin başında halkla ilişkileri esas alan üçüncü bir yolu tercih etmemeleri de bu süreçlerin ülke yararına yönetilmesini zorlaştırmaktadır.

Barit, baryum elementinin en yaygın minerali olan baryum sülfattır. Baryum tuzları başlıca boya, muşamba, kâğıt imalatında ve sondaj işlemlerinde kullanılmakta olup temelde çözünmez tuzları oluşturmaktadır (Sawyer vd., 2013). Barit, metal mineraller dışında yoğunluğu en fazla olan mineraldir. Bu sebepten dolayı petrol sondajlarında kırıntıların ağır-ortam olarak sondaj kuyusundan atılmasına yardımcı

olmak ve beyaz renkte olmasından dolayı boya, plastik ve kablo gibi sanayilerde dolgu maddesi olarak geniş kullanım alanı bulmaktadır.

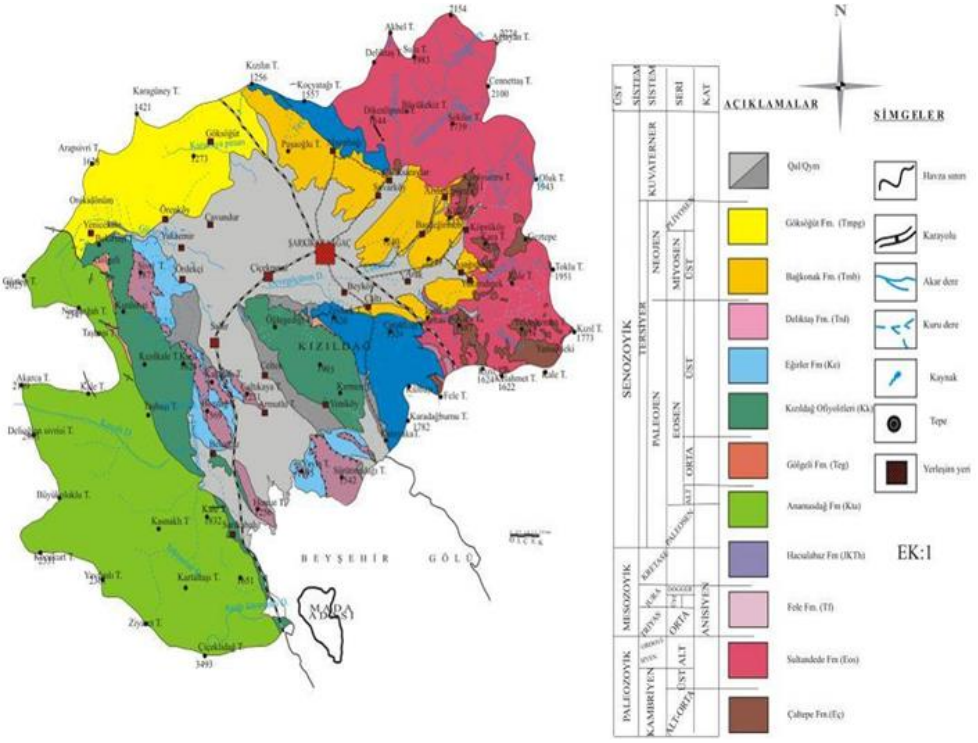
Bu çalışmada, Isparta İli, Şarkikaraağaç İlçesi, Isparta-Şarkikaraağaç Karayolu, üzerinde yer alan Başer Maden San. ve Tic. A.Ş tarafından işletilen 70.560 ton/yıl kapasiteli ve toplam 72.631 m^2 kurulu alana sahip Barit Zenginleştirme, Öğütme, Paketleme ve Mikronizasyon Tesisinin madencilik, toprak ve çevresel olarak değerlendirmesi amacıyla hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında tesisin bulunduğu bölgenin jeolojik yapısı, toprak özellikleri, tesisin faaliyet alanı, tesiste oluşan atıkların özellikleri ve bu atıkların yer altı suları ve toprak başta olmak üzere çevreye etkileri ele alınmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Şarkikaraağaç ve civarı jeolojik olarak otokton ve allokton konumlu kaya birimlerinden meydana gelmektedir (Şekil 1). Bu birimler, Özgül (1976) tarafından tanımlanan Geyikdağı Birliği, Dumont ve Kerey (1975) tarafından tanımlanan Anamas-Akseki Birliği, Şenel vd., (1996) tarafından tanımlanan Anamas- Akseki otoktonu içerisindedir. Otokton birimler Şarkikaraağaç yerleşim alanının doğu (Sultandağ) ve batı (Anamasdağ) kısımlarında yüzeylenmekte, orta kısımda ise allokton konumlu birimler bulunmaktadır. Hem Anamas dağ kısmında ve hem de Sultandağı kısmında bulunan otokton konumlu birimler kendi içinde bir istif oluşturur. Ancak bu iki kısmın birbiriyle ilişkileri Beyşehir - Hoyran napları ile Beyşehir Gölü altında kaldığından gözlenememektedir (Elitok, 2000).

Tesiste hammadde olarak faaliyet sahibine ait ruhsatlı maden ocaklarından getirilen barit madeni kullanılmaktadır. Ocaklardan gelen tüvenan madenin klasik gravite zenginleştirme yöntemi ile konsantre haline getirilmesi için kullanılan bir tesistir. Proseste (Şekil 2); tüvenan maden primer (çeneli) kırıcı ünitesinde 150 mm altına indirilir.150 mm altındaki cevher loder ile yıkama tamburu besleme bunkerine beslenir. Yıkama tamburunda toprak ve ince partiküllerinden ayrılarak tromel eleğe beslenir ve uçtaki 20 mm açıklıktaki eleği geçen barit cevheri klasifikasyon teknesine beslenerek batan malzeme direkt jig sistemine gider. Klasifikasyon teknesinden taşan 150 mikron (d_{80}) boyutundaki malzeme ise direkt MGS ünitesine beslenmektedir. +20-150 mm arası tüvenan cevher ise triyaj (elle ayıklama) bölümüne gider. Triyajda yan

ürün alınarak değerli olan beyaz barit seçilir. Seçilen beyaz barit kuru eleme ünitesine veya mikronize değirmen öğütme ünitesine gönderilirken yan ürün (içerisinde barit bulunduran, ekonomik değere sahip) ise sekonder (darbeli) kırıcıya beslenir. Kırılan malzeme sarsıntılı eleğe gelir (Şekil 2).

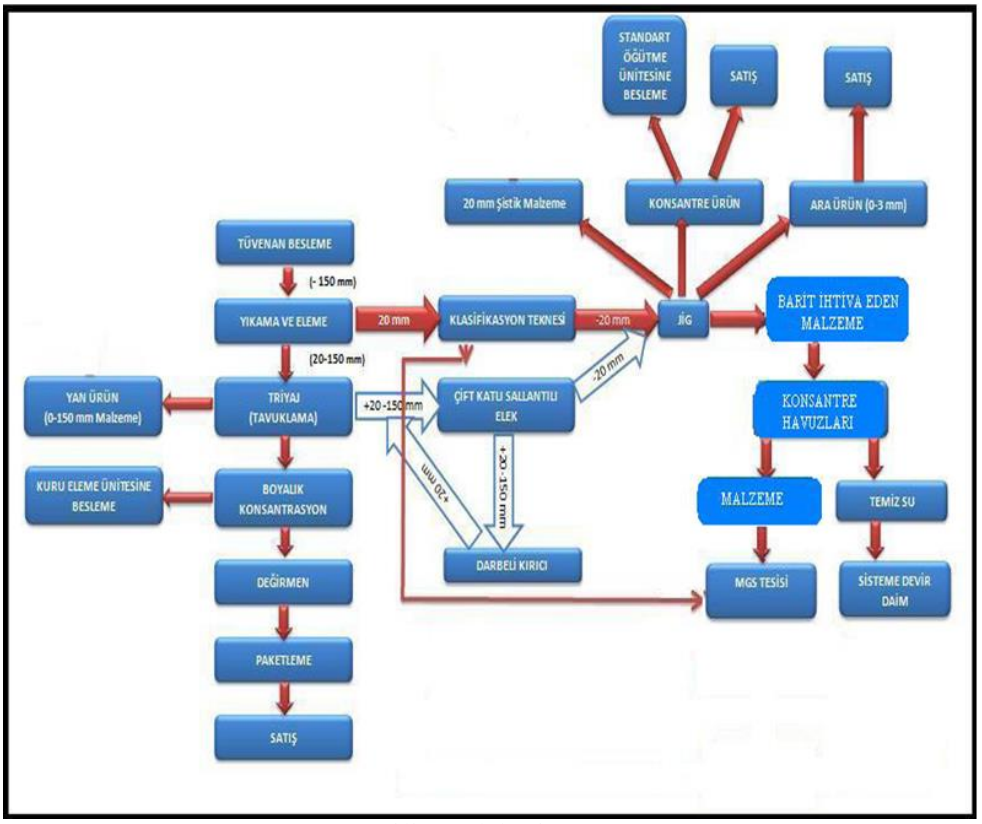


Şekil 1. Şarkikaraağaç (Isparta) ve civarı jeoloji haritası

Sarsıntılı elekte (Şekil 2); - 20 mm üstü malzeme darbeli kırıcıya gelir (sekonder tip tersiyer kırıcı), kırılan malzeme kapalı devre olarak tekrar sarsıntılı eleğe oradan da (-20 mm) jig sistemine gider. - 20 mm altı malzeme ise sarsıntılı elekten direkt jig sistemine gider. Jig sisteminde; ortalama tane boyutu 20 mm altı olan malzemeler bulunur.

Klasik gravite zenginleştirme yöntemleriyle zenginleştirilemeyen malzeme içerisindeki ekonomik değeri olan çok ince boyuttaki (mikron) bariti zenginleştirmek için faaliyete geçirilen bir tesistir. İşletmede 6 grupta 3'er katlı olmak üzere toplam 18 adet sallantılı masa bulunmaktadır. Sisteme beslenen malzeme birçok kez zenginleştirme işlemine tabi tutulur. Bu zenginleştirme işlemine tabi tutulan malzeme

MGS sisteminde 1 mm boyutundaki elek üzerinde kaldığında şlam atığı olarak çıkmaktadır. Elekten geçen baritli malzeme besleme kazanında toplanarak sallantılı masalara verilmektedir. Bu masaların konsantresi, konsantre havuzuna alınırken, ara ürün ise ana besleme ile karışarak sisteme geri beslenmeye çalışılmaktadır. Sistemde masaların çıkışına yerleştirilen tavalar ile ara ürün ve konsantre kolayca birbirinden ayrılabilmektedir. Masalardan gelen ara ürün hidrosiklon yardımıyla ayrılarak MGS (Multi Gravite Separator) tamburuna beslenmekte ve ara ürünün tekrar zenginleştirilmesi ile ara ürün içerisindeki konsantre, konsantre havuzuna kazandırılmaktadır. Ara ürün içerisindeki kazanılamayan konsantre ise tekrar kazanılmak üzere konsantre havuzlarında biriktirilmektedir. Toplam 3 adet konsantre havuzu bulunmaktadır.



Şekil 2. Tesis iş Akım Şeması

Barit işleme tesisine gelen hammaddelerin ürün elde edilmesine kadar yapılan işlemler esnasında barit cevherinin yüzeyindeki kil ve benzeri artıkların temizlenmesi

(uzaklaştırılması) için yapılan yıkama (zenginleştirme) işlemi jiglerde gerçekleştirilmekte olup, bu yıkama işlemi sırasında konsantre, ara ürün ve atık ortaya çıkmaktadır (Karcı, 2011). Barit madeninin doğada bulunduğu haliyle kullanılması mümkün değildir. Jig tesisinde, barit madeninin su kullanılarak fiziksel yöntemlerle (yoğunluk farkı prensibine bağlı olarak) gang minerallerinden ayrıştırılması yapılmaktadır. Bu süreçte kimyasal madde kullanımı söz konusu değildir.

2.1. Atık Sınıfının ve Atık Kodunun Belirlenmesi

Barit Zenginleştirme, Öğütme, Paketleme ve Mikronizasyon Tesisinde yapılan işlemlerde fiziksel yöntemler kullanılmakta olup kimyasal yöntemler kullanılmamaktadır. Şlam atıkları 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan Atık Yönetimi Yönetmeliğinin Ek-4'ünde yer alan atık listesine göre 01 04 12 kodlu "minerallerin yıkanması ve temizlenmesinden kaynaklanan ince taneli atıklar" sınıfında değerlendirilebilir. Atık sınıfı olarak da tehlikesiz atık sınıfında yer almaktadır. Bu yönetmelikte inert atıkla ilgili herhangi bir değerlendirme yapılmamıştır. İnert atıkla ilgili durum, Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik kapsamında atıkların depolanacağı depolama tesisinin sınıfının belirlenmesi aşamasında önem kazanmaktadır.

Mevcut mevzuat çerçevesinde herhangi bir atığın inert atık olup olmadığına ilişkin bir değerlendirme yapmak mümkün görünmemektedir. Ancak maden atıkları ile ilgili bu tür sorunların giderilmesi amacıyla bir yönetmelik yayımlanmış ama henüz yürürlüğe girmemiştir. Bu yönetmeliğin 2016 yılı içinde yürürlüğe girmesi öngörülmüştür. Aşağıda şlam atıklarının inert atık kapsamına girip girmediğine ilişkin bilimsel bir değerlendirme yapılmıştır.

2.2. Şlam Atıklarının İnert Atık Olarak Değerlendirilebilirliği

Konu ile ilgili değerlendirme yapmak için öncelikle inert atık tanımını yapmak gerekir. Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelikte inert atık "*fiziksel, kimyasal veya biyolojik olarak önemli derecede herhangi bir değişime uğramayan, çözünmeyen, yanmayan, fiziksel veya kimyasal olarak reaksiyona girmeyen, biyolojik bozunmaya uğramayan veya temas ettiği maddeleri çevreye veya insan hayatına zarar verecek şekilde etkilemeyen ve toplam sızıntı kabiliyeti ve ekotoksisitesi önemsiz miktarda olan,*

özellikle yüzeysel su ve yeraltı suyu kirliliği tehlikesi yaratmayan atıklar" olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımda belirtilen özelliklere göre şlam atıklarının karakterizasyonu ve çevresel etkilerinin belirlenmesi için yapılan analizlere göre bir değerlendirme yapılmıştır.

2.3. Çevresel Özellikleri

2.3.1. Su kullanımı ve su kirliliği

Tesiste su kullanımı faaliyet sırasında tozlanmanın önlenmesi amacıyla tesis içi servis yollarının sulanması ve jig kabininde ve işletmede çalışanlardan kaynaklı evsel nitelikli atık sulardan oluşmaktadır. Tesisin idari binalar, yollarının sulanması ve jig tesisi için su ihtiyacı faaliyet sahasında bulunan sondaj kuyusundan temin edilmektedir. Kuyu için DSİ Genel Müdürlüğü 18. Bölge Müdürlüğü'nden Yeraltı suyu Kullanma Belgesi alınmıştır. Yolların sulanması için gerekli suyun $5m^3$/gün olacağı öngörülmektedir. Personel kullanımından kaynaklanan su miktarı, kişi başına su tüketimi 150 lt/kişi-gün kabulü ile hesaplanmıştır (Karpuzcu, 1985).

Kullanılacak Su Miktarı = 45kişix150lt/kişi-gün/1000 = $6,75m^3$/gün olarak hesaplanmaktadır.

Tesiste diğer bir su kullanımı çalışan personelin içme ve kullanma ihtiyaçlarından kaynaklanmaktadır. Tesiste personelin su kullanımı $6,75m^3$/gün olup kullanılan suyun tamamının atık su olarak geri döneceği düşünülürse evsel nitelikli atık su miktarı $6,75m^3$/gün olmaktadır. Tesiste oluşan atık sular 1 adet 276 m^3ve 1 adet 120 m^3 hacimli sızdırmaz fosseptikte biriktirilmekte ve ihtiyaç duyulduğunda bir vidanjör ile çekilerek en uygun arıtma tesisine gönderilerek bertaraf edilmektedir.

Faaliyet alanında zenginleştirme işlemi sonucu oluşan atık su, tesiste bulunan çökeltme havuzlarında dinlendirilmekte ve bu işlem sonucu oluşan duru su pompa vasıtasıyla sistemde tekrar kullanılmak üzere geri devir yaptırılmaktadır. Çökeltme havuzlarında, gravite farkından dolayı çökeltme yöntemi ile su ve katı maddeler birbirinden ayrılmakta, çökeltme havuzu tabanında oluşan katı kısımlar ise üretime tekrar besleme olarak verilmektedir.

2.3.2. Katı atıklar

Tesiste oluşan katı atıklar üretim esnasında çıkan şlam ile işletmede çalışanlardan kaynaklı evsel nitelikli katı atıklardan oluşmaktadır. Tesiste çalışan personelden kaynaklanan evsel nitelikli katı atıklar atık toplama ekipmanlarında biriktirilip Şarkikaraağaç Belediyesi çöp konteynırına atılarak bertaraf edilmektedir. Tesiste personel sayısı 45 kişi olup, bir kişinin katı atık üretimi Türkiye İstatistik Kurumu verilerine bağlı olarak 1,34 kg/gün olarak referans alınmıştır. Tesiste oluşacak katı atık miktarı içeriğinde, %75 organik atık ve %25 ambalaj atık olması öngörülmektedir. Oluşacak ambalaj atığı için ambalaj atıklarının kaynağında organik atıklardan ayrı toplanması amacıyla; idari binaya ve yemekhaneye ambalaj atığı toplama kapları konmuştur. Tesiste oluşan ambalaj atıkları Melek Ambalaj firmasına verilerek bertaraf edilmektedir.

Katı atık miktarı = 55 x 1,34 = 73,7 kg/gün olup, bunun %75'i organik ve %25'i ambalaj atığıdır.

Organik atık miktarı= 73,7 kg/gün x 0,75 = 55,275 kg/gün

Ambalaj atık miktarı= 73,7 kg/gün x 0,25 = 18,425 kg/gün

Tesiste yıllık yaklaşık 320 ton şlam atığı çıkması öngörülmekte olup bu atıklar düzenli olarak Karaman İl Özel İdaresi ve Belediyeleri Çevre Altyapı Temel Hizmetleri Birliğine (Karaman Katı Atık Bertaraf Tesisi) gönderilerek bertaraf edilmektedir.

2.3.3. Toz, partikül madde ve gürültü emisyonları

Faaliyet alanına ilişkin olarak Çevre Kanununca Alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmelik kapsamında hava emisyonu konulu Çevre İzin belgesi alınmıştır. Nakliye yolunun stabilize olan kısmında mevsim şartlarına göre tozlanma olmakla birlikte bu yolların su ile ıslatılarak nemli kalmasının sağlanması ve tozlanmanın en az düzeye indirilmesi planlanmıştır. Yükleme ve boşaltmalar savurma yapılmadan yapılmaktadır.

Faaliyet alanında oluşan PM 10 ve toz ölçümleri yapılmış olup, bu değerler Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde belirlenen UVS ve KVS değerlerinin altında kalmaktadır. İşletme aşamasında kullanılacak makine ve ekipmanlarda kullanılacak motorin yanması sonucu oluşacak emisyon değerleri günlük değerler olup hava kirliliği oluşmasına etki edecek düzeyde değildir.

Tesise en yakın yerleşim birimi olan Şarkikaraağaç İlçesi'ne mesafesi 2000 metre için hesaplanan gürültü seviyeleri $L_{gündüz}$ **43.05 dBA'**dır. "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nin 22.maddesi Ek-7 Tablo 4 uyarınca bu alanlar için verilen gündüz gürültü seviyesi sınır değeri 65 dBA olduğundan tesisin gürültü seviyesi sınır değerlerin altında kalmaktadır.

2.3.4. Görüntü ve koku kirliliği

Tesiste görüntü ve koku kirliliğine neden olacak türde bir faaliyet gerçekleştirilmemektedir. Şlam atıklarının bulunduğu alanlarda da kokuya rastlanmamıştır.

2.3.5. Tehlikeli ve tıbbi atıklar

Tesiste tehlikeli atıklar Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne uygun olarak yapılmış olan tehlikeli atık depolama alanında atık kodlarına göre ayrı ayrı geçici olarak depolanmaktadır. Tesiste oluşan tehlikeli atıkların bertarafı ile ilgili olarak lisanslı Remondis Burcu firması ile sözleşme yapılmış olup tesiste meydana gelen tehlikeli atıklar ulusal atık taşıma formu kullanılarak firmaya verilmektedir.

Tesiste personelin sağlık ile ilgili problemlerine en yakın sağlık ocağında müdahale edilmektedir. Bununla birlikte acil durumlarda müdahale edebilmek için tesiste revir bulunmaktadır. Tıbbi atıkların bertarafı için Atık Çevre Teknolojileri İnş. San. ve Tic. A.Ş. ile sözleşme yapılmıştır.

2.3.6. Diğer çevresel etkiler

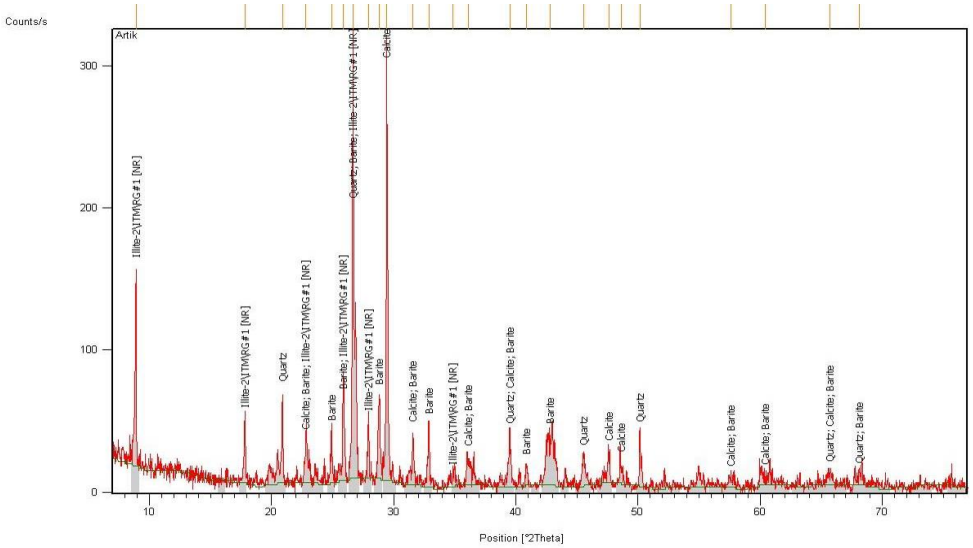
Kullanılacak araçların bakım-onarımı, yağ ve filtre değişimi araç servis istasyonlarında yapılmakta olup bu alanda oluşan atık yağlar geçirimsiz zemin üzerine yerleştirilmiş konteynerler içinde toplanmaktadır. Toplanan atık yağlar, atık lastikler, filtre, atık bez, boş teneke vb. atıklar lisanslı bir firmaya verilerek bertaraf edilmektedir. Tesiste çalışan personelin yemek ihtiyacı yemekhanede karşılanmakta olup, oluşan bitkisel atık yağları sızdırmaz, iç ve dış yüzeyleri korozyona dayanıklı bidonlarda toplanmakta ve lisanslı bir firmaya verilerek bertaraf edilmektedir. Faaliyet sahasındaki araçların akü değişimi yetkili servislerde yaptırılmakta olup, tesiste atık akümülatör oluşumu söz konusu değildir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tesisten alınan jig tesisi artığı MGS ünitesi beslemesi ekonomik değeri olan cevher için mineralojik inceleme sonucu Şekil 2'de verilmiştir. Mineralojik analiz sonuçları da Çizelge 1'de verilmiştir. XRD sonuçlarından (Şekil 3) görüleceği üzere kalsit, kuvars, kil minerali olan illit ve barit cevherleri ihtiva eden malzeme bulunmaktadır. Elde edilen bulgulardan MGS ünitesinden elde edilen barit kazanımından sonra geriye tehlikesiz ve inert artık olarak nitelendirilebilecek malzeme kalmaktadır. Yapılan XRD sonuçlarına göre (Şekil 3) Başer A.Ş.'ye ait barit cevherinin, yan kayaç olarak, kalk-şist, kalker, mermer, kuvarsit, kumtaşı, dolomitik kireçtaşı görüleceği üzere kalsit, kuvars, kil minerali olan illit ve barit cevherleri ihtiva eden malzeme bulunmaktadır.

Çizelge 1. Şlam atıklarının mineralojik özellikleri

Numune	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	MnO	A.K.
Barit Atığı	49.76	8.04	2.28	0.47	12.20	0.60	2.52	0.21	0.08	0.06	13.80
Numune	**Cr mg/kg**	**Cu mg/kg**	**Zn mg/kg**	**Pb mg/kg**	**Cd mg/kg**	**Co mg/kg**	**Ni mg/kg**	**Ba mg/kg**	**Mo mg/kg**	**B mg/kg**	**As mg/kg**
Barit Atığı	21.57	104.41	40.67	20.72	<0.01	<0.01	3.27	11180	<0.01	<0.01	<0.01



Şekil 3. Jig tesisi artığı MGS ünitesi beslemesi cevherin XRD sonucu

Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde yapılan şlam atıklarının eluat testi analiz sonuçlarına göre (Çizelge 2) ölçülen parametreler bakımından TS 266 içme suyu standartlarını da sağlamaktadır. Analiz sonuçları depolama tesisleri açısından incelendiğinde, "Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair

Yönetmelik'te belirtilen tehlikeli atık, tehlikesiz atık ve inert atık düzenli depolama tesislerine kabul edilme kriterlerini sağlamaktadır.

Tesisin bulunduğu yerdeki sondaj kuyusundan numune takvimine göre numuneler alınmakta ve Isparta Halk Sağlığı Laboratuvarında analizleri yapılmaktadır. 05.02.2016 tarihli analiz sonucu Çizelge 3'te verilmiştir. Bu analiz sonuçları "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" hükümlerine göre kriterleri sağlamaktadır.

Çizelge 2. Şlam Atıklarına Ait Analiz Sonuçları ve Depolama Tesisleri Sınır Değerleri ile Karşılaştırılması

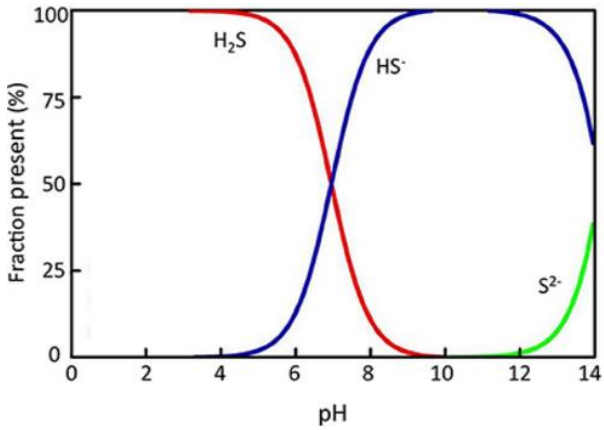
Parametre	Ölçülen Konsantrasyon	ADDDY Ek 2 Sınır Değerleri			Analiz Yöntemi
		EK-2A (Sınır Değer)	EK-2B (Sınır Değer)	EK-2C (Sınır Değer)	
Arsenik (As)	<0.01 mg/L	0.05 mg/L	0.2 mg/L	2.5 mg/L	SM3120B
Baryum (Ba)	0.165 mg/L	2 mg/L	10 mg/L	30 mg/L	SM3120B
Kadmiyum (Cd)	<0.003 mg/L	0.004 mg/L	0.1 mg/L	0.5 mg/L	SM3120B
Toplam Krom (Cr)	<0.01 mg/L	0.05 mg/L	1 mg/L	7 mg/L	SM3120B
Bakır (Cu)	0.044 mg/L	0.2 mg/L	5 mg/L	10 mg/L	SM3120B
Civa (Hg)	<0.001 mg/L	0.001 mg/L	0.02 mg/L	0.2 mg/L	DEUASL-001
Molibden (Mo)	<0.01 mg/L	0.05 mg/L	1 mg/L	3 mg/L	SM3120B
Nikel (Ni)	<0.01 mg/L	0.04 mg/L	1 mg/L	4 mg/L	SM3120B
Kurşun (Pb)	<0.01 mg/L	0.05 mg/L	1 mg/L	5 mg/L	SM3120B
Antimon (Sb)	<0.005 mg/L	0.006 mg/L	0.07 mg/L	0.5 mg/L	SM3120B
Selenyum (Se)	<0.005 mg/L	0.01 mg/L	0.05 mg/L	0.7 mg/L	SM3120B
Çinko (Zn)	<0.01 mg/L	0.4 mg/L	5 mg/L	20 mg/L	SM3120B
Klorür (Cl)	7.00 mg/L	80 mg/L	1500 mg/L	2500 mg/L	SM4500ClB
Florür (F)	0.97 mg/L	1 mg/L	15 mg/L	50 mg/L	SM4500FD
Sülfat (SO_4)	93.80 mg/L	100 mg/L	2000 mg/L	5000 mg/L	SM4500 SO_4^{-2} C
Fenol İndeksi	<0.1 mg/L	0.1 mg/L	-	-	SM5530BD
Çözünmüş Organik Karbon (DOC)	5.26 mg/L	50 mg/L	80 mg/L	100 mg/L	SM5310B
Toplam Çözünmüş Katı Madde (TDS)	95 mg/L	400 mg/L	6000 mg/L	10000 mg/L	SM2540C
Toplam Organik Karbon (TOC)	<780 mg/kg	30000 mg/kg	-	60000 mg/kg	TS 12089
BTEX	<0.1 mg/kg	6 mg/kg	-	-	EPA5021A
PCB	<0.01 mg/kg	1mg/kg	-	-	EPA8082A EPA3540A
Mineral Yağ	250 mg/kg	500 mg/kg	-	-	EPA5520A

Depolama alanlarında depolanacak atıkların gaz oluşturma potansiyeli önemlidir. Şlam atıklarının gaz oluşturma potansiyeli incelendiğinde, sadece kükürt açısından bir değerlendirme yapılabilir. Eluat testi sonucunda sülfat konsantrasyonu 93,8 mg/lt (Çizelge 2) olarak belirlenmiştir. Sülfatın anaerobik ortamlarda organik madde varlığında mikroorganizmalar tarafından H_2S gazına dönüştürülmesi mümkün

olabilmektedir. Analiz sonuçlarına göre organik madde muhtevası ve TOC içeriği çok düşük seviyelerde olduğundan, böyle bir durumun gerçekleşme ihtimali bulunmamaktadır. pH'a bağlı olarak H_2S, HS^- ve $S^=$ arasındaki değişim de Şekil 4'de görülmektedir. Buna göre pH değeri arttıkça ortamda gaz oluşması azalmaktadır.

Çizelge 3. Başer Maden San. A.Ş. Sondaj Kuyusu Analiz Sonuçları

Parametreler	Metod-Cihaz	Mevzuat Limiti	Analiz Sonucu	Durum
Escherichia Coli	TS EN ISO 9308-1 /2014 Membran Filtre	0	0	UYGUN
Koliform Bakteri	TS EN ISO 9308-1 /2014 Membran Filtre	0	0	UYGUN
Amonyum (mg/L)	Spektrofotometrik	0.50	0.01	UYGUN
İletkenlik (20 C'de IS/cm)	Kondüktometrik	2500	462	UYGUN
pH	Potansiyometrik	≥ 6.5 ≤ 9.5	7.82	UYGUN
Bulanıklık (TKEDY)		0	NORMAL	UYGUN
Koku (TKEDY)		0	NORMAL	UYGUN
Renk (TKEDY)		0	NORMAL	UYGUN
Tat (TKEDY)		0	NORMAL	UYGUN



Şekil 4. pH'a bağlı olarak H_2S, HS^- ve $S^=$ arasındaki değişim ((Holmer and Sheetal, 2014))

Süleyman Demirel Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde yapılan analiz sonucunda şlam atıklarında pH değeri 8,48, su muhtevası %20,0 ve organik madde muhtevası %1,74 olarak bulunmuştur. Buna göre atığın pH değeri ve organik madde değerleri dikkate alındığında H_2S gazının oluşumu gerçekleşmez. Sahada yapılan gözlem sonucunda da şlam atıklarının bulunduğu alanda herhangi bir H_2S kokusuna rastlanmamıştır. Bu da şlam atığının gaz oluşturmadığının bir göstergesidir.

Bu sonuçlardan yola çıkarak şlam atıklarının yeraltı suyuna herhangi bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Şlam atıklarının depolandığı alanlarda zemin

sızdırmazlığının önemi düşük düzeydedir. Dolayısıyla şlam atıkları Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelikte yer alan düzenli depolama tesisi sınıflarından inert atıkların depolandığı III. sınıf düzenli depolama tesisinde depolanması yeterli olacaktır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Başer Maden San. ve Tic. A.Ş. tarafından işletilen Barit Zenginleştirme, Öğütme, Paketleme ve Mikronizasyon Tesisinin, madencilik, toprak ve çevresel olarak incelenmesi ve tesiste oluşan atıkların özellikleri ve sınıflandırılması ile ilgili değerlendirmeler aşağıya çıkarılmıştır.

1. Faaliyet alanı Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği'ne göre Seçme, eleme kriterlerine tabi projeler arasında yer almaktadır. Faaliyet alanı ile ilgili olarak "Çevre Etki Değerlendirmesi Kapsam Dışı" yazısı alınmıştır.
2. Tesiste su kullanımı ve su kirliliği, katı atıklar, tehlikeli atıklar, tıbbi atıklar, atık yağlar, görüntü ve koku kirliliği toz, partikül madde ve gürültü emisyonları bakımından herhangi bir olumsuz duruma rastlanmamıştır.
3. Tesiste oluşan şlam atıkları Atık Yönetimi Yönetmeliği'ne göre 01 04 12 kodlu "minerallerin yıkanması ve temizlenmesinden kaynaklanan ince taneli atıklar" sınıfında tehlikesiz atık olarak yer almaktadır.
4. Şlam atıkları ile ilgili yapılan mineralojik ve kimyasal analizler, eluat testi ve yeraltı suyunda yapılan analizler değerlendirildiğinde, şlam atıklarının fiziksel, kimyasal veya biyolojik olarak önemli derecede herhangi bir değişime uğramadığı anlaşılmakta olup çevre açısından herhangi bir olumsuz etkisi olmadığı, sondaj kuyusu analiz sonuçlarına göre yeraltı suyu kirliliği tehlikesi oluşturmadığı, atık oluşum prosesinde sadece fiziksel yöntemlerin kullanıldığı dikkate alındığında inert atık olarak değerlendirmek mümkündür.
5. Şlam atıklarının özellikleri ve çevresel etkileri dikkate alındığında depolandığı alanlarda zemin sızdırmazlığının düşük düzeyde öneme sahip olması ve inert atık kapsamında değerlendirilebileceğinden dolayı bu atıklar Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelikte yer alan düzenli depolama tesisi sınıflarından inert atıkların depolandığı III. sınıf düzenli depolama tesisinde depolanmasında herhangi bir sakınca görülmemektedir.

6. Şlam atıklarının gerekli önlemler alınarak peyzaj, çevre düzenlemesi ve bozuk yolların ıslahı amacıyla faydalı bir şekilde kullanılabilecektir. Böylece doğal kaynak kullanımının azaltılmasına ve korunmasına katkı yapılabileceği gibi depolama sahalarına gidecek atık yükünün de azaltılması sağlanabilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma ADO BAŞER MADEN SAN. ve TİC. A.Ş. sahipleri ve çalışanlarına maddi ve manevi desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Akgül, M., Başayiğit, L., Işıldar, A.A., Uçar, Y. ve Şenol, H. 2004. Şarkikaraağaç Sulama Şebekesi arazilerinin tarımsal üretim potansiyellerinin belirlenmesi. Ziraat Fakültesi Yayın No:23, Araştırma Serisi Yayın No:2.

Demirkol, C., 1977, Yalvaç – Akşehir Dolayının Jeolojisi. S.Ü. Fen Fak. Böl., Doçentlik Tezi, 114 s.

Demirkol, C. ve Sipahi, H., Çiçek, S., 1977, Sultandağının Stratigrafisi ve Jeoloji Evrimi. MTA. Enst., Raporu, 6305 (yayımlanmamış).

Demirkol, C., 1986. Sultandağ kuzeybatısının jeolojisi ve Beyşehir – Hoyran Napı ile ilişkileri: TÜBİTAK temel bilimler araştırma grubu. Proje no: TBAG 382, 56 s., (yayımlanmamış)

DSİ, 1975, Şarkikaraağaç Ovası Hidrojeolojik Etüd Raporu, Isparta

Dumont, J. F. Ve Kerey, E., 1975, Eğirdir Gölü Güneyinin Temel Jeolojik Etüdü. TJK Bült., 18/2, 169–174

Elitok, Ö., 2000, Şarkikaraağaç (Isparta) Ve Çevresinin Jeoloji, Mineraloji Ve Petrografisi. Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniv., Fen Bil., Enst., Isparta.

Holmer, M., Sheetal, H.H., 2014, Sulfide intrusion in seagrasses assessed by stable sulfur isotopes—a synthesis of current results, Front. Mar. Sci., 27.

Karcı, M., 2011, Barit şlam atıklarının yüksek performanslı kompozit harç üretiminde değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bil. Ens., Maden Mühendisliği Anabilim Dalı.
Karpuzcu, M., 1988, Su Tüketimi ve Çevre Sağlığı, İTÜ İnşaat Fak., Çevre Müh. Bölümü, 1985.

Özgül, N., 1976, Torosların Bazı Temel Jeolojik Özellikleri. Türkiye Jeol. Kur. Bült., 19, 65 – 78

Sawyer C.N., McCarty P.L., Parkin G.F., 2013, Çevre Mühendisliği ve Bilimi İçin Kimya, Çev. İ. Toröz.

Şenel, M., Gedik, İ., Dalkılıç, H., Serdaroğlu, M., Bilgin, A.Z., Uğuz, F., Bölükbaşı, K., Korucu, M. ve Özgül, N., 1996, Isparta Büklümü Doğusunda Otokton ve Allokton Birimlerin Stratigrafisi (Batı Toroslar). MTA Dergisi, 118, 111 – 160

TÜRKİYE'DE İÇME SULARINDA ARSENİK KİRLİLİĞİ VE UYGULANAN GİDERİM YÖNTEMLERİ

ARSENIC POLLUTION OF DRINKING WATER IN TURKEY AND APPLIED TREATMENT METHODS

Meltem SARIOĞLU-CEBECİ*, Cansel KOÇ

Cumhuriyet Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Sivas, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: sarioglumeltem@gmail.com

ÖZET: Arsenik, sularda karşılaşılabilen kanserojen ve toksik karakterli önemli bir kirleticidir. En sık karşılaşılan formları ise +3 (As (III)) ve +5 (As(V)) yüklüdür. Günümüzde uygulanan arsenik giderim metotları elektriksel çekim kuvveti yüksek olan As (V)'i başarı ile arıtırken, As (III) giderim verimleri ise daha düşüktür. Dünya'daki arseniğin büyük bir bölümü bakır ve kurşun metallerinde bulunur. Dünya üzerinde, bu denli fazla miktarda bulunan bir maddenin, elbette ki insan üzerinde oldukça büyük etkileri vardır. Hatta arsenik maddesinin, yediğimiz içtiğimiz birçok yiyecek içecek içerisinde bile bulunduğu bilinmektedir. Arsenik giderim metotları genel olarak çöktürme teknolojileri, adsorpsiyon ve iyon değişim teknolojileri, membran ayırma teknolojileri ve alternatif teknolojilerdir. Bu çalışmada sulardan arsenik giderimi üzerine uygulanan yöntemler tartışılıp, içme sularında arsenik kaynağının belirlenmesi ve insan sağlığına etkilerin araştırılması için arsenik giderim yöntemleri verilmiştir. İçme su kaynaklarında belirlenen yüksek arsenikli suların tüketilmesi durumunda insan sağlığı açısından riskler söz konusu olabilecektir. İnsan sağlığına etkileri de burada tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Arsenik kirliliği, İnsan sağlığı, Yeraltı suyu, Giderim yöntemleri

ABSTRACT: *Arsenic is an important pollutant which is carcinogenic and toxic in aqueous environment. Arsenic mostly exits in the +3 and +5 oxidation states. Although arsenic removal methods removal methods are good at As (V) that has high electrical force attraction, As (III) removal efficiencies are poor. Most amount of arsenic in the world is at the copper and lead metals. Therefore, there are several effects on human health. In addition, there are a lot of arsenic inside the food and drinking products.*

Generally, arsenic removal methods are sedimentation methods, adsorption and ion exchange, membrane separation and alternative technologies. In this study, arsenic removal methods from waters were discussed. Arsenic removal methods were given in order to determine arsenic source in drinking waters and search effects on to publich health. As the high level of arsenic bearing waters consume, it can be harmful to public health.

Keywords: *Arsenic pollution, Human health, Underground water, Treatment methods*

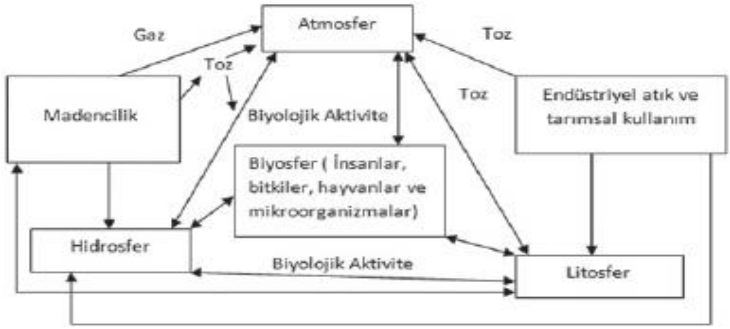
1. ARSENİĞİN KAYNAKLARI

Yaygın bir dağılıma sahip olan arsenik, yer kabuğunda, deniz suyunda ve insan vücudunda en fazla bulunan elementtir. Arsenik, yaklaşık 245'ten fazla mineralin bileşiminde yer almaktadır (Bissen, 2003). Bu mineraller genellikle sülfür, bakır, nikel, kurşun, kobalt ve diğer mineralleri içeren madenlerdir.Orpiment (As_2S_3), Realgar (AsS), Mispikel (FeAsS), Lölenjit ($FeAs_2$), Nikolit (NiAs), Kobaltit (CoAsS), Tenantit ($Cu_{12}As_4S_{13}$) ve Enarjit (Cu_3AsS_4) arseniğin en önemli mineral yataklarıdır (Thirunavukkarasu vd., 2002). Metalurji endüstrisi, cam ve seramik endüstrisi, boya ve pestisit imalat endüstrisi, petrol rafinerileri, diğer organik ve inorganik kimyasal endüstrileri arseniğin başlıca antropojenik yani insan kaynaklıdır (Bissen, 2003; Thirunavukkarasu vd., 2005). Tarımsal faaliyetlerde kullanılan pestisit ve herbisit gibi kimyasalların içeriğindeki arseniğin de su kaynaklarını kirlettiği bilinmektedir. Kayaların ayrışması ile arsenik sülfitler arsenik trioksitlere dönüşerek yağmurlarla nehirlere, yeraltı sularına ve toprağa geçerek arsenik döngüsüne katılırlar. Arsenik doğada hem organik hem de inorganik formda bulunmaktadır. Organik arsenik türleri çoğunlukla yüzey sularında tespit edilmektedir (Caniyilmaz, 2005; Mandal, 2002; Çakmakcı vd., 2008). İçme sularında inorganik arsenik türleri As(III) ve As(V) formunda yaygın olarak bulunmaktadır. Şekil 1'de arseniğin doğadaki döngüsü görülmektedir (Caniyilmaz, 2005).

1.1 Canlılar Üzerinde Sağlık Etkileri

Arsenik iz miktarlarda canlı bünyesinde bulunması gereken bir elementtir. Ancak bazı arsenik bileşiği canlılar üzerinde toksik etkiler yapmaktadır (Bissen, 2003; Caniyilmaz, 2005). İnsanlar, organik ve inorganik arsenik türlerine havadan, sudan ve topraktan

maruz kalabilmektedir (Mandal, 2002). Öyle ki içme suları ile arseniğe maruz kalma bunların içerisinde en önemlilerindendir. İçme sularında yüksek arsenik konsantrasyonları, jeokimyasal şartların arseniğin suda çözünmesine izin verdiği yeraltı sularında olmaktadır. Yetişkinler için arseniğin öldürücü dozu 14 mg/kg vücut ağırlığıdır (Caniyilmaz, 2005). İçme suyunda bulunan inorganik arsenik birçok organı etkileyebilir: Kardiyovasküler, gastrointestinal, solunum sistemi, merkezi ve çevresel sinir sistemi bunlardan bazılarıdır. Keratoz ve derinin beklenmedik kararması gibi hastalıklar 70 kg ağırlığındaki bir yetişkin birey için 700 µg/gün eşdeğerinde arseniğe 515 yıl boyunca maruz kalması sonucunda ortaya çıkabilir. Arseniğin sebep olduğu dermatolojik hastalıklar ilk olarak Tayvanlı insanlar arasında yapılan çalışmalar sonucunda derinin beklenmedik kararmasının en genel rahatsızlık olduğu (183.5/1000) ve bunu keratoz (71/1000) ile deri kanserinin (10.6/1000) takip ettiği belirlenerek ortaya çıkmıştır (Thirunavukkarasu, 2002).



Şekil 1. Arseniğin doğadaki döngüsü [4]

1.2 Yönetmelik ve Standartlar

Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) 1993 yılında yapmış olduğu düzenlemeyle arsenik için içme sularındaki kabul edilebilir sınır değer 50 µg/L'den 10 µg/L'ye düşürülmüştür (Zhanga vd., 2007; Sánchez, 2010; Harisha, 2010). WHO'nun yapmış olduğu bu düzenleme Japonya, Laos, Moğolistan, Namibya, Suriye, Amerika Birleşik Devletleri (ABD), AB ülkeleri tarafından kabul edilmiştir. Sağlıklı içme suyu temin edemeyen Hindistan ve Bangladeş gibi ülkelerde 10 µg/L sınır değerinin uygulanmasının mümkün olamamaktadır. 2002 yılında ABD deki EPA yapmış olduğu düzenleme ile arsenik için maksimum sınır değerini 10 µg/L olarak açıklamıştır. Ülkemizde 2005 yılına kadar arsenik ile ilgili uygulanan düzenlemeler Türk Standartları Enstitüsü'nü tarafından

yapılmış ve TS 266'da maksimum arsenik konsantrasyonu 50 µg/L olarak belirtilmiştir (Alpaslan vd., 2010). 17 Şubat 2005 tarihinde 25730 sayılı "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" kapsamında T.C. Sağlık Bakanlığı tarafından yapılan değişiklikle 50 µg/L'den 10 µg/L'ye düşürülmüştür (Cakmakci vd., 2009; Cansız, 2011). Yönetmelik ile yapılan değişiklik 2008 yılından beri uygulanmaktadır.

2. ARSENİK GİDERİM TEKNOLOJİLERİ

Arsenik giderim teknolojileri genel olarak; çöktürme teknolojileri, adsorpsiyon ve iyon değişim teknolojileri, membran ve alternatif prosesler olarak sıralanabilir (Spellman, 2003).

2.1 Oksidasyon

İçme sularından arsenik gideriminde arseniğin kimyasal formu önemlidir. Yeraltı suyunda arsenikgenellikle inorganik As(III) (arsenit) formunda olup, sudan giderilmesi için As(V) (arsenat) formuna dönüştürülmesi gereklidir. Arsenata yükseltgenme işlemi, yükseltgeyici madde (oksidan) ilavesi ile arıtma prosesinin başında gerçekleşir (EPA, 2003). Oksidasyon yöntemi tek başına arsenik giderimi sağlamaz, koagülasyon, adsorpsiyon veya iyon değiştirme gibi bir arıtım yöntemiyle birleştirilmelidir. Oksijen, ozon, serbest klor, hipoklorit, permanganat ve katı faz oksidanları bu amaçla kullanılan oksitleyici maddelerdir. En yaygın olarak seçilen oksidanlardan biri klordur ancak eğer ortamda doğal organik madde varsa klorlu organik bileşikler oluşur ve bu da istenmez. Klor dioksit ve monokloramin formları arsenik oksitleyicisi olarak etkisizdir (Smedley, 2001).

2.2 Çöktürme ile Arsenik Giderimi

2.2.1 Koagülasyon

Arsenik koagülasyonla, demir ve alüminyum tuzları kullanılarak çözünmeyen forma dönüştürülebilir. Demir tuzları arsenit gideriminde genellikle alüminyum tuzlarından daha etkilidir (Zhenzhong vd., 2007). Koagülasyonda alüminyum için optimum pH aralığı 5-7 demir için 5-8'dir. pH>7'de alüminyum destekli koagülantlarla giderim verimliliği büyük ölçüde düşer. As(III) doğal pH koşullarında yüksüz olduğundan koagülasyon ile As(V)'e göre düşük verimle giderilir. Bu yüzden ön oksidasyon

gereklidir. Uygun pH aralıkları sağlandıktan sonra koagülant ilavesi yapılmalıdır. Arseniğin koagülasyonla giderimi metal/arsenik oranı, pH, arsenik oksidasyon basamağı ve ortamda bulunan diğer maddelerin konsantrasyonuna bağlıdır (Wickramasinghe, 2004).

2.2.2 Demir-mangan oksidasyonu

Konvansiyonel demir ve mangan giderimi sırasında, demir ve mangan hidroksitler üzerine arsenik adsorpsiyonu ile önemli derecede arsenik giderimi gerçekleşebilir (Smedley, 2001). Demir ve mangan giderimi yeraltı sularının arıtılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Mangan çökelmesi esnasında arsenik giderimi ise demire göre az verimlidir.

Kum filtrasyonunda arseniğin giderimi ve filtrasyon verimliliği giriş su kalitesine bağlıdır. Arsenik bileşikleri mangan oksitten oluşan türlerle yer değiştirir. Mangan yüzeyindeki doğal oksidan arseniti arsenata dönüştürür. Arsenat adsorpsiyonu ve elektron transferi sonucu indirgenmiş manganez yüzeyden serbest bırakılır (Spellman, 2003).

2.2.3 Koagülasyon destekli mikrofiltrasyon

Koagülasyon destekli mikrofiltrasyonda koagülasyon-filtrasyon yönteminden farklı olarak, su granüler ortam filtrasyon aşaması yerine basınç farkıyla yarı geçirgen membrandan geçer. Membran koagülasyon aşamasında oluşan As(V) yüklü flokları tutar (EPA, 2003). Koagülasyon destekli mikrofiltrasyon ile pH 6-7 aralığında sudan arsenik gideriminde yüksek verimler elde edilebilmektedir. Düşük pH'larda da (yaklaşık 5.5) arsenik giderimi sağlanabilmektedir. Koagülasyon destekli mikrofiltrasyonun konvansiyonel filtrasyona göre avantajı daha küçük boyuttaki flok taneciklerini gidermesi ve buna bağlı olarak daha az miktarda koagülant gerektirmesi ve toplam işletme kapasitesinin artmasıdır. Koagülasyon destekli mikrofiltrasyon sisteminde koagülant ilavesi membran temizleme sıklığını önemli derecede etkilememektedir (Spellman, 2003). Membran yüzeyinde tutulan kirlilikler tıkanmaya neden olacağı için periyodik olarak geri yıkanır. Geri yıkama suyundaki arsenik konsantrasyonu limitlerin üzerinde ise doğrudan kanalizasyona verilmeyerek uygun bertaraf işlemlerinden geçirilmesi gereklidir. Üst suyun tekrar sisteme verilmesi mümkündür. Susuzlaştırılmış

çamur ise genellikle kentsel katı atık depolama sahasına gönderilebilmektedir (Ghurye vd., 2007).

2.2.4 Kireçle yumuşatma

Kireçle yumuşatma metal tuzlarıyla koagülasyona benzer bir yöntemdir. Kalsiyum karbonat arsenik giderimi için adsorplama ajanı olarak davranır. Jar testi çalışmalarında pH 10.5'de ve daha yüksek değerlerde yaklaşık olarak % 100'e yakın arsenat gideriminin mümkün olduğu görülmüştür. Kireçle yumuşatma yöntemlerinin dezavantajları; Koagülant gereksiniminin fazla olması, aşırı çamur oluşumu, işletme pH'sının yüksek olması ve pH değerinin tekrar ayarlanmasının gerekmesidir. Arsenik giderimi için sadece kireçle yumuşatma ekonomik değildir (EPA, 2003).

2.3 Adsorpsiyon ve İyon Değiştirme Teknikleri

Adsorpsiyon arsenik gideriminde en etkili metotlardan biridir. Arsenik gideriminde yaygın olarak kullanılan adsorbentler aktif alümina, aktif karbon, reçineler ve metal oksitlerdir. Arsenik gideriminde yaygın olarak kullanılan demir oksit mineralleri; hematit, siderit, geotit ve magnetittir (Chowdhury, 2010). Aktif alümina ile arsenik giderimi hem arsenat hem de arsenit için % 95'in üzerindedir. Optimum pH değerleri As (III) için 5.5 ve As (V) için nötrale yakın değerlerdir. Eğer su kaynağında 0.3 NTU'yu aşan bir bulanıklık varsa ön filtrasyon gerekebilir. Bu nedenle nötr ve bazik sularda etkili giderim için pH ayarı gereklidir (Wickramasinghe, 2004).

2.4 Membran Prosesi

Membran yöntemleri seçiciliğin farklı olmasına bağlı olarak dört kategoride değerlendirilebilir: Mikrofiltrasyon (MF), Ultrafiltrasyon (UF), Nanofiltrasyon (NF), Ters osmoz (RO).

Yüksek basınç ile suyun membrandan geçişi sağlanır. Genellikle itici gücün artmasıyla seçicilik artar. Doğal organik maddelerin varlığı ve özellikle kalsiyum, magnezyum, silis, sülfat, klorür ve karbonat gibi çeşitli inorganik iyonlar membran bozulmasına yol açabilir. Membran temizliği arıtım performansını iyileştirebilir ancak zor ve maliyetli bir iştir. Membranın bozulma oranı modülün biçimi ve besleme suyu kalitesi ile ilgilidir. Bazı membranlar, özellikle poliamitten oluşan membranlar klora

karşı duyarlıdır. Bu nedenle besleme suyunda klor giderimi gereklidir. Bu durum dağıtım sisteminde korozyon kontrolü ile ilgilidir (EPA, 2003).

2.4.1. Mikrofiltrasyon

Mikrofiltrasyon membranları düşük basınçlı membranlardır. MF sulardan partiküler boyuttaki arseniği giderebilir. Bu yüzden arsenik giderim verimliliği arsenikli partiküllerin boyutuna bağlıdır ve genellikle tek başına düşüktür. Sularda partiküler boyutta arsenik yüzdesi yüksek değildir. MF tekniği ile giderim verimliliğini arttırmak için sistem öncesinde koagülasyon ve flokülasyon gibi bir ön yöntem uygulanabilir. Ters Osmoz ve Nanofiltrasyona göre enerji gereksinimi daha düşük, akış oranı daha yüksektir (EPA, 2003).

2.4.2. Ultrafiltrasyon

Ultrafiltrasyon yöntemi mikrofiltrasyon yönteminde olduğu gibi geniş gözenek boyutu ve sudaki düşük partiküler arsenik miktarı nedeniyle arsenik gideriminde her zaman geçerli bir yöntem değildir. Ancak sistem öncesinde koagülasyon ve flokülasyon gibi bir ön yöntem uygulanırsa başarılı olabilir (Ghurye vd., 2007).

2.5. Alternatif Teknikler

2.5.1. Demir oksit kaplı kum

Adsorpsiyon arıtma sistemlerine yapılacak modifikasyonlar ile arıtılmış sudaki arsenik konsantrasyonu 10 µg/L nin altına düşürülebilir. Bu alternatiflerden biri, adsorbant ortamında meydana getirilebilecek farklılıklardır. Demir içeren bileşikler arsenik gideriminde hem ekonomik yönden hem de giderim verimliliği açısından etkili olmaktadır. Çeşitli doğal malzemelerin yüzeyleri demirle kaplanarak arsenit ve arsenat adsropsiyonunda kullanımı son yıllarda başarı ile uygulanan yöntemlerdendir(Gimenez vd., 2007). Demir oksit kaplı kum, demir oksit kaplı quartz, Ce(IV)-yüklü demir oksit, silika içeren demir (III) oksit, demir oksit kaplı polimerik materyaller, demir oksit kaplı zeolit ve demir oksit kaplı çimento gibi yöntemler sulu çözeltilerden arsenik gideriminde etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Genellikle arsenat arsenite kıyasla demir oksit yüzeyine daha güçlü bir şekilde adsorplanır. Demir oksitle kaplama teknolojileri arasında, demir oksit kaplı kum arsenik gideriminde göze çarpan bir teknolojidir. Demir

oksit kaplı kum, demir hidroksitlerle kaplanmış kum taneciklerinden meydana gelmektedir. Arsenik, demir oksit kaplı kum üzerindeki yüzey hidroksitleriyle yer değiştirir. Diğer çoğu yöntemde olduğu gibi yatak ömrü tükendiği zaman rejenerasyon gerekir. İşlem sırası ise; rejeneratla muamele etme, su ile yıkama ve güçlü bir asitle nötralize etmektir. Sodyum hidroksit (NaOH) en yaygın kullanılan rejenerattır. Sülfirik asit (H2SO4) en yaygın nötralize edicidir. Demir kompleksleri ortamdan sodyum hidroksit rejenerasyonu ile kolayca giderilebilir. Çeşitli çalışmalar demir oksit kaplı kumun arsenik giderimi üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Arsenik oksidasyon basamağı, rekabet eden iyonlar, pH ve rejenerasyon gibi faktörlerin giderim verimi üzerinde önemli etkisi vardır (Nguyen vd., 2007).

2.5.2 Sülfürle modifiye edilmiş demir

Çevresel ortamlarda arsenik ve sülfür bileşikleri arasında arseniğin indirgenmesinden dolayı güçlü bir ilişki vardır. Hidrojen sülfür varlığında metal sülfür oluşumundan kaynaklanan arsenik giderimi gerçekleşir. Sülfürle modifiye edilmiş demir arsenik giderimi için yakın dönemlerde geliştirilmiş bir yöntemdir. Yöntem üç bileşenden oluşmaktadır; parçacıklar halinde bölünmüş metalik demir, toz halinde elementel sülfür veya diğer sülfür bileşikleri ve oksidasyon ajanı toz demir, toz sülfür ve oksidasyon ajanı (H2O2) tamamen karıştırılır ve arıtılacak olan suya ilave edilir (Spellman, 2003). Oksidasyon ajanı arseniti arsenata dönüştürür. Sülfürle modifiye edilmiş demir yönteminin kullanıldığı çeşitli tip sularda yüksek adsorplama kapasitesi elde edilir. Arsenik giderim verimliliği arsenik/demir oranına bağlıdır. Sülfürle modifiye edilmiş demir için öngörülen işletme maliyeti, yöntem pH 8'in altında işletildiği zaman demir klorür ilavesi, ters osmoz ve aktif alümina gibi alternatif arsenik giderim teknolojilerinden daha düşüktür. Maliyet, akış oranının ve arsenik konsantrasyonunun artmasıyla orantılı olarak artmaktadır (Kaminski vd., 2003).

2.5.3 Granüler demir hidroksit

Granüler demir hidroksit β-FeOOH formunda olup yavaşça kristalleşme özelliğindedir. Demir hidroksit çözeltisinden hazırlanır ve düzensiz granüller 2mm'ye ulaşabilir (granüler demir hidroksit partikül yüzeyi) . Bu yöntem, koagülasyon ve filtrasyon yönteminin özellikleri ile kombine edilmiş bir tekniktir. Yapılan granüler demir

hidroksit testleriyle yüksek arıtım kapasitesi ile arsenat konsantrasyonunun 10 µg/l altına indiği görülmüştür (Spellman, 2003). Granüler demir hidroksit arseniğin filtrasyonla arıtımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Granüler demir hidroksitin yüzey yükü pH'ya bağlıdır. Yüksek pH değerlerinde granüler demir hidroksit alümina ile kıyaslandığında daha üstündür. Performans ancak pH<7.6 (≈8) değerlerinde kıyaslanabilir. Arsenat adsorpsiyonunda sülfat rekabeti çok güçlü değildir. Fosfat ise arsenatla rekabet eder ve granüler demir hidroksit ile arsenat giderimini azaltır. Yöntemin en belirgin dezavantajı maliyetidir. Ancak bir granüler demir hidroksit yatağı alümina yatağından daha uzun süreli kullanılabilir. Aktif alüminanın aksine granüler demir hidroksit ön oksidasyon gerektirmez. Gerekli olan hidroksit yükünden dolayı aktif alüminaya göre çok daha verimli bir teknolojidir çünkü 10 kat daha yüksek hidroksit yüküne sahiptir (Wegelin vd., 2010).

2.5.4 Foto-oksidasyon

Bu yöntemler ile yüksek giderme verimi elde edilmesine rağmen kullanılan kimyasal maddeler (H2O2 gibi) ve enerji gereksinimi (UV ışığı elde etmek için) oldukça yüksektir. Bu nedenle UV ışığı üretiminde doğal bir kaynak olan, güneş ışığı kullanılmaya başlanmıştır. Avusturya Nükleer Bilim ve Teknoloji Organizasyonu (ANSTO) araştırmacıları tarafından ışık varlığında oksijenle arsenik oksidasyon oranını 10.000 kat arttırabilen bir ışık adsorblama materyali bulunmuştur. ANSTO asidik, gümüş, altın ve kurşun madenlerini kullanarak hem UV reaktörlerini hem de güneş ışığı destekli foto oksidasyonu değerlendirmiştir (Spellman, 2003). Yapılan testler %100'e yakın arsenik oksidasyonunun fotokimyasal yöntemler kullanarak sağlanabildiğini göstermiştir. Yöntemde arseniğin %97'si arsenat olarak bulunmuştur. Ayrıca araştırmacılar aşırı miktarda çözünmüş demir varlığında (22:1 arsenik-demir oranı) arsenitin tercihen okside edildiği sonucuna varmışlardır. Foto oksidasyonu takiben çöktürme ile arsenik giderimi etkili bir giderim teknolojisidir. Ancak teknoloji içme suyundan arsenik giderimi için önerilmeden önce daha fazla deneysel değerlendirmeye ihtiyaç duyulmaktadır (Wegelin vd., 2000).

2.5.5 Elektrokoagülasyon

Elektrokoagülasyon yöntemi son yıllarda arsenik gideriminde kullanılan yöntemler arasındadır. Bu yöntem; koagülasyon yöntemine benzemektedir ancak ilave bir koagülanta gerek yoktur (Wan vd., 2010). Elektrokoagülasyon, yükseltgenme-indirgenme reaksiyonlarıyla kontrol edilir ve As(III) anotta yükseltgenebilir. Bu yöntemler As(V)'in giderimi daha kolay bir şekilde gerçekleşmektedir (Gomes vd., 2007). Elektrokoagülasyon sırasında As(III)'ün As(V)'e oksidasyonundan dolayı bu yöntem sudan arsenik gideriminde etkili bir teknolojidir. Arsenik gideriminde yaygın olarak demir ve alüminyum elektrotlar kullanılmaktadır (Balasubramanian vd., 2009).

3. ARSENİK İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR

% Arsenik giderim verimleri As (V) içindir. Bu yüzden As (III)' den As (V)' e dönüşüm için ön oksidasyon gerekli olabilir. İçme sularındaki arseniğin kabul edilebilir sınır değerinin 50 µg/L'den 10 µg/L'ye düşürülmesiyle, arsenik kaynaklı su kirliliği son zamanlarda gündeme gelmiştir. Ülkemizdeki içme suyu arıtma tesislerinin %97'si konvansiyonel proseslere sahiptir. Hali hazırda kullanılan konvansiyonel sistemlerin mevcut üniteleriyle arsenik giderimi oldukça güçtür. Bu tesislerin ileri arıtma prosesleriyle modifiye edilmesi gerekmektedir. Son yıllarda arsenik giderimin de membran proseslerin kullanımının arttığı görülmektedir. Yapılan bazı çalışmalarda yüksek basınçlarla işletilen ters osmoz (RO) ve nanofiltrasyon (NF) membranları ile arseniğin standartları sağlayacak derecede giderildiği belirtilmektedir. Yüksek basınçlarda işletilen RO ve NF membran sistemlerinin yüksek enerji tüketimi sebebiyle işletme maliyetleri de artmaktadır. Düşük enerji ile işletilebilen membran proseslerin kullanılması halinde işletme maliyetleri de azalacaktır. Düşük basınçlarda işletilebilen membranların gözenek çapları ters osmoz ve nano filtrasyon membranlarına göre daha büyük olmaktadır ve giderim verimlerinin de daha düşük olması beklenmektedir. Arseniğin doğrudan ve farklı ön arıtım işlemleri sonrası mikrofiltrasyon (MF) ve ultrafiltrasyon (UF) membranları ile arıtılabilirliği üzerinde son yıllarda çalışmaların yoğunlaştığı görülmektedir.

Elcik tarafından yapılan çalışmalarda, düşük basınçlı ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon membranları ile düşük miktarda koagülant kullanılarak koagülasyon prosesinden daha verimli arsenik giderimi sağlamıştır. Ayrıca, arsenit gideriminde,

Fe(II)/As(III) oranı, oksidasyonun türü ve konsantrasyonu ile membran özelliklerinin arsenik gideriminde etkili parametreler olduğu belirlemiştir. Benzer şekilde Canıyılmaz tarafından MF membranı ile yeraltı sularından arsenik giderimi üzerine yapılan çalışmada yüksek verimler elde edilmiştir. Konvansiyonel sistemlere göre MF prosesinin daha az kimyasal sarfiyatı gerektirdiği ve işletilmesinin daha kolay olduğunu ifade edilmiştir. Topal tarafından UF membranları ile arsenik giderimi üzerine yapılan çalışmada %90 oranında giderim verimi elde edilmiştir.

4. SONUÇ

İçme sularındaki arsenik için kabul edilebilir sınır değerinin 50 µg/L'den 10 µg/L'ye düşürülmesiyle, arsenik kaynaklı su kirliliği son zamanlarda gündeme gelmiştir. Hali hazırda kullanılan konvansiyonel sistemlerin mevcut üniteleriyle arsenik giderimi oldukça güç olması, bu tesislerin ileri arıtma prosesleriyle modifiye edilme ihtiyacını gündeme getirmektedir. İleri arıtım proseslerinden membran proseslerin yüksek giderim verimleri ve konvansiyonel sistemlere entegrasyonunun kolay olması sebebiyle uygun bir alternatif olabileceği düşünülmektedir. İçme sularında arsenik sorunu olan yerleşimlerde, kaliteli su üretme ve arsenik giderme verimi ile halk sağlığının korunması bakımında membran prosesler umut verici olarak görülmektedir.

KAYNAKLAR

Alpaslan, M.N., Dölgen, D., Boyacıoğlu, H. ve Sarptaş, H., 2010. ''İçme suyundan kimyasal yöntemlerle arsenik giderimi'', itüdergisi/e su kirlenmesi kontrolü, 20(1): 1525.

Balasubramanian, N., Kojima, T., C. Basha, A., et.al., 2009. "Removal of arsenic from aqueous solution using electrocoagulation", Journal of Hazardous Materials, 167, 966–969.

Bissen, M. ve Frimmel, H.F., 2003. "Arsenic – a ReviewPart I: Occurrence, Toxicity, Speciation, Mobility", Actahydrochim. hydrobiol., 31 (1): 918.

Caniyilmaz,S., 2005. Arsenic Removal from Ground water by Fe Mn Oxidation and Microfiltration, Yüksek Lisans Tezi, University of Pittsburgh, the Graduate Faculty of School of Engineering, Pittsburgh.

Cansız, V., Ormancı, T., Şengül, A.B. ve Türkoğlu, G.D., 2011. "Sulardan arsenik giderim yöntemleri ve Türkiyedeki uygulamaları : Literatür taraması", Kıyı Bölgelerinde Çevre Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 1720 Kasım 2011, Tekirdağ.

Çakmakcı, M., Başpınar, A.B., Balaban, U., Uyak, V., Koyuncu İ. ve Kınacı C., 2008. "İçme Sularında Arsenik ve Giderme Yöntemleri", Kent Yönetimi, İnsan ve Çevre Sorunları'08 Sempozyumu, 0206 Kasım 2008, İstanbul.

Cakmakci, M., Baspinar, A.B., Balaban, U., Uyak, V., Koyuncu, I. ve Kinaci, C., 2009. “Comparison of nanofiltration and adsorption techniques to remove arsenic from drinking water”, Desalination and Water Treatment, 9: 149154.

Chowdhury, S.R., Yanful, E.K., 2010. “Arsenic and chromium removal by mixed magnetiteemaghemite nanoparticles and the effect of phosphate on removal”, Journal of Environmental Management, 91, 2238-2247.

Elcik, H., 2013. “Sularda bulunan arseniğin düşük basınçla işletilen membranlarla arıtabilirliüinin araştırılması“, YTEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul .

Environmental Protection Agency (EPA), 2003. “Arsenic Treatment Technology Evaluation Handbook for Small Systems”, Office of Water (4606M) EPA, 816-R-03-014.

Ghurye, G., Younan, J.C., Chwirka, J., 2007. “Arsenic Removal from Industrial Wastewater Discharges and Residuals Management Issues”, Journal of Euec, 1.

Gimenez, J., Martinez. M., J. De Pablo., M., et.al., 2007. “Arsenic sorption onto natural hematite, magnetite, and goethite”, Journal of Hazardous Materials, 141, 575–580.

Gomes, J.A.G., Daida, P., Kesmez, M.,et.al., 2007. “Arsenic removal by electrocoagulation using combined Al–Fe electrode system and characterization of products”, Journal of Hazardous Materials, B139, 220–231.

Harisha, R.S., Hosamani, K.M., Keri, R.S., Nataraj, S.K. ve Aminabhavi, T.M., 2010. "Arsenic removal from drinking water using thin film composite nano filtration membrane”, Desalination, 252: 7580.

Kaminski, K. B. Vu, M. D., Nuñez. L., 2003. “Review of Arsenic Removal Technologies for Contaminated Groundwaters”, Argonne, Illinois 60439 operated by The University of Chicago for the United States Department of Energy under Contract W-31-109-Eng-38, 43s.

Mandal, K.B. ve Suzuki, T.K., 2002. ‘‘Arsenicroundtheworld: a review’’, Talanta, 58: 201235.

Nguyen, T.V., Vigneswaran, S., Ngo, H.H., et.al., 2007. “Arsenic removal by a membrane hybrid filtration system”, Science Direct, Desalination, 236, 363-369.

Sánchez, J. ve Rivas, L.B., 2010. "Arsenic extraction from aqueous solution: Electro chemical oxidation combined with ultrafiltration membranes and water soluble polymers”, Chemical Engineering Journal, 165: 625632.

Smedley, L.P., Kinniburgh, D.G., 2001. “United Nations Synthesis Report on Arsenic in Drinking-Water, Chapter 1. Source and behaviour of arsenic in natural waters”, Water and Sanitation Protection of the Human Environment, Geneva, 1-68.

Spellman, F.R., 2003. “Handbook Water and Wastewater Treatment Plant Operations”, Lewis Publishers, 1-696.

Spellman, F.R., 2003. “Handbook Water and Wastewater Treatment Plant Operations”, Lewis Publishers, 1-696.

Thirunavukkarasu, O.S., Viraraghavan, T., Subramanian, K.S. ve Tanjore, S., 2002. "Organic arsenic removal from drinking water”, Urban Water, 4: 415421.

Thirunavukkarasu, O.S., Subramanian, K.S., Chaalal, O. ve Islam, M.R. 2005. ‘‘Arsenic removal in drinking water Impacts and novel removal technologies, Energy sources’’, 27: 209219.

Topal, F.,2009, İçme Sularından Arsenik Giderimi, Yüksek lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Wan, W., Pepping, T.J., Banerji, T., et.al., 2010. "Effects of water chemistry on arsenic removal from drinking water by electrocoagulation", Water Research, 45(1), 384-92.

Wegelin, M., Gechter,D., Hug, S., Mahmud, A., Motaleb, A., 2000. "SORAS - a simple arsenic removal process", Water, Sanitation and Hygiene: Challenges of the millennium, 26, 255- 259.

Wickramasinghe, S.R., Han, B., Zimbron, J., et.al., 2004. "Arsenic removal by coagulation and filtration: comprasion of groundwaters from the United States and Bangladesh", Desalination, 169, 231-244.

Zhanga, G., Qua, J., Liua, H., Liua, R. ve Wua, R., 2007. "Preparation and evaluation of a novel Fe–Mn binary oxide adsorbent for effective arsenite removal'', Water Research, 41: 19211928.

Zhenzhong, L., Huiping, D., Jian, Z., 2007. "Arsenic in Drinking Water and Its Removal", Chinese Journal of Population, Resources and Environment, 5-3, 23-30.

PİRİT HİDROFOBLUĞU VE DURUM POTANSİYELİNE ORGANİK DÜZENLEYİCİLERİN ETKİSİ

EFFECT OF ORGANIC MODIFIERS ON THE HYDROPHOBICITY AND REST POTENTIAL OF PYRITE

Ercan POLAT*, Taki GÜLER, Sedanur TUNÇ

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Muğla, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: epolat@mu.edu.tr

ÖZET: Pirit, birçok kompleks cevher yapısında gang minerali olarak bulunduğu için flotasyon devrelerinden atılması gerekir. Bunun için geleneksel inorganik düzenleyicilere alternatif olarak organik yapılı reaktifler kullanılmıştır. Tannik Asit (TA) ve Ovalbumin (OVA) literatürde az bilinmeleri sebebi ile deneysel çalışmalarda pirit hidrofobluğuna olan etkisi araştırılmak üzere seçilmiştir. Zayıf alkali ortamda, açık atmosfer koşulları altında potansiyel ve temas açısı ölçümleri yapılmıştır. 20-150 ppm bastırıcı kullanımı durumunda her ikisi de benzer eğilim göstermiştir. 500 ppm OVA kullanımı ise farklı potansiyel değerleri vermesine karşın temas açısı ölçümlerinde önemli bir değişim göstermemiştir. Toplayıcı (DTPI) eklenmesi, düşük TA derişiminin (20 ppm) kullanıldığı durumda daha etkili olmuştur. Ucuz ve kolay elde edilebilmelerinin yanında, her iki reaktifin de temas açısını düşürerek pirit hidrofobluğunu etkilemesi bunların alternatif olarak kullanılabilmelerini sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Pirit, Temas açısı, Potansiyel, Tannik asit, Ovalbumin

ABSTRACT: *Pyrite is rejected from flotation circuits, since it is found as a gangue mineral in many complex ore body. For this reason, organic reagents were used as an alternative to conventional inorganic modifiers. Tannic Acid (TA) and Ovalbumin (OVA) were selected in experimental works, in order to investigate their effects on pyrite hydrophobicity, due to relatively low knowledge in literature. Potential and contact angle measurements were performed under open circuit potential in a weak alkaline medium. Both reagents exhibited similar properties in the case of 20-150 ppm consumption. Usage of 500 ppm OVA displayed different potential trend, but did not show a significant change in contact angle measurements. The collector (DTPI)*

addition is more effective when low TA concentration (20 ppm) is used. Both reagents, being cheap and easy to obtain, are suitable to be used as an alternative to conventional ones on pyrite hydrophobicity by reducing the contact angle.
Keywords: *Pyrite, Contact angle, Potential, Tannic acid, Ovalbumin*

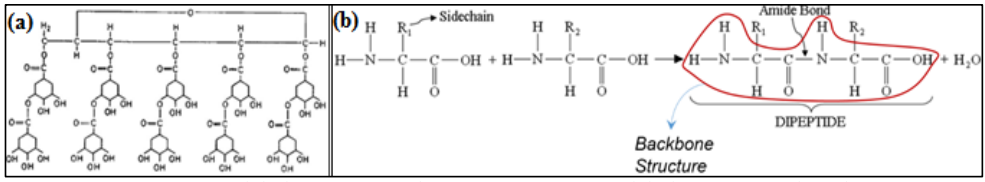
1. GİRİŞ

Pirit (FeS_2) yerkabuğunda yaygın olarak bulunan zayıf manyetik duyarlılığa ve yarı-iletken özelliğe sahip sülfürlü bir mineraldir. Doğada genellikle bakır, kurşun, çinko gibi metalleri içinde bulunduran minerallerle beraber bulunmaktadır. Diğer sülfürlü mineraller ile benzer yüzey özelliklerine sahip olduğu için flotasyon işlemlerinde düzenleyicilerin olmadığı durumlarda konsantreye karışarak tenörü düşürmekte ve hedeflenen ürün özelliklerini bozmaktadır. Bu sebep ile flotasyon devrelerinde genellikle gang minerali olarak bulunduğu için diğer metalik minerallerden ayrılması gerekir.

Flotasyon ile zenginleştirme yöntemlerinde ağırlıklı olarak çevreci olmayan kimyasallar kullanılmıştır. Çevreci bakış açısının önem kazanması ve çevrenin yasalarla daha sıkı biçimde koruma altına alınması flotasyon ile zenginleştirme yöntemlerinde de doğaya zarar vermeyen organik düzenleyicilerin kullanılmasına neden olmuştur. Başarılı biçimde kullanılmaya başlanan organik düzenleyiciler, çevreye olumsuz etkilerinin olmamasından dolayı günümüzde SO_2, sodyum siyanür, potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$) gibi birçok inorganik yapılı kimyasallara göre önemini arttıran bir alternatif olmaya başlamışlardır (Liu ve Laskowski, 1988a; 1988b; Liu vd., 2000; Huang vd., 2014; Pugh, R.J., 1989; Sarquís vd., 2014; Güler vd., 2013).

Flotasyon devrelerinde kullanılan organik bastırıcılardan olan tanen (Tanik Asit, TA) polimer bir yapıya sahiptir (Şekil 1a). TA bitki kuru ağırlığının yaklaşık % 20'sini oluşturur ve neredeyse bitkilerin bütün kısımlarından (meyve, kabuk, odun, kök, yaprak ve tohum) elde edilebilirler (Khanbabaee ve Ree, 2001; Haslam, 1989; Castro ve Hoces, 1993). Doğal polifenollerin bir karışımı olan TA, kuebro ağacından (*Schinopsis balansae*) elde edilmketedir (Sarquís vd., 2014). TA birçok organik düzenleyiciye göre daha az test edilmiş organik yapılardandır. Alkolik (pK>12) yerine fenolik (pK 9.2-9.9) olan hidroksi grupları (-OH) sayesinde nişastalardan farklılaşmaktadır (Pugh, 1989). Geleneksel olarak kullanılan birçok inorganik yapıdaki reaktiflere göre TA'lerin hem

bazik hem de asidik ortamda da kullanılabilme avantajı, bunların daha geniş kullanım alanına sahip olmasını sağlamıştır (Sarquís vd., 2014). Ticari olarak yaygın kullanılan TA türevlerinden en fazla bilineni kuebrodur (quebracho). Birçok organik bastırıcılara göre yapılan çalışmalar sınırlıdır. Kuebro ve dekstrin belli oranlarda karıştırılarak piritin bastırılmasında kullanılmıştır (Bulatovic, 1999). Manser ve Andrews (1975), bazı durumlarda ve özellikle SO_2 varlığında TA'nın nişasta bazlı bastırıcılara göre daha iyi sonuç verdiğini ortaya koymuştur. Aynı çalışmada TA türevi bir bastırıcı (Kr6D) kullanılarak metalik sülfürlü minerallerin KAX varlığında yüzebilirlikleri test edilmiş ve çok düşük derişimlerde dahi minerallerin flotasyonu engellenmiştir. Kuebronun, kalsit ve selestit flotasyonunu pH7-10 aralığında derişimine bağlı olarak etkili biçimde bastırdığı belirtilmiştir (Castro ve Hoces, 1993).



Şekil 1. (a): TA moleküler yapısı (Pugh, 1989), **(b)**: OVA moleküler yapısı (Güler vd., 2013)

Ovalbumin (OVA), molekül ağırlığı 45000 g/mol olan ve kümes hayvanlarına ait yumurtaların beyaz kısmının önemli bir miktarını (40-54%) oluşturan bir proteindir (Güler vd., 2013; Zhao, 2016). Molekül yapısının omurga kısmı amino asit altbirimlerinden ve yan zincirlerden meydana gelir. Omurga kısmı karboksil (-COOH) ve amin ($-NH_2$) gruplarını içeren 385 amino asitten oluşur (Şekil 1b). Amino asitlere bağlı yan zincirlerin kimyasal içeriği OVA'nın yapısını belirler (Güler vd., 2013; Bastrzyk vd., 2008). Yapısındaki sistin grubundaki iki sülfürlü (S-S) ve sistein grubundaki dört aktif grup olan sülfihidril (-SH) bağlardan dolayı elektrokimyasal olarak sulu ortamlarda aktif rol sergilemektedir. OVA proteinleri flotasyonda derişimine bağlı olarak bastırıcı ya da flokülant (molekül ağırlığının fazla olmasından dolayı) olarak kullanılabilcek potansiyele sahiptir. Literatürde OVA'nın cevher zenginleştirme alanında kullanımı ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. OVA-pirit etkileşiminde redoks potansiyelinin önemi FTIR spektroskopisi ve dönüşümlü voltametri çalışmaları esas alınarak araştırılmıştır (Güler vd., 2013). Anyonik toplayıcı (SDS - Sodium Dodecyl Sulphate) varlığında magnezitin kuvarstan ayrımı OVA'nın

düzenleyici olarak kullanılması ile gerçekleştirilmiştir (Bastrzyk et al., 2008). FTIR ve XRD çalışmalarının sonucuna bağlı olarak OVA yapısındaki sistein grubunun pirit yüzeyine soğrulma aşamalarının tamamının kimyasal bir tepkime altında gerçekleştiğini ileri sürmüştür (Liu vd., 2006).

Flotasyonda kullanılan organik tip düzenleyicilerin mineral yüzeyi ile etkileşimleri tam olarak açıklanamamıştır. Çevreci üretim yöntemlerine katkı sağladığı için seçimlilikleri üzerine çalışılan bu yapılar gün geçtikçe daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır. Yaygın olarak kullanılmaya başlanan organik bastırıcılar, pirit gibi gang minerallerinin bastırılması ve seçimli flotasyon işlemlerinde bir potansiyel olarak zararlı reaktiflere alternatif kullanım alanı yaratmaktadır. Bu çalışmada, kolay üretilebilen ve düşük maliyetli olması nedeni ile TA, ve OVA'nın birçok sülfürlü kompleks cevher yapılarında gang minerali olarak bulunan piritin hidrofobluğu üzerine olan etkisini zayıf alkali (pH:9,2) koşullarda potansiyel değişimi ve temas açısı ölçümleri temel alınarak incelenmiştir.

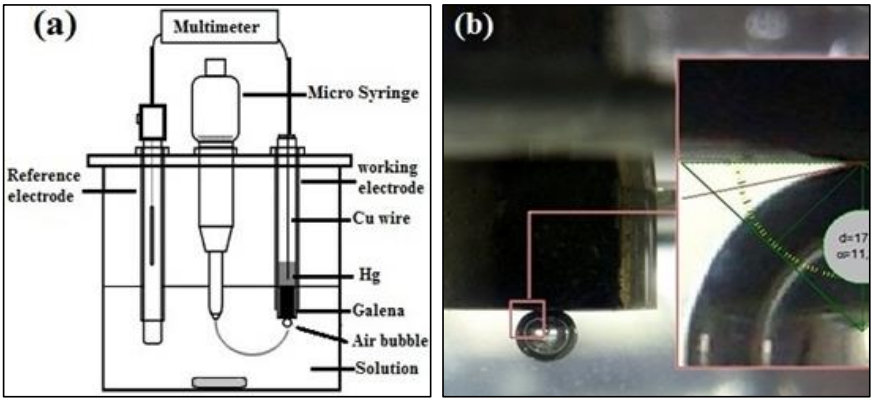
2. MALZEME VE YÖNTEM

Deneylerde kullanılan pirit numunesi Artvin-Murgul cevher kaynağından elde edilmiştir. Yapılan kimyasal ve mineralojik analizler, örneğin oldukça saf olduğunu (>98% FeS_2) ve yapısında kirletici olarak çoğunlukla kuvars mineralinin bulunduğunu ortaya çıkarmıştır. Mineralojik analizler Bruker D8 Advance X-ray Diffractometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan reaktiflerin ve mineral yüzeyinin sulu ortamda çeşitli tepkimelere girerek ortam pH değerini değiştirmesini engellemek için tampon çözelti kullanılmıştır (Garrels ve Christ, 1965). Bu amaçla 0.05 molar sodyum tetra borat ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) çözeltisi ortam pH değerini 9.2'de sabitlemek için kullanılmıştır. Bütün deneysel çalışmalar laboratuvar ortam sıcaklığının yaklaşık olarak 20-23 ^oC olduğu koşullarda gerçekleştirilmiştir.

Temas açısı ve potansiyel ölçümleri oldukça saf halde bulunan pirit numunesi kullanılarak yapılmıştır. Karesel bir yüzeye sahip olacak şekilde hazırlanan yaklaşık 1,5 cm uzunluğundaki pirit örneği, çapı 0,7 cm olan iki tarafı açık bir cam tüp içine elektrokimyasal olarak bulunduğu ortam ile tepkimeye girmeyen bir epoksi yapıştırıcısı kullanılarak yerleştirilmiştir (Şekil 2a). Elektrik akımı bakır telin civa yardımı ile pirit

yüzeyine teması sayesinde gerçekleştirilmiştir. Pirit yüzeyi ilk aşamada 1000 gritlik ince bir zımpara yardımı ile düzeltildikten sonra ortalama 1 μm tane boyutuna sahip elmas pasta kullanılarak mineral yüzeyi pürüzsüz hale getirilmiştir. Bütün deneylerden önce uygulanan bu standart işlemden sonra saf su ile hızla yıkanan pirit yüzeyi ölçümlerin alınması için deney düzeneğine yerleştirilmiştir (Şekil 2a). Deneylerin her aşamasında saf su kullanılmıştır.



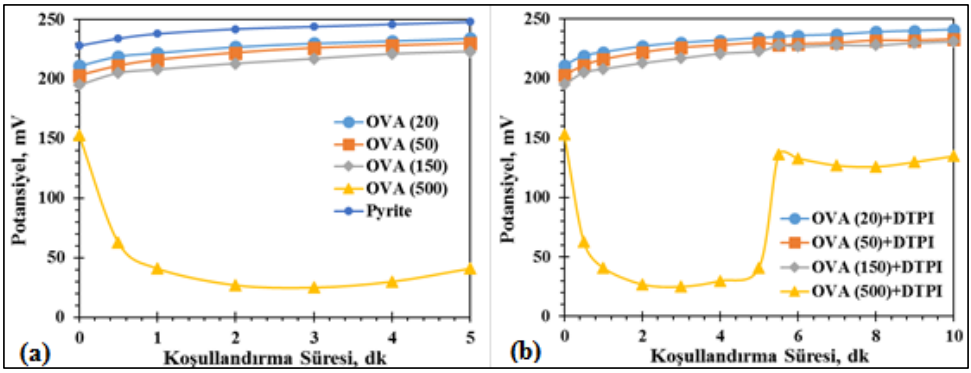
Şekil 2. a) Temas açısı ölçümü deney düzeneği, b) pirit yüzeyinde duran hava kabarcığı (Guler ve Polat, 2017).

Temas açısı ölçümleri, içinde pirit çalışma ve Ag/AgCl referans elektrodu ile kabarcık üretiminde kullanılan mikro şırıngayı bulunduran 200 ml hacmindeki deney hücresinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2a). Avometre kullanılarak pirit yüzeyindeki potansiyel değişimi Ag/AgCl referans elektrodu ile ölçüldükten sonra ölçümlere 200 mV eklenerek Standart Hidrojen Elektrodu skalasına çevrilmiştir. Hava kabarcığının pirit minerali yüzeyinde oluşturduğu temas açısı Samsung S85 fotoğraf makinası ile çekildikten sonra bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bu resimler daha sonra MB-Ruler 3.3 yazılımı (http://www.markus-bader.de/MBRuler) kullanılarak her iki tarafından da temas açısı ölçülerek kaydedilmiştir (Şekil 2b).

TA ve OVA yüksek saflıkta olup Merck firmasından temin edilmişlerdir. Kullanılan organik bastırıcılar zaman içinde bozuldukları için günlük olarak taze stok çözeltileri hazırlanarak deneysel çalışmalarda kullanılmışlardır (Bogusz et al., 1996). Deneylerde toplayıcı olarak ticari adı Aerophine 3418A (DTPI-dithiophosphinate-Cytec Industries Inc.) olan kimyasal reaktif, 10^{-4} M standart derişiminde gerektiği durumlarda kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Açık atmosfer koşullarında gerçekleştirilen deneyler pirit yüzeyi için oksitleyici bir ortam yaratmaktadır. Deneylerdeki en yüksek potansiyel değerleri, reaktiflerin bulunmadığı koşulda ölçülmüştür. Denge koşullarına kısa sürede ulaşılmasından dolayı 5 dakikadan sonra potansiyel ölçümü yapılmamıştır (Şekil 3).



Şekil 3. a) Piritin 0-5 dk koşullanma süresindeki OVA miktarına bağlı polarizasyonu, b) Piritin 0-10 dk koşullanma süresindeki OVA miktarına bağlı polarizasyonu

Pirit ile sulu ortam arasında bir potansiyel farkın bulunması, anodik ve katodik yarım hücre tepkimelerinin başlamasına neden olmuştur. Pirit elektrodu durum potansiyeli 240 mV civarında dengeye ulaşarak düz bir eğilim vermesi redoks tepkimelerinin gibi kısa bir süre içerisinde denegeye ulaştığını gösterir (Şekil 3). Pirit, yarı iletken özelliğinden dolayı çevresi ile etkileşime girerek yüzeysel oksidasyona uğramaktadır. İlk aşamada, yüzey hızla oksitlenerek elektrot yüzeyinde Fe^{+2} ve S° açığa çıkar. Bunlardan Fe^{+2} iyonları, alkali koşullarda dengeli bir yapıda olmadığı için ferrik-oksit ürünlerine dönüşerek pirit yüzeyinde çökelirler (Güler vd., 2013; Moslemi ve Gharabaghi, 2016). Oksidasyon sonucu oluşan S° ise yarı-dengeli faz şartlarında çeşitli kükürtlü bileşiklere dönüşür (Güler, 2005; Güler vd., 2013).

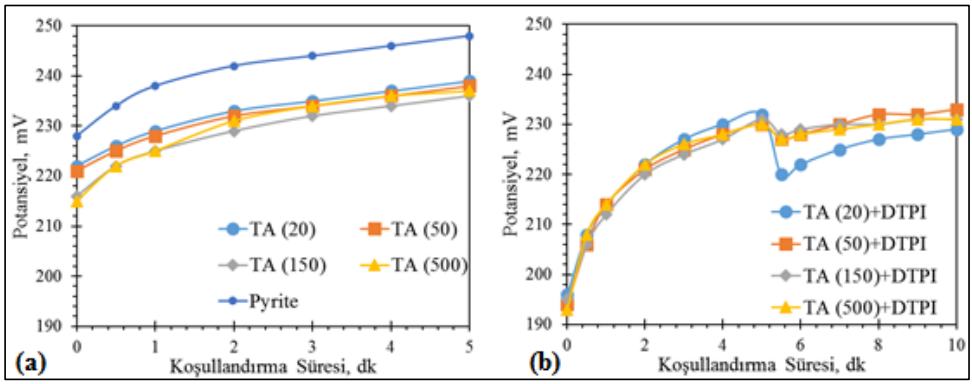
OVA molekülleri tampon çözeltide net negatif yüzey yüküne sahiptirler (OVA şarj sıfır noktası: pH 4,6). Aynı koşullarda pirit de negatif yüzey yüküne sahiptir. OVA molekülleri, düşük derişimlerinin kullanıldığı durumlarda (20-150 ppm) öncelikle fiziksel olarak ve sonrasında ise kimyasal olarak pirit yüzeyine tutunmaktadır. Bu etkileşim, pirit durum potansiyelinin artan derişimine bağlı olarak daha düşük ve benzer eğilimler göstermesine neden olmuştur. 500 ppm OVA kullanılması durumunda ise

potansiyel hızla düşerek diğerlerinden tamamen farklı bir eğilim göstermektedir (Şekil 3). Bu düşüş 150 mV civarından yaklaşık 30 mV seviyesine inerek dengelenmiştir. OVA aktif grupları, pirit yüzeyine yüksek derişiminden dolayı büyük oranda elektrokimyasal olarak bağlanmış ve potansiyeli düşürmüştür (Şekil 3b). Bunlara ek olarak, karboksil ve amin gruplarının yanısıra sistein grubundaki sülfihidril aktif grupların (-SH) bulunması OVA'nın soğurumuna katkı sağlamıştır (Güler vd., 2013).

Toplayıcının (10^{-4} M DTPI) beşinci dakikada hücreye eklenmesi, 20-150 ppm OVA derişiminin bulunduğu koşullarda potansiyeli etkilememiştir. 500 ppm OVA varlığındaki hücreye eklendiğinde ise yaklaşık 95 mV luk keskin bir artış ile 135 mV seviyesinde dengeye ulaşmıştır. DTPI'nin pirit yüzeyine tutunması, yüzeyin kısmen oksidasyonu ve ardından kimyasal etkileşim sonucu toplayıcı iyonlarının yüzeyde oluşturacağı metal-toplayıcı ürünleri üzerinden gerçekleşmektedir. Bu bakımdan, pirit yüzeyinde ilk 5 dakikada gerçekleşen oksidasyon tepkimeleri sonucu oluşan gözenekli yapıdaki ferrik oksi-hidroksi ürünleri DTPI soğurulması açısından önemlidir. Alkali koşullarda yüzeyin büyük oranda okside olması toplayıcının tutunmasını belli oranda düşürmektedir. Güler (2005), deneysel çalışmalarda DRIFT spektroskopisi ile tespit edilen DTPI ürünleri (DTPI° ve dimer yapılar $(DTPI)_2$) sayesinde pirite soğurulduğunu tespit etmiştir.

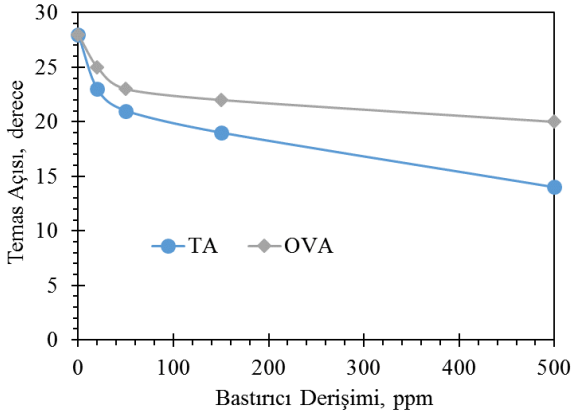
Piritin, farklı TA derişimleri varlığında potansiyel ölçümleri Şekil 4'de verilmiştir. Ortamda TA'nin bulunmadığı koşulda pirit yüzeyinde hızla gerçekleşen redoks tepkimeleri potansiyelin ilk 5 dakika içerisinde dengeye ulaştığını göstermektedir. Hücreye TA eklenmesi ile pirit yüzeyindeki potansiyel değerleri daha düşük seviyelerde ve paralel bir eğilim göstermiştir. Hücrede 20-500 ppm arasındaki TA derişimi genel olarak potansiyeli önemli ölçüde etkilememiştir. TA, yapısındaki hidrofilik aktif gruplar sayesinde pirit yüzeyindeki metal hidroksitler üzerinden tutunarak potansiyelin düşmesini sağlamıştır.

Toplayıcının beşinci dakikada hücreye eklenmesi ile sadece 20 ppm TA kullanıldığı koşulda potansiyelde yaklaşık 12 mV'luk bir düşüş gözlenmiştir. Daha yüksek TA derişimlerinde toplayıcı etkisiz kalmıştır. Pirit yüzeyine tersinmez biçimde tutunan toplayıcı, potansiyeli sadece 20 ppm TA varlığındaki koşulda etkilemiştir. Artan TA derişimi ise yüzeyin daha büyük oranda kaplanmasına neden olduğu için toplayıcının tutunması sınırlamıştır (Şekil 4.b).



Şekil 4. a) Piritin 0-5 dk koşullanma süresindeki TA miktarına bağlı polarizasyonu, **b)** Piritin 0-10 dk koşullanma süresindeki TA miktarına bağlı polarizasyonu

TA ve OVA'nın farklı derişimlerde kullanılması sonucu pirit yüzeyinde ölçülen temas açıları Şekil 5'te verilmiştir. Reaktiflerin kullanılmadığı koşullarda, hidrofobik yapıdaki S° ile diğer sülfürlü bileşiklerin pirit yüzeyinde bulunması en yüksek temas açısının ölçülmesine neden olmaktadır. Artan derişimler sonucunda her iki düzenleyicinin de temas açısını düşürmesine karşın, TA piritin hidrofobluğunu düşük temas açısı vererek daha etkili olarak düşürdüğü gözlenmektedir.



Şekil 5. TA ve OVA derişimlerine bağlı olarak ölçülen temas açıları

4. SONUÇLAR

Sürdürülebilir çevreci üretim geleneksel olarak kullanılan zaralı reaktiflere alternatif doğal ürünlerin kullanılması ile mümkün olmaktadır. Bu amaçla TA ve OVA zararsız olmaları, kolay elde edilebilmeleri ve elektrokimyasal olarak aktif yapılara sahip olmaları nedeni ile flotasyon devrelerinde sık karşılaşılan gang minerali olan pirit

hidrofobluğuna olan etkisini araştırmak için kullanılmıştır. Yapılan potansiyel ve temas açısı deneysel çalışmalarına göre;

- ✓ TA ve OVA'nın, kullanılan bütün derişimlerinde pirit durum potansiyelini düşürdüğü görülmüştür. Her ikisi de toplayıcının olmadığı koşullarda benzer eğilim sergilemiştir.
- ✓ Maksimum OVA derişiminde (500 ppm) potansiyel, TA'ya göre tamamen farklı bir eğilim göstermiştir. Bu durum, OVA molekülündeki aktif grupların daha etkin biçimde elektrokimyasal olarak pirite bağlanması ile mümkündür.
- ✓ DTPI, 500 ppm OVA'nın kullanıldığı koşul haricinde potansiyel üzerinde etkili olmamıştır. Toplayıcının, düşük TA derişimlerinde ise daha baskın olduğu görülmüştür.
- ✓ Her iki organik düzenleyici de temas açısını düşürmesine karşın yüksek derişimlerde OVA etkisiz kalmıştır. Kullanılan TA derişiminin ise temas açısı ile ters orantılı olarak değiştiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

Bastrzyk, A., Polowczyk, I., Szelag, E., Sadowski, Z., 2008. The effect of protein-surfactant interaction on magnesite rock flotation. Physicochem. Probl. Miner. Process, 42, pp.261-269.

Bulatovic, S.M., 1999. Use of organic polymers in the flotation of polymetallic ores: a review, *Minerals Engineering*, 12(4), pp.341-354.

Castro, F.H.B., de Hoces, M.C., 1993. Influence of quebracho and sodium silicate on flotation of celestite and calcite with sodium oleate. International journal of mineral processing, 37(3-4), pp.283-298.

Garrels, R.M., Christ, C.L., 1965. Solutions, minerals, and equilibria.

Güler, T., Polat, E., 2017. Tannic Acid As A Hydrophobicity Modifier For Galena in The Presence Of Metal Ions. Physicochem. Probl. Miner. Process, 53(1), pp.5-16.

Güler, T., Şahbudak, K., Akdemir, Ü., Çetinkaya, S., 2013. Impact of ovalbumin on pyrite flotation in the absence and presence of metal ions. Physicochemical Problems of Mineral Processing, 50.

Güler, T., 2005. Dithiophosphinate–pyrite interaction: Voltammetry and DRIFT spectroscopy investigations at oxidizing potentials. Journal of colloid and interface science, 288(2), pp.319-324.

Güler, T., Şahbudak, K., Çetinkaya, S., Akdemir, Ü., 2013. Electrochemical study of pyrite–ovalbumin interaction in relation to flotation. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 23(9), pp.2766-2775.

Haslam, E., 1989. Plant polyphenols: vegetable tannins revisited. CUP Archive.

Huang, P., Wang, L., Liu, Q., 2014. Depressant function of high molecular weight polyacrylamide in the xanthate flotation of chalcopyrite and galena. International Journal of Mineral Processing, 128, pp.6-15.

Khanbabaee, K., van Ree, T., 2001. Tannins: classification and definition. Natural product reports, 18(6), pp.641-649.

Liu, Q., Laskowski, J.S., 1988a. The role of metal hydroxides at mineral surfaces in dextrin adsorption, I. Studies on modified quartz samples, *International Journal of Mineral Processing*, 26(3-4), pp.297-316.

Liu, Q., Laskowski, J.S., 1988b. The role of metal hydroxides at mineral surfaces in dextrin adsorption, II. Chalcopyrite-galena separations in the presence of dextrin, *International Journal of Mineral Processing*, 27(1-2), pp.147-155.

Liu, Q., Zhang, Y., Laskowski, J.S., 2000. The adsorption of polysaccharides onto mineral surfaces: an acid/base interaction. International Journal of Mineral Processing, 60(3), pp.229-245.

Liu, J.S., Wang, Z.H., Li, B.M., Zhang, Y.H., 2006. Interaction between pyrite and cysteine. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 16(4), pp.943-946.

Manser, R. M., Andrews, P. R. A., 1975. The use of a new modifier, Kr6D, in differential sulphide flotation. International Journal of Mineral Processing, 2(3), 207-218.

Moslemi, H., Gharabaghi, M., 2016. A review on electrochemical behavior of pyrite in the froth flotation process. Journal of Industrial and Engineering Chemistry.

Pecina-Trevino, E.T., Uribe-Salas, A., Nava-Alonso, F., 2003. Effect of dissolved oxygen and galvanic contact on the floatability of galena and pyrite with Aerophine 3418A. Minerals engineering, 16(4), pp.359-367.

Sarquís, P.E., Menéndez-Aguado, J.M., Mahamud, M.M., Dzioba, R., 2014. Tannins: the organic depressants alternative in selective flotation of sulfides, Journal of Cleaner Production, 84: 723-726.

ACID MINE DRAINAGE APPLICATIONS IN SOME DEVELOPED COUNTRIES AND TURKEY

TÜRKİYE VE BAZI GELİŞMİŞ ÜLKELERDE ASİT MADEN DREANAJI UYGULAMALARI

Görkem ERTUĞRUL, Yaşar KASAP*

Dumlupinar University, Department of Mining Engineering, Kütahya, TURKEY

*: Corresponding author: yasaroz71@hotmail.com

ABSTRACT: Acid Mine Drainage Especially, which can be a result of water and oxygen related fossil energy sources such as sulfur containing minerals and sulfur containing coal in its structure, ions such as Iron, Aluminum and Manganese can have negative effects on water and air quality of sulphite compounds.. The sources of acid mine drainage are ore or stockpiles, open pit slopes, gaps in the underground mining operations, waste dams where process wastes are retained. The acid mine drainage must be characterized and constantly monitored in order to protect all living beings from the negative effects, to prevent environmental pollution, and to prevent material and spiritual problems that mining enterprises may have in the long run. In this study, the applications of acid mine drainage in Australia, Canada, USA and Turkey have not been examined and comparisons have been made in terms of environmental conditions, reliability and working methods.

Keywords: Acid mine drainage, Environmental impact, Mining, Sulfuric minerals, Coal

ÖZET: *Özellikle Sülfürlü minerallerin ve yapısında kükürt içeren kömür gibi fosil enerji kaynaklarınının su ve oksijen ile teması sonucu oluşabilen Asit Maden Drenajı içeriğinde Demir, Alüminyum ve Mangan gibi iyonlar ile Sülfat bileşiklerinin su ve hava kalitesine negatif etkileri olabilmektedir. Asit Maden Drenajı kaynaklarını cevher veya stok yığınları, açık ocak şevleri, yeraltı madencilik çalışmalarında meydana getirilen boşluklar, proses atıklarının muhafaza edildiği atık barajları oluşturmaktadır. Bölgede yaşamını devam ettiren tüm canlıların olumsuz etkilerden korunabilmesi, çevre kirliliğinin önlenebilmesi, maden işletmelerinin uzun vadede yaşayabileceği maddi*

manevi problemlerin önlenebilmesi için Asit Maden Drenajının karakterize edilerek devamlı bir şekilde izlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Avustralya, Kanada, ABD ve Türkiye'deki Asit Maden Drenajı uygulamaları incelenmeye ve bu uygulamaların, ortam koşulları, güvenilirlik ve çalışma yöntemleri açısından karşılaştırılmaları yapılmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Asit maden drenajı, Minimu çevresel etki, Madencilik, Sülfürlü mineraller, Kömür*

1 INTRODUCTION

Acidic drainage occurs when sulphide-bearing materials are exposed to water and oxygen, allowing mineral weathering reactions to proceed, including oxidation and hydrolysis. Mining increases the exposed surface area of sulfur-bearing rocks, allowing for accelerated sulfuric acid generation. If insufficient buffering capacity is present as neutralizing minerals such as calcite ($CaCO_3$), soil and water resources may become acidified (Jennings et. al., 2014).

Collectively, the generation of sulfuric acid from pyrite and other sulfide minerals is termed acid mine drainage (AMD). Although other acid drainage conditions do exist in nature and as acid sulphate soils, or through other anthropogenic activities, such as development or farming, the majority of acid drainage is caused by mining activities. Having much greater surface area than in-place geologic material due to their smaller grain size, mine tailings and waste rock are more prone to generating AMD. Since large masses of sulphide minerals are exposed quickly during the surface, underground operations and milling processes, the surrounding environment can sometimes not attenuate the resulting low-pH conditions (Jennings et. al., 2014).

Many deposits provide challenges in resource estimation, including not only the quantity of minable minerals in a deposit but also the amount and location of materials that might have implications for environmental impact during mining activities closure. The potential for AMD from waste material is recognized as a key issue in the following areas (Jennings et. al., 2014):

- Mine planning and applying in the pit and in waste dump(s),
- Waste material dump handling and treatment, whether surface or under water,
- Pit wall and pit floor hydrology and AMD modelling,

- Tailings storage,
- Proper design of kinetic and humidity cell test work,
- Proper sampling for waste material characterization,
- Reclamation and closure planning, which depend essentially on waste material removal,
- Use of waste material for construction,
- Waste material blending,
- Salvage of topsoil,
- Design of waste rock dump (and water treatment facility, if needed).

  Procedures of AMD, there are six main procedures. they are important for treatment AMD environmental impacts (Jennings et. al., 2014).

- Mine Characterization; The design and planning mine stage should begin in the early exploration phase. An orientation study is imperative. This study should pay close attention to details in the design that have a bearing on the costs of the major ARD program. Its purpose is to ensure that the proper samples are collected and that proper preparation and chemical analyses are carried out in order to collect as much information as possible and avoid costly mistakes (Jennings et. al., 2014).
- Mineralogical Analysis; Mineralogical studies of the mineral products of oxidation of iron sulphide minerals pyrite (FeS_2) and pyrrhotite (FeS) in the presence of iron-oxidizing bacteria show the lithologic changes as sulfuric acid generation proceeds. A variety of methods and techniques are available to allow us to study these products of oxidation (Jennings et. al., 2014).
- Sampling and Description; As part of the initial environmental site inspection of a property to obtain background information, it is necessary to document the setting, physical and environmental characteristics, current and historical, property boundaries, historical mining operations, site ownership, mine or facility ownership (if different from land ownership), mine waste management practices, previous site inspection reports, regulatory permits, previous site investigation reports, and geotechnical reports, together with data on zoning, regulatory status, current land use, and adjacent and nearby land use. Regulatory agencies may have files on properties that might include permits, inspection reports, development plans, mining plans, waste discharge permits, mine closure plans, and site closure

documents. During the site inspection, all features should be photographed and documented properly. Interviews with owners, operators, and employees should occur to verify site history and waste management practices (Jennings et. al., 2014).

- Static and Kinetic Tests; Static testing is the laboratory analysis of geological materials for chemical characteristics such as total metal levels, pH, or total S through an analysis of the bulk concentrations in rock or soil material. Collectively, static tests as described originally in the literature have significant limitations in accurately predicting whether acidic drainage will form. Static tests were developed originally for the coal-mining industry and used later, in the late 1970s, in the metals mining industry. A commonly used version of the static test was developed by Sobek et al. (1978), and other variations (Schafer and Associates, 1987) exist as well. The static test objectives are to estimate the sulphur contents of a rock or soil sample and determine how much acid will be required to neutralize the sample. Information that is not obtained from static tests include the timing of any acid generation, if at all, acid generation, and neutralization reaction rates or effluent water quality. Static testing originally assumed that all the sulphur reported occurs as pyrite, that all the pyrite present is completely oxidized to sulphate and ferric hydroxide, that any hydrogen ions produced are neutralized by the calcium carbonate, and that all reactions are instantaneous. Static tests are most useful when the acid generation behaviour of a mining waste is known or has been verified by other tests. Kinetic tests are commonly run as a companion to static testing to measure the weathering behaviour of geological material when exposed to field conditions. Kinetic tests of mine waste are typically accomplished by monitoring the chemical constituents in water resulting from simulated laboratory weathering or actual field-site weathering of mine waste materials over a period of months to years. Water is leached through the geological material and recovered as drainage. Kinetic tests may be run in a laboratory column or in the field in large containers. The quality and quantity of leachate is subsequently evaluated to offer a supporting interpretation to static testing (Jennings et. al., 2014).

- Modelling; Waste rock and material modelling and characterization with respect to acid mine drainage (AMD) variables should be an integral part of a resource estimation study. In this chapter we discuss the potential sources of AMD in an open-pit mining context and the characterization of waste rock variables by block modelling and geostatistical estimation for AMD prediction purposes. A case history is presented. Waste rock limits will ultimately depend on the economics of minable commodities, but caution should be noted where waste rock may be uneconomical at present commodity prices but economical at higher commodity prices and thus not necessarily included in the AMD waste material. Many deposits provide challenges in resource estimation, including not only the quantity of minable minerals in a deposit but also the amount and location of materials that might have implications for environmental impact during development, operation, closure, and post closure/remediation.
- Prevention and Treatment; The standard protocols for evaluating geological materials for their ability to generate acid mine drainage are generally agreed upon within the scientific community, yet much uncertainty remains in the ability of scientists and engineers to predict the ultimate drainage quality years in the future, as many complex variables influence acid generation and neutralization. The backbone of predicting acid-generating potential from any geologic formation is the ability to characterize the presence and quantity of both acid-forming minerals and neutralizing minerals in the geological materials to be unearthed during mining operations. Treatment Acid mine drainage (AMD) forms when sulfide minerals in rocks are exposed to oxidizing conditions in coal and metal mining, highway construction, and other large-scale excavations. There are many types of sulphide minerals, but iron sulfides, pyrite and marcasite (FeS_2), are the predominant AMD producers (Evangelou, 1995; Skousen et al., 1999). Upon exposure to water and oxygen, sulfide minerals oxidize to form acidic and iron- and sulfate-rich drainage. The drainage quality emanating from underground mines or backfills of surface mines is dependent on the acid-producing (sulfide) and alkaline (carbonate) minerals contained in the disturbed rock. In general, sulfide-rich and carbonate-poor materials are expected to produce acidic drainage. In contrast, alkaline rich materials, even with significant sulfide concentrations,

often produce alkaline conditions in water (Skousen, et al., 2002). Acidity in AMD is comprised of both mineral acidity (iron, aluminum, manganese, and other metals, depending on the specific geological setting and metal sulfide) and hydrogen ion acidity. The decline over time is important in determining the right treatment techniques (active or passive) and the length of time for treatment (Jennings et. al., 2014).

2 ACID MINE DRAINAGE APPLICATIONS

The United States, Australia and Canada have many minerals diversity and, Advanced Mining and Environmentally Responsible Mining Policies. In this context, there is important work in Acid Mining Drainage which is an important problem in mining.

2.1 Application in Australia

Australia is known to be rich in minerals which have significantly contributed to the country's economy. coal was discovered near Newcastle in New South Wales in the 1700s and later in the south and west of the settlement. The gold rush of the 1850s enabled the Australian colonies to become famous for their mining. Australia was producing almost 40 % of the world's gold at that time. Australia became an important producer of tin with the discovery of the metal in Tasmania. In the late nineteenth century, copper and gold mines were established in Queensland, lead and zinc in New South Wales, gold in Western Australia and iron ore in South Australia. In the early twentieth century, mining activity in Australia began to decline despite the rise in the value of mineral production, and only lead, zinc and copper deposits were the major finds. With the discovery of new metals such as aluminium, nickel, tungsten, uranium, oil and natural gas (IIED, 2002).

There is no nationwide inventory of abandoned mines in Australia, and it is therefore the responsibility of the federal states and territorial governments to obtain this data. AMD in Australia Energy is developing a database of abandoned mines by identifying outstanding risks and then seeing which sites are a priority with regard to safety and environmental harm. This programme commenced in July 1999, and at that time the Northern Territory had not yet undertaken similar measures to establish a database of abandoned mines but was planning to complete it by 2002. In Australia an

indication of the devastating environmental effects of mining is that large areas of dry forest that were exposed in the gold rush in the 1860s still have not yet recovered (IIED, 2002).

The management of acid-generating wastes and methods used in Australia depend on the properties of the waste, the climate conditions and how sensitive the receiving environment is. Some of these strategies that are used for management of potentially acid-generating wastes to control the environmental impacts are isolation of the potentially acid-generating material so that it is enclosed above and on the sides by low hydraulic conductivity material, selective placement of potentially acid-generating tailings under non-acid-generating tailings, placement of water covers to reduce ingress of water and oxygen, placement of soil multilayer covers use of specific waste dumps for isolation of potentially acid generating wastes, mixing of wastes with acid neutralising material to increase the acid neutralisation, establish surface water controls and construction of water treatment facilities to ensure water meets discharge criteria and use of bactericides to reduce bacterial activity in acid-producing materials. The Australian mine sites use several methods to monitor the effectiveness of waste management strategy used for sulphuric wastes such as monitoring seepage water quality and volumes and measurement of water balance to name a few. The sites that had acid-generating material were managed according to waste characterisation and water quality. (Harries, 1997; Australian government sources, 2007; WRC, 2016).

2.2 Application in Canada

Canada is one of the top destinations for exploring and mining investment. Canada is a supplier of over 60 minerals and metals. The key commodities include primary aluminium, cobalt diamonds, gold, nickel, platinum group metals, salt, tungsten and uranium. Major mining regions have been developed throughout various provinces in Canada. These include the Labrador Trough on the Quebec, Newfoundland and Labrador border where iron ore, is developed, the Abitibi gold belt in Quebec and Ontario, and nickel and copper platinum group element mines of the Sudbury region in Ontario. Uranium mines are found in Saskatchewan (province in Canada), the metallurgical coal and copper–gold mines in British Columbia (province in Canada) and diamond mines in the Northwest Territories (Government of Canada, 2016).

In summary, Canada is also a producer of more than 60 mineral and metals and more than 200 producing mines. The mines in Canada were required to establish trust funds to cover the costs of AMD effects caused by mine wastes. A survey conducted showed that there were immense amounts of waste rock that were potentially acidic that came from metal mines and industrial mineral tailings (Coetzee et. al., 2010). The Canadian mineral industry generates one million tonnes of waste rock and 950,000 tonnes of tailings per day, which adds up to 650 million tonnes of waste per year. In Canada, there are an estimated 351 million tonnes of waste rock, 510 million tonnes of sulphide tailings and more than 55 million tonnes of other mining sources which have the potential to cause AMD (Environmental Mining Council of BC 2006). Abandonment of mines is unexpected and sudden in most instances. 'Closure and rehabilitation costs must be directly or indirectly born by the state' because it is the communities who are effected in the end and the environmental impacts are detrimental (IIED, 2002). More than 10,000 abandoned mines are on the inventory in Canada and only 60 % have been physically assessed. There also are other provinces in Canada that have inventories but they are not accessible (IIED, 2002). These abandoned mines generate acid-producing wastes, and MEND developed indicative costs of managing the wastes by using a range of treatments which include collecting and treating seepage water from waste rock and tailings, placing a water cover on tailings, placing a soil cover on tailings and transporting of waste rock to the pit (MEND, 2010; Harries, 1997). The estimated cost to treat AMD was extremely high, and in order to reduce these costs, an independent costing analysis sponsored by MEND was prepared (Harries, 1997).

2.3 Application in USA

Mining activity is said to contribute to the economic activity in every state in the USA. The USA is known for its minerals such as coal, copper, gold, iron, silver, uranium and zinc, as well as its production of oil and natural gas. Ten states with the largest contribution of mining to the gross domestic product (GDP) are Wyoming, 20 %; West Virginia, 17.3 %; Nevada, 8.7 %, Montana, 6.1 %; Arizona, 5.8 %; Kentucky, 4.8 %; Utah, 4.2 %; New Mexico, 3.5 %; Idaho, 3.2 %; and Alaska, 3.1 % (NMA, 2014) Despite being known for the mining activity in each state, the USA has a large number

of abandoned mine sites where AMD is an extensive issue (IIED, 2002). These problems are mainly due to coal mining in the eastern states where over 7000 km of streams were considered to be seriously affected by acid drainage from coal mines. Hard rock mines in the western USA (Idaho and Colorado) are found to have water quality problems. The US Forestry Service estimated that 8000–16,000 km of streams in the USA were affected by AMD from active and inactive mines and waste rock piles. Due to the liability associated with AMD caused by abandoned mine sites, conservative control strategies and payment of large performance bonds are assisted upon. Numerous abandoned coal mine sites in south west Pennsylvania were reclaimed between 1980 and 1992, and wetlands were constructed on 11 sites to reduce AMD through the use of soil cover (Harries, 1997).

2.4 Application in Turkey

Turkey has many mining activities and various minerals. But issue of AMD has been emphasized in recent years. AMD is not occur in new or ongoing mining activities, and the acid mine drainage that is formed. it will bring about a great deal of cost. In this scope, there is a necessity to determine the operational area and possible acid mine drainage and to take precautions in the context of rehabilitation of the lands that are damaged by mining activities, which is published in the Official Gazette dated 23 January 2010, number 27471. But the existence of a project is unknown for the purpose of inventory. Although some sulphide mining enterprises operated or opened in the past have debated on the social and some scientific platforms for the existence of this problem. It can be argued that the data available are based on some simple measurements and observations, which are not products of detailed investigations. There is probably no reliable way to estimate the extent to which acidic drainage occurs, what extent it is, what size of effect it is, which method will be the right solution to the problem of the mineral deposit, how much total financial portraits can be reached for each enterprise and across the our country. There is no information. It is natural that there are AMD problems in some sulfur mine fields. It is not known whether an investment or project work is being resolved to resolve an AMD problem that has originated from any business that has been decommissioned or regulated prior to legislative changes. In our country, it is also necessary to take the measures needed to

determine the possibility of acid water in the acid mine drainage and minimize the effect on the receiving environment. Taking precautionary measures at the source will have a positive impact on the economic performance of the mining area, as it will result in lower costs. Providing effective management and implementation during the planning and forecasting process before and during mining activities and after the mine is closed will reduce environmental costs (Anonymous, 2010; Erguler, 2012; Karadeniz, 2011).

3 CONCLUSIONS

The developed countries in this study have emphasized acid mine drainage studies in different mines. Australia and Canada There are more applications in metallic minerals such as gold, zinc and lead that can be found in sweat. In the USA it is applied in sulfur-containing coal mines. When water and environment-friendly production policies in Australia are monitored, there are very important work on AMD. Canada, through its own developed MEND program, is able to project this AMD step by step to minimize both a clean environment and environmental costs. In USA, almost all regions have turned to these fields because they produce energy raw materials. In Turkey, this issue is a bit new because it is a new subject, but according to the related directive issued, the operation of the AMD has been made mandatory and the purification works have been made obligatory.

It is show that AMD is not only an issue that is unique country, but in a lot of parts of the world where mining activity has taken place, there may be the risk of an abandoned mining area and thus, the risk of AMD. It is obvious that the case and impact of AMD in all the countries where it is predominant happened for the same reasons. This is firstly since no obvious policies were in place to forestall it from happening or to assure that the mining industry, which is ultimately responsible for the damage caused, pay for the clean-up. What is unique to all the cases where AMD is seen is that there are treatment mechanisms in place to ensure that the problem is dealt with. Eliminating negative environmental impacts of AMD is facilitated for natural, social and economics whole world.

REFERENCES

Anonymous, 2010. National The Regulation Of Natural Resources With Mining Activities Regarding Nature, Ankara, Turkey.

Australian Government Geoscience Australia (2007). History of Australia's mineral industry. Australian Atlas of Mineral resources, mines and processing centres. Available from http://www.australianminesatlas.gov.au/history/index.html#interactive.

Coetzee H., Hobbs P. J., Burgess J. E., Thomas A., and Keet, M. (Eds.)., 2010. Mine water management in the Witwatersrand Gold Fields with special emphasis on acid mine drainage. Report to the Inter-Ministerial Committee on Acid Mine Drainage. Pretoria: Department of Water Affairs and Forestry. Available from http://www.dwaf.gov.za/Documents/ACIDReport.pdf.

Environmental Mining Council of BC, 2006. Acid Mine Drainage: Mining and water pollution issues in BC. BC wild and Environmental Mining Council of BC. Available from http://miningwatch.ca/publications/2006/3/25/acid-mine-drainage-mining-and-water-pollution-issues.

Erguler, G. K., 2012. Determining And Modeling The Potential Formation Of Acid Mine Drainage In A Sulphide Mine Field. PhD thesis. Dumlupinar University. Mining Engineering Department, Turkey.

Evangelou V.P., 1995. Pyrite Oxidation and Its Control: Acid Mine Drainage, Surface Chemistry, Molecular Oxidation Mechanisms, Microbial Role, Kinetics, Control, Ameliorates, Limitations, Microencapsulation. CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

Government of Canada, 2016. Exploration and Mining in Canada: An investor's brief. Natural Resources Canada. Available from http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/mineralsmetals/pdf/mms-smm/poli-poli/pdf/Investment_Brief_e.pdf.

Harries. J., 1997. Acid mine drainage in Australia: Its extent and potential future liability. SupervisingScientist Report 125. Australian Government Department of the Environment 1997. Available fromhttp://www.environment.gov.au/science/supervising-scientist/publications/ssr/acid-mine-drainage-australia-its-extent-and-potential-future-liability.

International Institute for Environment & Development (IIED), 2002. Mining for the Future, Appendix C: Abandoned Mines Working Paper. No. 28. Mining, Minerals and Sustainable Development project for the International Institute for Environment & Development. Available from http://www.iied.org/mmsd-working-papers.

Jennings, S. R. and Jacobs, J. A. (2014) Overview of Acid Drainage Prediction and Prevention, in Acid Mine Drainage, Rock Drainage, and Acid Sulfate Soils: Causes, Assessment, Prediction, Prevention, and Remediation (eds J. A. Jacobs, J. H. Lehr and S. M. Testa), John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA. doi:10.1002/9781118749197.ch18.

Karadeniz, M., 2012. Investigation Of Acid Mine Drainage Formation Potential Change With The Depth Of Flotation Tailings Of Balikesir Balya Lead-Zinc Mine. PhD thesis. Hacettepe University. Mining Engineering Department, Turkey.

MEND (Mine Environment Neutral Drainage), 2010. http://www.nrcan.gc.ca/mms-smm/tect-tech/sat-set/mendnd-eng.htm; the website features guidelines and manuals.

National Mining Association (NMA), 2014. The Economic Contributions of US mining, 2012. National Mining Association. Available from http://www.nma.org/pdf/economic_contributions.pdf.

Schafer and Associates and Reclamation Research, 1987. Laboratory Analytical Protocol for the Streambank Tailings and Revegetation Study, Silver Bow Creek, RI:FS, EPA Region VIII. Document SBC-STARS-LAP-F-RI-121187.

Skousen, J., Rose, A., Geidel, G., Foreman, J., Evans, R., and Hellier, W., 1999. Handbook of Technologies for Avoidance and Remediation of Acid Mine Drainage. Acid Drainage Technology Initiative (ADTI) of the U.S. Office of Surface Mining. Published by the National Mine Land Reclamation Center, West Virginia University, Morgantown, WV.

Skousen, J., Simmons, J., and Ziemkiewicz, P., 2002. Acid–base accounting to predict post-mining drainage quality on surface mines. Journal of Environmental Quality, vol. 31, no. 6, pp. 2034–2044.

Sobek, A., Schuller, W., Freeman, J.R., and Smith, R.M., 1978. Field and Laboratory Methods Applicable to Overburdens and Minesoils. EPA-600/2-78-054. U.S. EPA, Cincinnati, OH, 203 pp.

Water Research Commission (WRC), 2016. Water resource management: How does South Africa's water resource management compare internationally. Technical Brief. Available from http://www.wrc.org.za/Pages/DisplayItem.aspx?ItemID=11628&FromURL=%2fPages%2fKnowledgeHub.aspx%3fdt%3d%26ms%3d%26d%3dHow+does+SA%27s+water+resources+management+compare+internationally%3f%26start%3d1.

GÜRCİSTAN-KUTAİSİ/CHORDİ ZENGİNLEŞTİRME TESİSİ ARTIKLARINDAN BARİTİN GERİ KAZANILMASININ ARAŞTIRILMASI

THE INVESTIGATION OF RECOVERY OF BARITE FROM THE GRAVITY CONCENTRATION WASTE OF GEORGIA-KUTAISI / CHORDI

Yakup UMUCU[1]*, Salih AKBOĞA[2], Hasan Gani DURU[2], Vedat DENİZ[3]

1: Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta, TÜRKİYE

2: Ado Başer A.Ş., Şarkikaraağaç, Isparta, TÜRKİYE

3: Hitit Üniversitesi, Polimer Mühendisliği Bölümü, Çorum, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: umucuy@hotmail.com

ÖZET: Baritin zenginleştirilmesi, gang minerali arasındaki yoğunluk farkının fazla olmasından dolayı, genellikle yoğunluğa dayalı zenginleştirme yöntemleriyle yapılmaktadır. İri boyutlu barit cevherleri jig ile, 2-0.2 mm boyutları ise sallantılı masa ile zenginleştirilmektedir.

ADO-Başer A.Ş. bünyesine katmış olduğu Gürcistan Chordi Barit zenginleştirme tesislerine ait geçmişten günümüze kalan tahmini 100.000 ton barit atığının bulunduğu tespit edilmiştir. Barit cevherinin artan önemi ve mevcut yataklarının tükenmeye doğru yol alışı ile artıkların değerlendirilmesi her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada Gürcistan Chordi Barit zenginleştirme tesislerine ait artıkların jig ve sallantılı masa ile tekrar kazanılması araştırılmıştır. Araştırma sonucunda -0.600 mm tane boyutunda sallantılı masa ile zenginleştirmenin uygun olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Barit, Gravite zenginleştirme, Sallantılı masa, Jig

ABSTRACT: *Barite beneficiation is usually carried out by ore dressing methods based on specific gravity, since the difference in specific gravity between gangue minerals is high. The coarse barite is sieve size greater than 2 mm, are beneficiated with jig, and the barite ores in 2-0.2 mm sieve size are beneficiated with a shaking table.*

In Barite beneficiation plant in Georgia-Chordi taken by ADO-Baser CO., the barite waste estimated 100,000 tons were found from past to present. The increasing importance of barite ore the residue of the existing deposits is increasing each passing day for the evaluation of the residues. In this study, it was researched to recovery of barite from the wastes of Georgian-Chordi Barite dressing plants with jig and shaking table. As a result of the research, it was obtained from the results that it is suitable beneficiation of -0.600 mm sieve size with shaking table.

Keywords: *Barite, Gravity concentration, Shaking table, Jig*

1. GİRİŞ

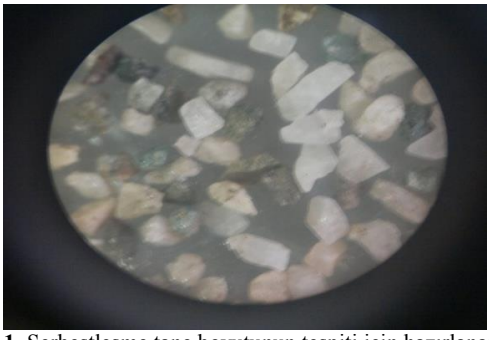
Ülkemizde düşük tenörlü cevherlerin değerlendirilirken, zenginleştirme cihazının olumsuzluğu ve diğer çalışma verimsizlikleri gibi nedenlerden dolayı içerisinde değerli olan mineraller tamamen alınamamasından dolayı zenginleştirme sonrası oluşan atıklar büyük bir alana yığılmakta ve depo edilmektedir. Bu yığınlar, bazen 300.000 ton bazen 3.000.000 ton civarında olabilmektedir. Bu atıkların yaklaşık 50 yıllık zaman içerisinde teknolojinin gelişmesi ve ürün fiyatlarının artması nedeniyle çoğu zaman tekrar değerlendirilmeleri gündeme gelmektedir (Deniz, 2004).

Barit minerali sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı ticari öneme sahiptir ve genellikle dolgu malzemesi ve sondaj çamuru olarak kullanılmaktadır. Özellikle yoğunluğunun yüksek olması (4,5 g/cm^3), aşındırıcılığının düşük olması, yüksek basınç ve ısıya karşı kararlı olması, manyetik özelliğinin bulunmaması nedeniyle sondaj sektöründe yaygın olarak tüketilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, barit cevheri, alfa ve gama ışınları gibi radyoaktif ışınları absorbe etmesi sebebiyle nükleer enerji santrallerinin duvarlarında dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. Baryum bileşiklerinden olan ve barit ile aynı kimyasal formüle sahip sentetik baryum sülfat ise cam, boya, kaplama, plastik ve tıbbi uygulamalarda kullanılan önemli inorganik kimyasallardan biridir (Cuillo, 1996, Deniz ve Gayret, 2007).

Chordi barit yatağında üretime 1954 yılında geçilmiştir. 1991 tarihinde meydana gelen deprem sonrası üretim durdurulmuştur. İşletme süresinde Lesora bölgesinde yoğun olmak üzere 1.157.000 ton, %73,0 $BaSO_4$ tenörlü cevher üretilmiştir. Üretim kısmen açık işletme, büyük bir kısmı ise yer altı üretim şeklinde olmuştur. Aylık üretim kapasitesi zaman zaman 5000 ton/ay seviyesinde gerçekleşmiştir. 1991 yılında

bağımsızlığını kazanan Gürcistan'da Rusya Federasyonu tarafından işletilen ocaklar ve tesiste üretim durdurulmuştur. 1954 yılından bu yana biriken artıkların tekrar kazanılması için araştırmalara ihtiyaç duyulmuştur.

Yapılan çalışmalar kapsamında ilgili tesisten örnek alma kurallarına göre numuneler alınmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan barit artıkları öncelikle iri ve ince tane fraksiyonlarında iki ayrı grup halinde sınıflandırılmıştır. İri tane boyutu farksiyonlarında; -6.70+4.75 mm, -4.75+3.35 mm ve -3.35+2.00 mm olarak sınıflandırılmıştır. İnce tane boyutu fraksiyonlarında ise; -2.00+1.00 mm, -1.00+0.600 mm, -0.600+0.300 mm ve -0.300+0.106 mm tane boyutu gruplarında sınıflandırılmıştır. Daha sonra ince tane boyutu fraksiyonlarının her biri için barit ve gang minerallerinin birbirleri ile serbestleşme durumu araştırılmıştır. Hazırlanan lamlardan bir görüntü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Serbestleşme tane boyutunun tespiti için hazırlanan lam

Bu çalışma kapsamında yapılan incelemelerde baritler beyaz, renkli, orta-iri kristallidirler. Genel olarak kalsit ve silisle birlikte andezit ve bazalt türü kayaç kırıntılarını da içermektedirler.

2. MALZEME ve YÖNTEM

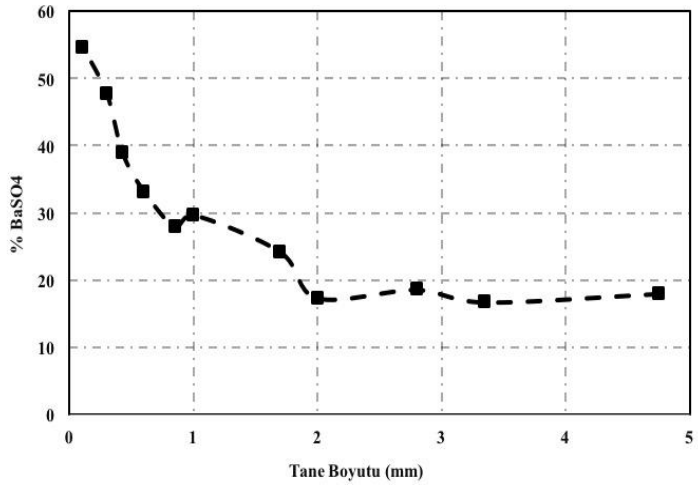
Alınan numunelere ait yapılan jeolojik araştırmalarda barit oluşumu Jura yaşlı volkanik kayaçları içinde damar tipte gelişmiştir. Cevher damarları 2 km uzunluğunda, 250 metre genişliğindeki bir filon (zon) içindedir. Bu filon içinde birbirine paralel halde birçok barit damarı yer alır. İncelemelerde baritler beyaz, yer yer pembe renkli, orta-iri kristallidirler. Az oranda kalsit ve siliste içerirler (Maçavariani, 2012). Numunelerin mineralojik incelenmesi ince lam üzerine her bir tane boyutu fraksiyonu halinde

dökülerek hazırlanan örnekler üzerinde yapılmıştır. İnceleme sonucu barit, kuvars ve kalsit minerallerine (Şekil 1) rastlanmıştır. Tesiste gravite yöntemiyle yapılan zenginleştirme işlemlerinde ortalama %30 $BaSO_4$ tenörü %85-87,2'ye yükseltildiği belirlenmiştir. Cevher yoğunluğu 3,18-4,17 gr/cm^3 arasında değişim gösterdiği anlaşılmıştır. 60 yıllık jig tesisi atıklarının sahadan biriktirilen stoktan, şeş-beş düzeninde numuneler alınmış ve her bir temsili numunelerin homojen karışımından alınan numune üzerinde yapılan %$BaSO_4$ analizleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Barit stokunun şeş-beş olarak karelajlanmış alınan temsili numunenin kimyasal analiz sonuçları (*KK: Kızdırma kaybı)

Eleman	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	$BaSO_4$	KK*
%	15.52	28.19	5.87	3.02	0.23	14.39	1.53	0.13	30.80	0.32

Ayrıca deneysel çalışmalarda kullanılan barit atıklarının tane boyutuna bağlı (-6.7+4.75 mm, -4.75+3.35 mm, -3.35+2.80 mm, -2.8+2.00 mm, -2.00+1.70 mm, -1.70+1.00 mm, -1.00+0.850 mm, -0.850+0.600 mm, -0.600+0.425 mm, -0.425+0.300 mm, -0.300+0.106 mm) tenörü (% $BaSO_4$) Şekil 2 ve Çizelge 2'de verilmiştir. Stokun uzun yıllar sonucu üst üste birikimden kaynaklanan bütünleşme ve kekleşme meydana gelmediği ve bu kekleşme, tekrar kazanımda sorun olmayacağı düşüncesi ile dağıtma ve eleme testleri yapılmamıştır.



Şekil 2. Deneylerde kullanılan örneğin tane boyutu- %BaSO4 değişimi

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan örneğin kuru elek analizi (*ΣE.A.: Kümülatif elek altı)

Elek Açıklığı (mm)	Miktar, %	$BaSO_4$, %	Dağılım, %	ΣE.A.*, %	Σ$BaSO_4$, %	ΣDağılım, %
-6.70+4.75	4.21	17.98	2.46	100.00	30.75	100.00
-4.75+3.35	3.80	16.74	2.06	95.79	31.31	97.54
-3.35+2.80	2.19	18.60	1.32	91.99	31.91	95.48
-2.80+2.00	7.66	17.36	4.31	89.80	32.24	94.16
-2.00+1.70	15.60	24.18	12.27	82.14	33.63	89.85
-1.70+1.00	16.43	29.68	15.76	66.54	35.84	77.58
-1.70+0.850	15.23	27.90	13.82	50.11	37.86	61.82
-0.850+0.600	12.23	33.16	13.31	34.88	42.21	48.00
-0.600+0.425	8.46	38.96	10.72	22.65	47.10	34.69
-0.425+0.300	5.45	47.66	8.45	14.19	51.95	23.97
-0.300+0.106	8.74	54.62	15.52	8.74	54.62	15.52
Toplam	100.00	30.75				

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Jig Testleri

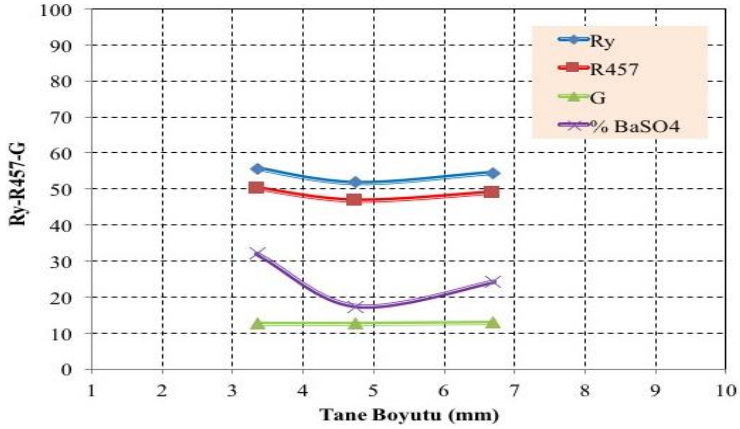
ADO-Başer A.Ş. tarafından sağlanan örnekler en iri tane boyutu olan 4,75 mm elekten başlanarak 0,106 mm tane boyutuna (-6,7+4,75 mm, -4,75+3,35 mm, -3,35+2,80 mm, -2,8+2,00 mm, -2,00+1,70 mm, -1,70+1,00 mm, -1,00+0,850 mm, -0,850+0,600 mm, -0,600+0,425 mm, -0,425+0,300 mm, -0,300+0,106 mm) kadar sınıflandırılmıştır. -6,7+2 mm arası barit artıkları laboratuvar tipi jigde zenginleştirme çalışmaları gerçekleştirilmiş, elde edilen konsantreler ile ilgili sektörün öncelik verdiği iki spesifik değerlendirme ölçütü renk ve %$BaSO_4$'e göre değerlendirme yapılmıştır. -6,70+2,00 mm tane boyut grubu için üç farklı dar tane boyutunda numuneler hazırlanmış ve her üç boyut aynı jig çalışma koşullarında testler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3 ve Şekil 3'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında renk ve % $BaSO_4$ değerlerinde değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Bunun en büyük sebebi Şekil 1'de görüldüğü üzere serbestleşmenin sağlanamadığı için yüksek tenörlü bir konsantre elde edilememiştir.

3.2 Sallantılı Masa Testleri

-2+0.106 mm arası barit artıkları laboratuvar tipi sallantılı masada zenginleştirme çalışmaları gerçekleştirilmiş, elde edilen konsantreler ile ilgili sektörün öncelik verdiği iki spesifik değerlendirme ölçütü renk ve %$BaSO_4$'e göre değerlendirme yapılmıştır. -2.00+0.106 mm tane boyut grubu için dört farklı dar tane boyutunda numuneler hazırlanmış ve her üç boyut aynı jig çalışma koşullarında testler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4 ve Şekil 4'de verilmiştir.

Çizelge 3. Jigden elde edilmiş konsantrenin renk ve yoğunluk sonuçları (Konsantre % ağ oranı deney yapılan tane boyutuna göre hesaplanmıştır; Ry: Beyazlık; R457: Parlaklık; G: Sarılık)

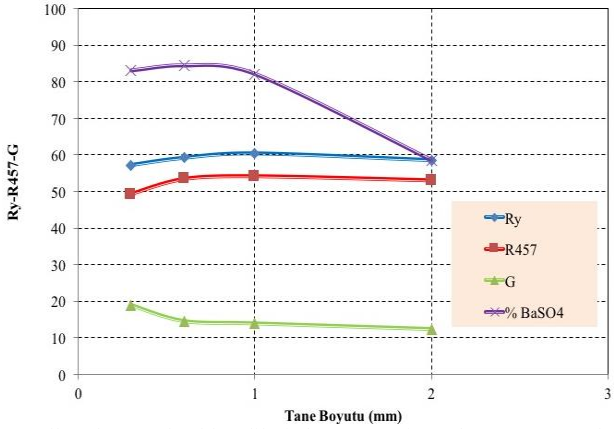
Tane Boyutu (mm)	Konsantre, % Ağ.	Ry	R457	G	% $BaSO_4$
-6.70+4.75	60.23	54.43	48.96	12.92	24.18
-4.75+3.35	58.35	51.77	46.70	12.61	17.36
-3.35+2.00	62.90	55.57	50.14	12.62	32.00



Şekil 3. Jigden elde edilmiş konsantrenin renk ve %$BaSO_4$ değişimi

Çizelge 4. Sallantılı masada elde edilmiş konsantrenin renk ve %$BaSO_4$ değişimi (Konsantre % ağ oranı deney yapılan tane boyutuna göre hesaplanmıştır; Ry: Beyazlık; R457: Parlaklık; G: Sarılık)

Tane Boyutu (mm)	Konsantre, % Ağ.	Ry	R457	G	% $BaSO_4$
-2.00+1.00	52.87	58.54	53.07	12.30	58.48
-1.00+0.600	54.90	60.44	54.21	13.84	82.08
-0.600+0.300	73.70	59.21	53.47	14.46	84.38
-0.300+0.106	35.43	57.14	49.25	18.86	83.00



Şekil 4. Sallantılı masada elde edilmiş konsantrenin renk ve %$BaSO_4$ değişimi

Sallantılı masa ile ilgili elde edilen veriler değerlendirildiğinde, tane boyutu küçüldükçe serbestleşmenin arttığını ve bunun pozitif etkisinin elde edilen konsantre tenörü

değerlerinden anlaşılmaktadır. Serbestleşmenin tam olarak etkisinin ortaya konulabilmesi için ince tane boyutlarında (-0.106mm) yoğunluk farkına dayalı zenginleştirme yapabilen cihazlarla gerekli testlerin yapılmasında fayda olacaktır.

3.3 İleri Zenginleştirme Testleri

Jig cihazı ile yapılan her üç tane boyutundaki deneyler sonucunda elde edilen konsantreler birleştirilerek, sallantılı masada verimi en yüksek olarak görülen-0.600+0.300 mm tane boyutu fraksiyonuna ufalanarak sallantılı masa cihazı ile zenginleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Jigden elde edilen ürünlerin sallantılı masada tekrar zenginleştirilmesi ile elde edilen konsantrenin özellikleri (Konsantre % ağ oranı deney yapılan tane boyutuna göre hesaplanmıştır; Ry: Beyazlık; R457: Parlaklık; G: Sarılık)

Tane Boyutu (mm)	Konsantre, % Ağ.	Ry	R457	G	% $BaSO_4$
-0.600+0.300	46.54	62.55	60.96	13.93	51.72

Bu aşamada yapılan test sonucunda serbestleşmenin önemi bir kez daha ortaya çıkmıştır. Üç farklı tane boyutunda yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen konsantrelerin -0.600+0.300 mm'ye ufalanarak sallantılı masada zenginleştirilmiştir. Elde edilen veriler ışığında yeterli bir zenginleştirme sonucuna ulaşılamamıştır. Bunun en büyük sebebi olarak baritin gevrek yapıda olması sebebiyle iri tane boyutlarında çok fazla olmaması olarak açıklanabilir.

Bir sonraki aşamada elde edilen konsantrenin %$BaSO_4$ açısından niteliğini arttırmak için yaş yöntem manyetik ayırma ile zenginleştirme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan görüleceği üzere konsantrenin içerisinde bulunan demir türü mineraller uzaklaştırıldığında kullanılabilirliği daha iyi olan barit cevherinin elde etmenin mümkün olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 6. Manyetik zenginleştirme sonucunda elde edilen konsantrenin spesifik özellikleri (Konsantre % ağ oranı deney yapılan tane boyutuna göre hesaplanmıştır; Ry: Beyazlık; R457: Parlaklık; G: Sarılık)

Tane Boyutu (mm)	Konsantre, % Ağ.	Ry	R457	G	% $BaSO_4$	Tüvenan, % $BaSO_4$
-0.600+0.300	97.36	72.62	70.40	3.92	83.92	47.66

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Barit, metal mineraller dışında yoğunluğu en fazla olan mineraldir. Bu sebepten dolayı petrol sondajlarında kırıntıların ağır-ortam olarak sondaj kuyusundan atılmasına

yardımcı olmak ve beyaz renkte olmasından dolayı boya, plastik ve kablo gibi sanayilerde dolgu maddesi olarak geniş kullanım alanı bulmaktadır.

Günümüzde rezervlerin azaldığı ve öğütme masraflarının gittikçe arttığı bir ortamda, jig ve sallantılı masa artıkları önemli oranda değerli mineral içermesi ve ince boyutta oluşu ile ekonomik açıdan önem kazanmaya başlamıştır. Barit artıklarının tekrar değerlendirilebilmesi son zamanlarda gündeme gelmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlarda yapılan renk ve yoğunluk ölçümleri barit örneğinin test yapılan tane boyutundaki değerlerdir. Herhangi bir şekilde öğütme işlemi (-20 mikron) yapılmadan ölçülmüştür.

Zenginleştirme testleri sonucunda jig ile yapılan çalışmalarda yeterli derecede barit konsantresi elde edilememiştir. Sallantılı masa deneylerinde en uygun yoğunluk değerine -0.600+0.300 mm tane boyutu fraksiyonu için %84.38 $BaSO_4$ olarak bulunmuştur. Barit artığını bu boyutta sallantılı masa ile zenginleştirme işlemi uygulanacak olursa yeterli olacaktır.

Bu çalışmalardan jige beslenecek baritlerin 1 mm tane boyutunun altına ufalanarak tane serbestleşmesi sağlanarak sallantılı masada zenginleştirilme işlemi uygulanması gerekmektedir. Bunun yanı sıra sallantılı masada en ideal olarak elde edilen barit konsantresinin manyetik zenginleştirme testlerinin yapılmasında da kaliteli barit elde edildiği görülmektedir.

Bu projeden sonra baritin optimum zenginleştirme özellikleri açısından performansları içinde bir AR-GE'nin yapılmasına karar verilmiştir. Bu projenin bir diğer katkısı da AR-GE çalışmasının öneminin şirketin en üst seviyesinden en alt kademesine kadar bütün çalışanları tarafından kavranmasına yardımcı olmasıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde ADO BAŞER MADEN SAN. ve TİC. A.Ş. sahipleri ve çalışanlarına maddi ve manevi desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Deniz V. (2004) Başer Maden Sanayinin ince barit artıklarının flotasyon ile zenginleştirilmesi, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 125-129.

Deniz, V. ve Gayret, O.B. (2007) Başer Maden Sanayii A.Ş.'nin jig ara ürünlerinden beyaz barit üretimi, 6. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 116-122.

Cuillo, P.A. (1996). Industrial Minerals and Their Uses: A Handbook and Formulary, Noyes Publications.

Maçavariani, O., (2012). Chordi Barit Ocağı, Lesori ve Gvalvana Bölgelerinde 1960-1991 Yıllarındaki Barit Rezervlerinin Artışı ve 2012 için Kalan Rezervler Raporu, BAŞER A.Ş. Arge Raporu, Antalya.

TÜRKİYE'DE ALTIN MADENCİLİĞİ VE ÜRETİM YÖNTEMLERİ
GOLD MINING IN TURKEY AND PRODUCTION METHODS

Elmas AKGÖZ[1]*, Mustafa AKÇİL[2], Mustafa Emre DİLBAZ[1]

1: Koza Altın İşletmeleri A.Ş., Himmetdede Altın Madeni, Kayseri, TÜRKİYE

2: Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: elmas.akgoz1@gmail.com

ÖZET: Altın cevherinin ilk bulunuşunun M.Ö 5000 'lere kadar gittiği, Mısırlıların bilinen ilk altın üreticileri olduğu bilinmektedir. Altını mücevher olarak ilk kullanan uygarlığın Asurlular olduğu düşünülse de M.Ö 5000 'li yıllara ait olarak Truva bölgesinden çıkarılan altın takılar, bu madenin mücevher olarak kullanımın Neolitik çağa kadar geriye gittiğini göstermektedir. Altının kıymetli bir metal oluşu, kullanımı ve işleme teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak insanların dikkatleri Altın Madenciliği üzerine toplanmıştır.

Altının cevherden siyanürleme prosesi ile kazanımı 19. Yüzyıl ortalarına kadar uzanır. İlk modern endüstri 1887 yılında kurulmuştur. 1970'li yıllarda Dünya'nın dikkatini Altın Madenciliğine yöneltmesiyle bağlantılı olarak, ülkemiz de altın arama faaliyetlerine yönelmiştir. Altın madenciliği Türkiye'de Doğu Karadeniz ve Batı Anadolu bölgelerinde yapılan arama çalışmaları ile başlamıştır. Elimizdeki düşük tenörlü cevher yataklarını değerlendirme ve yenilerini keşfetmek ülkelerin ekonomisine her yıl artan oranla katkıda bulunmaktadır.

Altın Madenciliğine olan ilginin artması zenginleştirme yöntemlerinin geliştirilmesi de zorunlu hale getirilmiştir. Bildiri niteliğindeki bu derleme ile, altın zenginleştirme proses ve çalışmalarına dikkat çekerek, Türkiye'nin altın madenciliğindeki yeri üzerine durulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Altın, Fiziksel zenginleştirme, Kimyasal zenginleştirme

ABSTRACT: *It is known that the gold ore is the first known gold producers of the Egyptians, where the first find went up to 5000 BC. Although it is thought that the civilization that first used gold as a jewel is Assyrians, gold jewelers from the Trojan region dating back to 5000 BC indicate that the use of this mine as a jewel is back to the*

Neolithic age. People's attention has been focused on gold mining, depending on how gold is made of precious metal, its use, and its advances in processing technologies.

The process of cyanidation of the gold ore dates back to the mid-19th century. The first modern industry was established in 1887. In the 1970s, in connection with the world's attention to gold mining, our country has also turned to gold exploration activities. Gold mining in Turkey has started in the Eastern Black Sea and Western Anatolian regions. Assessing and exploring new low-grade ore deposits at your disposal contributes increasingly to the economics of countries every year.

The growing interest in gold mining has also made it necessary to develop enrichment methods. With this review in the nature of the paper, the gold enrichment process and its works are emphasized and the place of Turkey in gold mining is emphasized.

Keywords: *Gold, Physical concentration, Chemical Kimyasal zenginleştirme*

1. ALTIN

Altın, kimyada Au sembolü ile gösterilen yumuşak, parlak sarı renkte kimyasal bir element. Altının parlak sarı rengi, asitlere karşı dayanıklılığı, doğada serbest halde bulunabilmesi ve kolay işlenebilmesi gibi özellikleri, insanların ilkçağlardan beri ilgisini çekmiştir. Altın, parlak sarı rengi ve ışıltısıyla göz alan çok ağır bir metaldir. Üstelik kolay kolay tepkimeye girmeyen çok kararlı bir element olduğu için havadan ve sudan etkilenmez. Bu yüzden hiçbir zaman paslanmaz, kararmaz ve donuklaşmaz. Bir başka özelliği de saf haldeyken çok yumuşak olmasıdır; bu nedenle kolayca dövülerek biçimlendirilebilir. Altın bütün bu özellikleriyle tarih boyunca en kıymetli metallerden sayılmıştır.

Altın, metalurji tarihinde çok önemli bir role sahiptir. Eski insanlar tarafından değer verilmiş ve birçok farklı objeye dönüştürülerek kullanılmıştır. Eskiden, altını kazanmak için herhangi bir kimyasal veya metalurjik bilgiye ihtiyaç yoktu; çünkü, altın doğada metalik halde bulunduğu için bir tava yardımıyla yapılan basit bir yıkama işlemi ile (panning) parlak altın taneleri kolayca ayrılabiliyor ve bazende iri altın tanelerinin eritilmesi ile külçe altın elde edilebiliyordu. Ancak, bu işlemlerin yorucu ve büyük sabır gerektiren işlemler olması nedeniyle, simyacılar daha hızlı bir yöntem düşündüler: “baz metallerin altına dönüşümü”. Bir simyacı, bir parça demiri bakır sülfat çözeltisine

daldırdığında, demirin hızlı bir şekilde metalik bakır tabakası ile kaplandığını buldu. Bakırın demire dönüşmesi gibi görünen bu işlem esasen aşağıdaki tepkimelerle ifade edilmektedir:

İndirgenme: $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$ (1)

Oksitlenme (yükseltgenme): $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$ (2)

Net tepkime: $Cu^{2+} + Fe \rightarrow Cu + Fe^{2+}$ (3)

Fakat halen cevapsız kalan asıl önemli soru şuydu: Demir veya bakırın altına dönüşümü nasıl gerçekleşecekti? Altının en soylu metal olduğu, hiçbir asit ve bazda çözünmediği o zamanlarda da bilinmekteydi. Arap simyacı Cabir bin Hayyan (M.S. 720-813) tarafından altını çözebilen "kral suyu"nun (aqua regia / royal water) keşfedilmesi ile altının cevherlerden kazanımı için yeni bir yöntem geliştirilmiş oldu. Kral suyu, tek olarak kullanıldıklarında altını çözemeyen hidroklorik asit ve nitrik asit karışımından oluşur. Bu karışımın etkisi açığa çıkan klor ve nitrosil klorür'e dayanır:

$3HCl + HNO_3 \rightarrow Cl_2 + NOCl + 2H_2O$ (4)

İsveçli bilim adamı kimyager Carl Wilhelm Scheele (1742-1786), 1774 yılında keşfettiği klorun, tüm metallerle tepkime verdiğini açıklamıştır. 1851 yılında Karl Friedrich Plattner (1800-1858, Freiberg), ilk kez klor gazının sulu çözeltisini altının cevherlerden kazanımı için uygulamıştır. "Metallerin dönüşümü" yaklaşımı, ondokuzuncu yüzyılın kimyacıları tarafından terk edilmesine rağmen, metalik demir, klorür liçi çözeltisinden altının indirgenmesi amacıyla kullanılmıştır. Söz konusu işlem aşağıdaki tepkime ile ifade edilebilir:

$Au^{3+} + Fe \rightarrow Au + Fe^{3+}$ (5)

Siyanür çözeltisinin metalik altını çözebilme özelliği, 1783 yılında Scheele tarafından, kendi keşfettiği hidrojen siyanürü kullandığı deneyler ile belirlenmiştir (Habashi, 1967). Altının çözündüğü siyanür çözeltisi (yüklü çözelti) Elkington tarafından altının elektrokaplaması için gerekli banyo çözeltisi olarak kullanılmıştır. Altının çözünmesi, Rusya'da Bagraton (1884), Almanya'da Elsner (1846) ve İngiltere'de Faraday (1857) gibi dönemin tanınmış kimyagerleri tarafından araştırılmıştır. Ancak, elde edilen bilgileri ilk kez 1887 yılında MacArthur altın cevherlerine uygulamıştır. Proses, endüstriyel olarak uygulanmaya başlandığında birçok üniversitede buna yönelik araştırmalar da başlatılmıştır. En önemli katkılar 1896 yılında Bodlander tarafından yapılmıştır. İlk olarak, oksijenin çözünme işlemi için gerekli olduğunu kanıtlamıştır. Bu

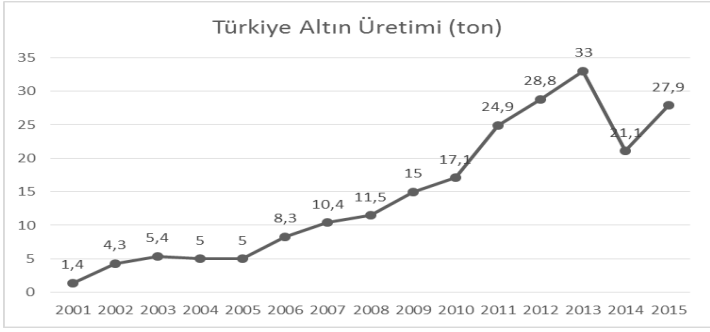
olguyu Elsner ve Faraday da destekliyordu fakat MacArthur buna şüpheyle yaklaşıyordu. Ayrıca, altının çözünmesi sırasında ara ürün olarak hidrojen peroksitin oluştuğunu keşfetmiş ve aşağıdaki sunulan iki çözünme tepkimesini önermiştir:

$$2Au + 4NaCN + O_2 + 2H_2 \rightarrow \quad 2Na(Au(CN)_2) + NaOH + H_2O \qquad (6)$$

$$2Au + 4\ NaCN + H_2O_2 \rightarrow 2Na(Au(CN)_2) + 2NaOH \qquad (7)$$

Daha sonra yapılan çalışmalar, ilk tepkimenin (6) liç işlemi için daha önemli olduğunu ortaya koymuştur. Siyanür çözeltisinin altın üzerindeki etkisi uzun bir süre üç sebepten dolayı gizemini korumuştur:

- En soylu metal olan ve sıcak konsantre kral suyu hariç diğer hiçbir asitte çözünmeyen altın, nasıl oluyor da oda sıcaklığında çok seyreltik NaCN veya KCN (%0,01-%0,1) çözeltisinde çözünebiliyor?
- Derişik NaCN çözeltisinin, seyreltik çözeltiden daha etkili olmadığı bulunmuştur. Sıkça sorulan diğer bir soru da NaCN konsantrasyonunun altın kazanımına olan etkisi Şekil 1'deki gibi gerçekleşirken, neden diğer metallerin çözünme davranışı benzer özellik göstermemektedir? Altın dışındaki metallerin konsantre asit ile liçi, seyreltik çözeltilere nazaran daha hızlıdır.



Şekil 1. 2001–2015 Yılları Türkiye'de Gerçekleşen Altın Üretimi. (Kaynak:9)

- Oksijenin tek başına altını oksitlemede hiçbir etkisi olmamasına rağmen, neden siyanür liçindekullanılması zorunludur?
- Bütün bu açıklanamayan sorular, prosesin bulunuşundan 60 yıl sonra, altının siyanür çözeltisinde çözünmesinin elektrokimyasal bir süreç (galvanik hücre gibi) olduğunun anlaşılması ile açıklığa kavuşmuştur. Bunu açıklayabilmek için, küre şeklinde küçük bir altın tanesi KCN jeli içine daldırılmış, ve altın yüzeyine bir yönden hava üflenmiştir. Hava ile temas etmeyen altın yüzeyinin korozyona

uğradığı gözlenmiştir. Küre etrafında galvanic hücre oluşmuştur; yani oksijene az maruz kalan yüzey anot gibi davranırken, oksijene doğrudan maruz kalan yüzey katot gibi davranmıştır. Böylece, oksijen, altın yüzeyindeki elektronları alırken alırken, altın iyonları da çözeltiye geçerek siyanür ile hızlı bir şekilde kompleks oluşturmuştur. Bu süreç, aşağıdaki tepkimeler ile ifade edilebilir: Oksijenin katodik bölgede indirgenmesi: (Kaynak:1)

$$O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow H_2O_2 + 2OH \quad (8)$$

Altının anodik bölgede oksitlenmesi (9) ve siyanür ile altın iyonlarının (Au^+) kompleks oluşturması (10):

$$Au \rightarrow Au^+ + e^- \quad (9)$$

$$Au^+ + 2CN^- \rightarrow Au(CN)_2 \quad (10)$$

Genel tepkime şöyle ifade edilir:

$$2Au + O_2 + 2H_2O + 4CN^- \rightarrow 2Au(CN)_2 + H_2O_2 + 2OH^- \quad (11)$$

2. ALTIN MADENCİLİĞİNDE TÜRKİYE

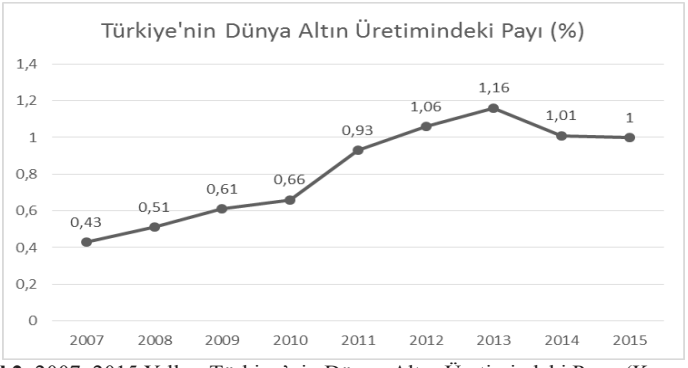
Soy metallerin en ilgi çekenlerinden biri olan altın konusundaki çalışmalar Anadolu'da erken tarihi devirlerde başlamıştır. Modern araştırmalar ise MTA Genel Müdürlüğü'nün kurulmasından sonra yürütülmüştür. Ayrıca Etibank gibi çeşitli devlet kuruluşları ile özel kişi ve kuruluşlar tarafından da Türkiye'de altın yoğun bir biçimde aranmış ve araştırılmıştır. Sözü edilen bu çalışmaların tarihi devirlerdekiler de dahil önemli bir bölümü plaser altın yatakları üzerinde yoğunlaşmış ve bu yataklarda altın işletilerek tümüyle alınmıştır. Cu-Pb-Zn, Sb ve Hg gibi cevherleşmelerin ekonomik olarak işletilebildiği yataklar da Au ve Ag içeriklerinin belirlenmesi amacı ile çeşitli araştırıcılar tarafından ele alınmışlardır. Tüm bu çalışmalar sonucunda da Türkiye'deki altın oluşumları belirlenmiştir. (Kaynak: 2-3-4-5-6-7) Bu çalışmalarda Türkiye'de altın oluşumlarının varlığından bahsedilmesine karşın boyutları belli (tenör ve rezervi) hiç bir altın yatağı henüz ortaya konulamamıştır. Anadolu'da altın aramalarının yoğunlaşmasının nedeni Pasifik tipi epitermal altın oluşumlarıdır. (Kaynak:8)

Altın madenciliği Türkiye'de ilk defa 1985 yılında Küçükdere-Havran-Balıkesir, 2001 yılında Ovacık-Bergama-İzmir bölgesinde, 2006 yılında da Kışladağ-Eşme-Uşak bölgesinde, siyanürleme yöntemiyle gündeme gelmiştir. 1989 yılında keşfedilen Bergama Ovacık Altın Madeni 12 yıl süren uğraştan sonra 2001 yılında üretime geçen ilk altın

madenimiz olmuştur. Sonraki dönemde faaliyete geçen Altın İşletmeleri: 2001- Bergama, Ovacık Altın Madeni, 2002- Manisa Salihli Sart Plaser Altın Madeni, 2006- Uşak Kışladağ Altın Madeni, 2009- Gümüşhane Mastra Altın Madeni, 2010- Erzincan Çöpler Altın Madeni, 2011- Eskişehir Kaymaz Altın Madeni, 2011- İzmir Efemçukuru Altın Madeni, 2012- Niğde Tepeköy Altın Madeni, 2015- Kayseri Himmetdede Altın Madeni, 2016 – Sivas Bakırtepe Altın Madeni, 2016- Kayseri Kaş Altın Madeni'dir. Devam eden arama çalışmaları ile Kayseri, Bilecik, Artvin, Çanakkale, Sivas, Ağrı, Bursa, Konya, Yozgat, Ordu, Malatya ve Erzurum'da açılacak yeni işletmelerle Türkiye'de altın madenciliğinin önemi daha da artacaktır.

Çizelge 1. 2009 – 2015 Yılları Arası Projelere Göre Altın Üretimi (ons) (Kaynak:9)

Proje	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**
Kışladağ	237210	274592	284648	289293	306182	311233	281280
Efemçukuru			484	69899	82786	98829	100482
Himmetdede,Ovacık,Kaymaz	228000	256000	304000	338000	350000	316510	266000
Çöpler			185418	188756	271063	227927	204665
Altıntepe							608
Niğde,Bolkar				10864	16304	13935	15213
Sart	670	1087	1380	817	1047	1090	926
Toplam (ons)	465880	531679	775930	897629	1027382	969524	869174



Şekil 2. 2007–2015 Yılları Türkiye'nin Dünya Altın Üretimindeki Payı. (Kaynak:9)

3. ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

3.1. Gravite ile Zenginleştirme

Gravimetrik yöntemler eski çağlardan beri kullanılmaktadır (Kaynak:10). Bu yöntemlerin ilkesi altın içeren minerallerin nispeten yüksek yoğunlukta olmalarına dayanır. Yaygın kullanımı 1900'lerde siyanürlemenin bulunmasıyla azalmıştır. Gravimetrik zenginleştirmede en çok kullanılan araçların başlıcaları, oluklar, düz veya çıtalı masalar, silindirik Johnson separatörü, sonsuz belt konveyör, jig ve Reichert konileridir

(Kaynak:11-12). Gravimetrik zenginleştirmenin uygulandığı cevherlerde altının serbest ve iri taneli olması gerekir. Bu değin zenginleştirme ile serbest olan ya da serbestleşen altının hemen devreden alınmasında yarar vardır. Bunların önemlileri şunlardır.

a) iri altın tanelerinin siyanür çözeltilerinde tamamen çözünmesi uzun zaman alır. Örneğin, 150 mikronluk saf bir altın tanesi için teorik süre 44 saattir (Kaynak:13). Gravimetrik yöntemlerle böyle tanelerin önceden ayrılması uzun süreli liç işlemleri uygulaması gereğini ortadan kaldırır.
b) Altın tanelerinin yüzeyleri, siyanür ile çözünmeyi engelleyecek düzeyde kirli, kaplanmış özellikle demir hidroksit ya da organik bileşiklerle- olabilir (Kaynak:13). Bu tip konsantrelerde altın yüzeylerinin ek bir işlemle temizlenmesi gerekir. Gravimetrik yöntemle alınan konsantre miktarı toplam cevher kütlesinin küçük bir bölümü olacağından bu tür ikincil işlemlerin uygulanmasını ekonomik açıdan engellemez.

İlke olarak altının gravimetrik yolla zenginleştirilmesi diğer cevherlere uygulanan gravimetrik zenginleştirmeye benzer. Ancak doğal altının özgül ağırlığının çok yüksek (15,5*-19,3) olması nedeniyle kapalı öğütme devrelerinde devreden yükün mutlaka gravimetric zenginleştirmeye tabi tutulması gerekir. Bu aşama kolaylıkla işlenir bir metal olan altının değirmen astarlarının kaplanmasından doğacak sorunları bir ölçüde önler. Gravimetrik yöntemle elde edilen konsantreler doğrudan izabet edilemeyecek nitelikte ise amalgamlanır ve artıklar da siyanürlenir (Kaynak:14).

3.2. Flotasyon

Altın cevherlerinde köpüklü yüzdürme genellikle serbest, ince taneli altının ya da altın içeren sülfürlü, tellürlü minerallerin konsantrelerini elde etmek için uygulanır. Bazı özel durumlarda da köpüklü yüzdürme, antimuan ya da arsenikli sülfürlerin siyanürlemeyi engelliklerinden, atılmaları için uygulanır.

Altın içeren minerallerin bulunduğu cevher bilyalı veya çubuklu değirmenlerde su ile ögütülerek cevher içinde diğer minerallerle kenetli olarak bulunan altının serbest hale getirilmesi sağlanmaktadır. Serbest hale getirilen altın taneleri sellülerde (çelik tanklarlarda) toplanır. Tankların içine toplayıcı adı verilen kimyasal maddeler ilave edilerek serbest haldeki altın taneleri hidofob (hava sever) hale getirilir. Daha sonra ortama çam yağı gibi köpük yapıcı kimyasallar ilave edildikten sonra sellüllere hava

üflenerek çapları yaklaşık 0,5-3 cm olan köpüklerin oluşması sağlanır bu köpüklere yapışan altın taneleri köpük yardımıyla yüzdürülerek ortamdaki diğer minerallerden uzaklaştırılmak suretiyle altınca zengin bir konsantre ürün elde edilir. Bu yöntemin, çok zengin ve kütlesi küçük bir konsantre elde etmek gibi bir avantajına karşılık, bu tip konsantrelerden siyanürleme yöntemi ile ekstraksiyon zordur (Kaynak:15-14).

3.3. Amalgamasyon

Bu yöntem, iri taneli nabit altın içeren cevherlerin genellikle gravimetrik yolla zenginleştirilmiş konsantrelerine uygulanır. Amalgamasyon için altın yüzeylerinin temiz olması ön koşuldur. Ayrıca cevherde arsenik, antimuan, bizmut ve sülfürlü mineraller de olmamalıdır. Bu maddeler civa ile tepkime yaparak amalgamasyonu olumsuz yönde etkiler (Kaynak: 14 – 16). Ancak civa çok zehirleyici olduğundan, kullanımı, işçi sağlığı ve yarattığı çevre sorunları yüzünden sakıncalar taşır. Bu nedenle amalgamasyon yöntemiyle altın üretimi giderek azalmaktadır.

3.4. Kimyasal Zenginleştirme/Liç

Cevher içersindeki, değerli metal veya metallerin uygun bir çözelti içerisinde seçimli (selektif) olarak çözündürülmesi ve çözeltiden selektif olarak kazanılması için uygulanan işlemler dizisine liç adı verilmektedir. Kısaca liç, çözünürlük farkı ile zenginleştirme işlemidir. Genellikle Altın, bakır, gümüş, platin gibi değerli metal cevherlerinin zenginleştirilmesi için uygulanmaktadır. Ayrıca, nadir toprak elementleri, uranyum, toryum, trona ve çeşitli tuzların zenginleştirilmesinde de uygulamaları mevcuttur (Kaynak: 17). Liç yönteminin uygulaması 3 temel basamaktan oluşur. Bunlar;

1- Liç öncesi hazırlık işlemleri (boyut küçültme ya da aglomerasyon, sınıflandırma, ön zenginleştirme, ısıl işlem vs)

2- Cevherdeki değerli mineralin çözeltiye alınması (Çözeltiye alma)

3- Çözelti içerisinden değerli mineralin geri kazanılması

Cevherlerden altının kazanılmasında en çok kullanılan yöntem, siyanür liçi yöntemidir. Bu proseste cevherdeki altın, siyanür ile çözeltiye alındıktan sonra ya çinko tozu ile çöktürme ya da aktif karbon adsorbsiyonu ile saflaştırma ve takiben elektroliz ile çözeltiden kazanılmaktadır. Altının aktif karbona adsorpsiyonu özellikle son yıllarda

endüstride geniş kullanım alanı bulmuştur. Çözeltideki altını zenginleştirmede kullanılan bu yöntem endüstride başarıyla uygulanmaktadır (Kaynak: 18).

Siyanür, sulu ortamda altını çözebilen çok az sayıdaki kimyasaldan birisidir. Oldukça düşük maliyetlerde kolayca bulunabilen sıradan bir sanayi kimyasalıdır. Gerek teknik gerek ekonomik nedenlerle siyanür, cevherden altının elde edilmesinde tercihi zorunlu olan kimyasaldır. Siyanür, 1887 yılından beri metallerin eldesinde kullanılmış ve günümüzde de altın eldesinde tüm dünyada güvenli bir şekilde kullanılmakta ve yönetilmektedir. Uygulamadaki sodyum siyanür çözeltisinin derişimi genellikle 0,25-0,5 kg/m^3 su (250-500 ppm) arasındadır. Siyanür iyonunun hidrolizini önlemek amacıyla çözeltiye kireç ya da sodyum hidroksit verilerek pH 10-11 arasına ayarlanır. Gerekli oksijen, siyanür çözeltisindeki doğal oksijen çözünürlüğünden sağlanır.

3.4.1. Siyanür Liçi Yöntemleri

Cevherin altın içeriğine göre uygulanacak siyanür liçi yöntemi belirlenmektedir. Yığın liçi ve tank liçi olmak üzere iki ana yöntem uygulanmaktadır (Kaynak:19).

3.4.1.1. Yığın Liçi

Genellikle cevher, günün ekonomik koşullarına bağlı olarak yaklaşık 2 g/t'un altında altın içeriyorsa yığın liçi düşünülebilmektedir. Yığın liçi yönteminde cevher iri boyutta kırılmakta; tesislerin en maliyetli aşaması olan öğütme işlemi uygulanmamaktadır. Bu nedenle, altın tanelerinin yeterince serbestleşmemesi nedeniyle çözünme verimi tank içi yönteme göre daha düşük kalmakta, ancak, öğütme maliyetinin olmamasından büyük tasarruf sağlanmaktadır.

Cevher değişik olarak 25 mm - 6,3 mm arasında belirlenen boyutun altına kırılıp meyilli açık arazide geçirimsiz jeomembranlar üzerine serilerek yığınlar oluşturulmakta, bu yığınların üzerine pH 10,5'da siyanür çözeltisi verilmektedir. Siyanür çözeltisi yığının alt kısımlarına süzülürken altın çözeltiye geçmektedir. Yığının alt kısmına süzülen altın yüklü çözelti havuzda toplanmaktadır. Bu yüklü çözeltiden altın, karbon üzerine adsorpsiyon yöntemi ile kazanılabilmektedir (Kaynak:18-19).

Yığın liçinde karbon üzerine adsorpsiyon işlemine "Kolonda Karbon – Carbon in Column- CIC" adı verilmektedir. Bu şekilde, belli sayıda sıralı adsorpsiyon tankına ilk tanktan verilen yüklü çözelti sırasıyla son tanka taşarak geçecek şekilde ilerletilmekte,

aktif karbon ise son tanktan verilmekte ve ilk tanka doğru ilerletilmektedir. Bu şekilde ters akımlı olarak çalışan adsorpsiyon tank sistemiyle çözeltideki altın karbona geçmektedir. Sonrasında, altın ile yüklü karbon kolona alınmakta ve burada yüksek basınç ve sıcaklık altında yüksek konsantrasyonda NaCN ve NaOH bulunan çözelti verilerek karbondaki altın sıyrılarak tekrar çözeltiye alınmaktadır. Altın bu çözeltiden elektroliz ile kazanılmakta; sonrasında ergitme işlemiyle külçeler halinde dökülerek elde edilmektedir (Kaynak: 18 – 20).

Altın kazanım veriminin %50 – 80 oranlarında düşük olmasına rağmen, yığın liçi yatırım ve maliyet düşüklüğü sebebiyle tercih edilmektedir (Kaynak: 18). Ülkemizde Uşak – Kışladağ Altın Madeni, Erzincan – Çöpler Altın Madeni, Sivas – Bakırtepe ve Kayseri-Himmetdede Altın Madeninde yığın liçi yöntemi ile üretim yapılmaktadır.

3.4.1.2. Tank Liçi

Tank liçi proseslerinde, altın cevheri kırma ve öğütme işlemleri ile ufalanarak cevher içindeki ince altın partiküllerinin serbestleşmesi ve serbest altın yüzeylerinin siyanürle temas edebilmesi sağlanmaktadır. Tesislerde genellikle çubuklu ve bilyalı değirmenler ile sulu olarak 75 mikronun altına öğütülen cevher, pülp halinde liç tanklarına verilmekte, burada siyanür ile karıştırılarak altının siyanürle reaksiyona girip çözeltiye geçmesi sağlanmaktadır. Altının liç tanklarında siyanürle reaksiyona girip çözeltiye geçmesi için çözünmüş oksijen de gerektiğinden liç tanklarında pülp içine saf oksijen ya da hava da verilmektedir. Siyanürün, HCN(g)'ye dönüşümünü engellemek için ise liç tanklarında pH'ı 10,3'ün üzerinde tutacak şekilde cevhere kireç ilave edilmektedir. Liç tanklarında genellikle %45 katı oranında tutulan pülp, siyanür ve oksijen ile karıştırılarak altının çözeltiye geçmesi sağlanmaktadır. Liç süresi genellikle 16-24 saat arasında alınması ve NaCN konsantrasyonu 100-500 ppm arasında tutulması altın liçi için uygun olmaktadır.

Tank liçinde, öğütmenin uygulanması ile cevherdeki ince altın tanelerinin büyük oranda serbestleşmesi ile %95'in üzerinde altın kazanma verimleri elde edilebilmektedir. Ancak, öğütme boyutunun küçülmesiyle, öğütme maliyetleri artacağından ekonomik olarak optimum öğütme boyutunda çalışılması uygun olmaktadır. Liç işlemini takiben altının çözeltiden kazanımında aktif karbon adsorpsiyon yöntemi kullanılabilmektedir. Aktif karbon adsorpsiyon yöntemi, tank liçinde pülpte karbon (Carbon in Pulp – CIP) ve liçte karbon (Carbon in Leach – CIL) olmak üzere iki şekilde uygulanabilmektedir

(Kaynak:18 – 19). Bergama-Ovacık Altın Madeni, Eskişehir-Kaymaz ve Gümüşhane-Mastra Altın Madeni'nde altının çözündürülmesi tank liçi yöntemi ile yapılmaktadır.

3.4.2. Altının Çözeltiden Kazanımı

Çinko tozu ile çöktürme prosesi (Merrill - Crowe prosesi) : Merrill Crowe prosesinde, liç işlemi sonrası pülpe ilk olarak tikinerlerle katı-sıvı ayrımı uygulanmaktadır. Bunu takiben katıdan ayrılan altın içeren siyanürlü berrak çözeltiye vakum uygulanarak çözünmüş oksijen içeriği düşürülüp çinko tozu eklenmektedir. Au(CN)2- bileşiği Zn ile reaksiyona girerek Au(k) çinko tozu üzerine çökerken Zn(k), Zn(CN)4-2 bileşiği halinde çözeltiye geçerek Au ile Zn yer değiştirmektedir. Sonuçta, çinko tozu, üzerine kaplanan Au ile birlikte filtre edilerek çözeltiden ayrılmakta ve filtre keki ergitilerek altın kazanılmaktadır. Zn ise sıcak H2SO4 ile liç edilerek çökelekten uzaklaştırılmaktadır. Bu sistemde katı-sıvı ayrımına ihtiyaç olup berrak çözeltiye gereksinim olmaktadır. Kaynak: (18 – 22)

Aktif karbon üzerine adsorpsiyon : Bu sistemde katı sıvı ayrımına gerek olmadan liç sonrası pülpe granül aktif karbon ilave edilmektedir. Altının aktif karbona adsorpsiyonu sonrasında aktif karbon pülpten elekler yardımıyla ayrılmaktadır. Pülpten ayrılan aktif karbon sıyırma kolonuna alınmakta ve burada sıyırma işlemi uygulanarak karbondaki Au içeriği konsantre olarak tekrar çözeltiye alınmaktadır. (Kaynak: 18 – 20 – 21)

Sıyırma ünitesi : Liç sonunda çözeltideki altın aktif karbona adsorplanmakta, altın ile yüklenen aktif karbon sıyırma kolonuna alınarak burada kolondan yüksek konsantrasyonda NaCN ve kostik içerikli sıcak çözeltinin geçirilmesiyle altın karbondan ayrılarak 500 ppm gibi yüksek konsantrasyonlarda altın içerecek şekilde çözeltiye alınmaktadır. Bu çözeltiden altın ya elektrolizle ya da çinko tozu ile çöktürme ile kazanılmaktadır.

Karbon re-aktivasyon ünitesi : Sıyırma işlemi sonrasında boş karbon yeniden adsorpsiyon ünitesine verilmeden önce aktivasyon fırınında 750^0C'de aktivitesi arttırılmaktadır. Re-aktivasyon adı verilen bu sistemde karbonun gözeneklerini tıkayan ve aktif kısımları kaplayan organik safsızlıklar yüksek sıcaklıkta uçurularak ya da piroliz ile parçalanarak karbondan uzaklaştırılmaktadır. Re-aktivasyon sonunda aktif karbon su ile karıştırılıp son adsorpsiyon tankından sisteme geri beslenmektedir.

Elektrolitik kazanım : Sıyırma sonucu elde edilen yüksek konsantrasyonda, yaklaşık 500 ppm Au içeren sıyırma çözeltisi sonraki aşama olarak elektrolize gönderilmektedir. Altın, elektroliz hücrelerinde reaksiyonlarına göre çelik yünü katotta toplanmaktadır. (Kaynak: 18 – 20 – 23) Uygulanan votaj ve amper değerleri tesisin özel koşullarına uygun olarak oldukça değişkendir. (Kaynak: 14)

$$Au(CN)^{2-} + e^- = Au^0 + 2CN^- \quad (12)$$

$$2H_2O = O_2 + 4H^+ + 4e^- \quad (13)$$

Kalsinasyon : Elektroliz sonunda, çelik yünü katot, üzerinde toplanan altın gümüş ve diğer baz metaller ile birlikte kalsinasyon fırınında 750oC'de kalsine edilmektedir. Kalsinasyon, çelik yününü, ve Cu gibi baz metalleri oksitleyerek ergitme sırasında bu metallerin cürufa geçerek altından ayrılmasının kolaylaştırılması amacıyla gerçekleştirilmektedir. Bu metallerin oksitlenmesiyle ergitmede kullanılan cüruf yapıcı reaktiflerin miktarı azaltılabilmektedir. (Kaynak: 18 – 20 – 23 – 14)

Ergitme ve döküm : Altın içeren malzeme, kalsinasyon sonrası cüruf yapıcı reaktifler ile karıştırılarak potada 1250 oC'de ergitilmektedir. Ergitme sırasında potada, baz metal oksitler cürufa geçerek üstte toplanmakta, altın ve gümüş ise cürufun altında ergimiş halde bulunmaktadır. Cüruf tabakası üstten alınarak geriye kalan sıvı haldeki altın-gümüş karışımı kalıplara dökülmektedir. Bu şekilde altın-gümüş karışımından oluşan külçe "dore" olarak adlandırılmakta ve >%95 oranında değerli metal içermektedir. Bu haliyle satılabilen dore, rafineriye gönderilerek, burada >%99,6 Au içerecek şekilde saflaştırılmaktadır. (Kaynak: 18 – 20 – 23 – 14)

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Mutlak olarak zenginleştirme yönteminin seçimi cevherin mineralojik, jeolojik, metalurjik özellikleri ile çevresel ve coğrafik faktörleri değerlendirilerek yapılır. Ekstraksiyon yöntemlerinden zengin cevherlere uygulanan doğrudan izabe yada düşük tenörlü cevherlere uygulanan hidrometalurji şeklinde iki grupta bahsedilebilir.

Düşük tenörlü altın cevherlerini değerlendirmeye olanak sağlayan, siyanürleme yöntemi ile ekonomik olarak işlenebilmesi için geliştirilen yığın liçi yöntemi ülkemizde de uygulanmaktadır. Yığın liçinin ilk yatırım maliyetinin diğer yöntemlere göre düşük olması tercih edilme durumunu öne çıkarmaktadır. Düşük tenörlü cevherlerin ekonomik olarak değerlendirilebilir olması ülkemizdeki altın arama faaliyetlerini de harakete

geçirmiştir. Örneğin McAllister ve ark., (1974) tarafından 10 milyon tonluk bir hipotetik cevher kütlesi (0,04-0,01 ons Au/ton) dikkate alınarak yapılan bir çalışmada çeşitli altın üretim yöntemlerinin ilk yatınm ve işletme giderleri bakımından bir karşılaştırması yapılmıştır. Bu çalışmadaki değerlendirme iki farklı altın fiyatı, S /ons ve 100 j5 / ons, dikkate alınarak yapılmış olup elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de verilmektedir (Kaynak: 21).

Çizelge 2. Dört alternatif altın üretiminin ilk yatırım ve işletim maliyetleri ile gerekli minimum tenör bakımından karşılaştırılması.

	Maliyet Faktörü		Gerekli Min.	
	İlk Yatırım	İşletme	Tenör	Ons Au/t
Ters Akımda Su Atma Klasik Karıştırmalı Liç-Merril Crowe	1,000	1,000	0,056	0,042
Palp İçinde Karbon Karıştırmalı Liç-Elektro Kazanım	0,750	0,940	0,045	0,035
Tank Liçi - Karbon Özümlemesi-Elektro Kazanım	0,520	0,790	0,033	0,029
Yığın Liçi - Karbon Özümlemesi-Elektro Kazanım	0,320	0,660	0,031	0,025

Altın madencilik faaliyetlerinin artması siyanürü çevresel tehdit gören kesimleri endişelendirse de, mevcut proseslerdeki kontrollü ve bilinçli tüketim örneklerini inceleyenler için durum nettir. Siyanürün üretim, kullanım ve bertarafı ile ilgili riskler kolayca yönetilebilir. Gerek kimya sanayi ve gerekse madencilik sektöründeki sorumluluðunun bilincinde olan şirketler, siyanür kullanımından kaynaklanan zarar ve ziyanı önlemek için sıkı risk yönetimi sistemlerini kullanmaktadırlar. Madencilikle ilgili çözeltilerdeki siyanür, içindeki altın alındıktan sonra ya tesise geri gönderilmekte ya da imha edilmektedir. Siyanürün ortama salıverilme ihtimalini azaltmak ve önlemek için siyanürün kullanımı ile ilgili risklerin yönetimi, uygun mühendislik, dikkatli izleme ve iyi yönetim uygulamalarını gerektirmektedir. Unutulmamalıdır: 'Tüm maddeler zehirdir, ilacı zehirden ayıran dozudur. (Paraselsus 1493-1541)''

Altın madenciliği faaliyetlerinin; bulunduğu bölgelere sosyal, kültürel, ekonomik katkı sağladığı, ülke ekonomisine artan oranlarda katkı sağladığı ve maden sektöründeki gelişmelerde ülkemizin de anılmasını sağlayacağı gözden kaçırılmaması gerekir.

KAYNAKLAR

1) Fathi Habashi, Ahmet Deniz Baş, Madencilik Dergisi Cilt-52, Sayı-1, Recent Advances in Gold Metallurgy

2) BAYRAMGİL, O., 1945; "Mineralogishe Untersuchung der Erzlagerstaette von Işıkdağ (Türkei)", Schweiz, min. Pet. Mitt., Bd. 25. H. 1, S. 23-113.

3) RYAN. C.W., y1960; "A Guide to the Known Minerals of Turkey", Min. Res. Explor. Inst. Turkey, 196 p., Ankara.

4) NAHAL L, 1958; "The Mineral Industry of Turkey", U.S., Bur. Mines, Inform. Cire. 7855,140p.

5) GÜMÜŞ. A., 1970; "Türkiye Metalojenisi", MTA Enstitüsü Yayınları, N. 44,30S., Ankara.

6) KIRIKOGLU, M.S., 1987;"Türkiye Altın Oluşumları", I.T.Ü. Dergisi, C 45, Y.,45, S. 5-6, S. 16-21, İstanbul.

7) KIRIKOGLU, M.S., 1988 a; "Türkiye'nin Doğal Altın Kaynakları", Altın Haber, Y.1, S. 1, S. 6 - 7, İstanbul.

8) KIRIKOGLU, M.S., 1989 a; "Anadolu'da Altın", İnsan ve Kainat, Haziran -1989, Sayı 46, S. 57 - 59, İstanbul.

9) Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Türkiye ve Dünya'da Altın, Temmuz 2016

10) AGRICOLA, G., De Re Metallica, Dover Pub., Inc., New York, 1950

11) BATH, M.D., et al. Some Factors Influence Gold Recovery by Gravity Concentration, J.S.Afr. I.M.M., Vol. 73, 1973, pp. 363-384

12) PIZARRO, R.S. and SCHLITT, W.J., Innovative Technology for Improved Processing of Gold Ores, Min. Eng. Vol. 36, No: 11, 1984, pp. 1533-1536

13) FEATHER, CE. and KOEN, G.M., The Significance of MIneralogIcal and Surface Characteristics of Gold Grains In the Recovery Process, J.S.Afr. I.M.M., Vol. 73, 1973, pp. 223-234

14) BAYRAKTAR İ., Altın Cevherlerinin Zenginleştirilmesi ve Altının Ekstraksiyonu

15) GLEMBOTSKII, V.A., et al., Flotation, Primary Sources, New York, 1972, Part 6, Chapter 2

16) HENLEY, K.J., Gold-ore Mineralogy and Its Relation to Metallurgical Treatment, Mln. Sei. And Engng., Vol. 7, 1975, 289-312

17) HACIFAZLIOĞLU H., Istanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh.Böl. Kimyasal Zenginleştirme

18) SAYINER B., İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Ana Bilim Dalı, Siyanür Liçinde Altının Aktif Karbona Adsorpsiyonunda Çeşitli Elementlerin Etkisinin Araştırılması

19) Haque,K.E. (1992).The Role of oxygen in cyanide leaching of gold ore. CIM Bulletin September

20) Heinen, H.J., Peterson, D.G. ve Lindstrom,R.E. (1978). Processing gold ores using heap leach – carbon adsorpion methods, U.S. Breau of Mines

21) GIRGINC İ., Düşük Tenörlü Cevherlerden Yığın Liçi Yöntemiyle Altın ve Gümüş Kazanımı, Madencilik dergisi, Sayı:28

22) Nsimba, E.B. (2009) Cyanide and Cyanide Complexes in the Goldmine Polluted Land in the East and Central Rand Goldfields, South Africa. Teknik Rapor, Johannesburg. <wiredspace.wits.ac.za/bitstream/handle>.

23) Metaliferous Mining – Processing. Electrowinnig and smelting. Resource Book.

IV

Processing and Management of Mining Wastes

Madencilik Atıklarının İşlenmesi ve Yönetimi

AFYON İSCEHİSAR MERMER TOZ ATIKLARININ ÇEVRESEL OLUMSUZ ETKİLERİNİN KATMA DEĞERİ YÜKSEK SERAMİK MALZEMELERİN ÜRETİMİNDE KULLANILARAK AZALTILMASI

MINIMIZATION OF ADVERSE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF AFYON İSCEHİSAR MARBLE DUST WASTES BY USING IN THE PRODUCTION OF HIGH VALUE-ADDED CERAMIC MATERIALS

Meryem GÖKTAŞ[1*], Murat ERDEMOĞLU[2]

1: Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Makine/Metal Teknolojileri, Metalurji Programı, Bilecik, TÜRKİYE

2: İnönü Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Malatya, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: meryem.goktas@bilecik.edu.tr

ÖZET: Mermer insanlık tarihi boyunca yapı malzemesi olarak kullanılmış ve birçok alanda yaygın kullanımıyla büyük önem taşıyan madenlerimizden biri olmuştur. Günümüzde de dayanıklı ve prestijli yapı malzemesi olarak kullanımı artarak devam eden mermer, inşaat sektörünün ülkemizdeki gelişimine paralel olarak her geçen gün daha fazla talep görmektedir. Ülkemizde mermerin, üretimi ve yurt içindeki pazarlamanın yanı sıra, dünya standartlarındaki üretimi ile birçok dünya ülkesine ihracatı yapılmaktadır. Üretim ve tüketimdeki paralel artışa ek olarak mevcut kaynakların ekonomik kullanımının yanı sıra atıkların değerlendirilme olanaklarının araştırılması da büyük önem taşımaktadır. Üretim sırasında oluşan mermer atıklarının yeniden kullanımı veya geri dönüşümü; sınırlı olan doğal kaynakların kullanımını azaltarak, doğanın tahrip edilmesini önlemekte, üretimde verimliliği artırmaktadır. Ayrıca atık depolanması sonucu oluşacak çevre problemlerini de en aza indirmektedir. Mermer atıklarından özellikle mermer tozu atıkları çeşitli sanayii dallarında yeniden değerlendirilerek kullanılmaktadır. Bu nedenle mermer fabrikalarından çıkan toz mermer atıklarının değerlendirilebilmesi konusu önemli görülerek yapılan çalışmanın hem mermer sektörüne hem de ülke ekonomisine katkı sağlayacağı düşünülmüştür. Yapılan çalışmada, mermer toz atıklarının değerlendirilmesine yönelik şimdiye kadar

yapılan birçok araştırma incelenmiş ve mermer toz atıklarının kullanım olanakları araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda; Afyon-İscehisar mermer toz atıklarının karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışma ile katma değeri yüksek, seramik sanayinde kullanılan ve endüstriyel bir mineral olan vollastonitin mermer tozu katkısı ile yapay olarak üretilmesi sağlanmıştır. Böylece endüstriyel anlamda, bu çalışmada sözü edilen atık değerlendirme yöntemleri ile sadece çevresel etkilerin indirgenmesine yönelik değil ayrıca katma değeri yüksek seramik malzeme üretimine de katkı olacağı yorumu yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mermer toz atıkları, Çevresel olumsuz etkiler, Yeni malzeme üretimi, Vollastonit

ABSTRACT: *Marble has been used as building material throughout the history of mankind and has become one of the most important sources with its widespread use in many areas. Today, marble continues to be used as a durable and prestigious building material, and in line with the development of the construction industry in our country, marble is getting more and more demand every passing day. In our country, marble is exported to many world countries with its production in world standards as well as its production and domestic marketing. Parallel to the increase in the production and consumption, economic use of existing resources is also of great importance to investigate the possibilities of assessing waste. Re-use or recycling of marble waste produced during production reduces the fast consumption of limited natural resources, prevents the destruction of nature, and increases the productivity in production. In addition, environmental problems that will result from the storage of waste are also minimized. Marble waste, especially marble dust wastes are being re-evaluated in various industrial branches. For this reason, it is important to evaluate the powdered marble waste from the marble factories and it is thought that the work done will contribute to both the marble sector and the country's economy. In this study, studies on the evaluation of marble dust wastes have been surveyed up to now and usage possibilities of marble dust wastes were investigated. In accordance with this purpose; characterization studies Afyon-İscehisar marble dust wastes were performed by many methods. Also in this study, it was shown that it is efficiently possible to produce artificial wollastonite, an industrial mineral used in high value ceramic industry, by using marble dust waste and quartz as raw materials. It was concluded in the industrial*

sense that waste assessment methods, as described in the study, will contribute not only to the reduction of adverse environmental impacts of waste deposits but also to the manufacturing of high value added innovative ceramic materials.

Keywords: *Marble dust wastes, Adverse Environmental Impacts, Novel materials production, Wollastonite*

1. GİRİŞ

2016 yılında en fazla ihraç edilen maden ürün grupları arasında doğaltaşlar 1,805 milyar dolarla ilk sırada yer alır. 2015 yılında toplam ihraç edilen doğal taş miktarı 1.906 milyar dolar iken, 2016 da ihracat rakamlarında bir miktar düşme gözlenmiş olsa toplam maden ihracatımız içinde en fazla ihraç edilen ürün ham, kabaca yontulmuş veya blok doğaltaş-traverten olurken, işlenmiş doğaltaş ikinci olmuştur (İMİB, 2017). Türkiye'deki doğaltaş fabrikalarında işlenen doğaltaşların 2017 İMİB Ocak-Nisan ayı ülke mermer ihracat değerlerine göre ilk sırada ABD, ikinci sırada Suudi Arabistan ve üçüncü sırada Irak gelmektedir. Bunun yanında mermer-traverten ham, kabaca yontulmuş veya blok mermer ihracat değerleri incelendiğinde birinci sırada Çin Halk Cumhuriyeti, ikinci sırada Hindistan ve üçüncü sırada Vietnam yer almaktadır.

Ülkemiz, mermer kaynakları bakımından oldukça zengin bir potansiyele sahiptir. Mermer olarak kullanılabilecek niteliklerdeki kayaç oluşumları ülkemizin pek çok yerinde bulunmaktadır. Pek çok çeşit, renk, desen ve kalitede doğaltaş çıkarılan ülkemizde, rezervin büyük bölümü; Balıkesir, Afyonkarahisar, Bilecik, Denizli, Bursa, Muğla, Eskişehir, Uşak, Kırklareli ve Kırşehir'de bulunmaktadır (Çetin, 2003).

MTA Genel Müdürlüğü'nün 1966 yılında yapılan çalışmalarına göre Türkiye 5,1 milyar m^3 doğaltaş rezervi (görünür + muhtemel + mümkün) ile dünya doğaltaş potansiyelinin % 40'ına sahiptir. Toplam rezervi 13,9 milyar ton (yaklaşık 5,1 milyar m^3) olan Türkiye'nin 1,6 milyar ton civarındaki görünür rezervi, bugünkü temposuyla dünya tüketimini 80 yıl karşılayacak düzeydedir (MTA, 2014).

Türkiye'deki doğaltaş fabrikalarında işlenen doğaltaşların ortalama % 30'unun toz olarak elde edildiği ve değerlendirilemeden atıldığı anlaşılmaktadır (Yıldız ve Eskikaya, 1995). Doğaltaş tozu, en küçük boyutlu doğaltaş atıklarıdır. Doğaltaş işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi sırasında oluşan, öğütme işlemine tabi tutulmadan koloidal yapıda bulunan ve büyük çoğunluğu da 250μm'nin altında olan

doğaltaş tanecikleridir. Kesme işleminde su kullanılması nedeniyle suyla birlikte çökeltme havuzlarına taşınır. Havuzlarda çökelen doğaltaş tozu suları giderildikten sonra atık sahalarına alınmaktadır. Bu nedenle doğaltaş toz atıklarının değerlendirilmesi konusunda bulunabilecek alternatifler, doğaltaş fabrika işletmecilerine ve ülke ekonomisine kaynak sağlayacağı gibi artan mermer ocakları faaliyetlerinin kirletici özelliğini de tamamen ortadan kaldıracaktır.

Bu çalışmada, son yıllarda mermer toz atıkları üzerine yapılan çalışmalar incelenerek ve mermer toz atıklarının yeniden ve farklı kullanım olanakları araştırılmıştır. Afyon-İscehisar mermer toz atıklarının karakterizasyon çalışmaları yapılmış, katma değeri yüksek olan ve ayrıca seramik sanayinde kullanılan yapay vollastonit üretimi sağlanmıştır. Böylece mermer toz atık değerlendirme yöntemleri ile hem madencilik faaliyetleri sırasında ortaya çıkan mermer tozunun çevresel etkilerinin azaltılması, hem de katma değeri yüksek endüstriyel mineral olan ve seramik malzeme üretimine katkı sağlayan yapay vollastonit üretimi gerçekleştirilmiştir.

1.1 Doğal Taş Atıkları

Dünya çapında endüstriyel atıkların bertaraf edilmesi önemli bir sorundur. Buna ek olarak, bu atıkların biyolojik olarak parçalanamaz nitelikte oluşu sorunun ciddiyetini daha da arttırmaktadır. Atıkların depolanması için arsa, depolama alanlarının yetersizliği, artan nakliye masrafları vb. sorunlar atıkların değerlendirilebileceği alternatif endüstrilere yönelmeyi zorunlu kılmıştır.

Mermer farklı açık ocak işletmeciliği yöntemleri kullanılarak üretimi yapılıp, 15-20 tonluk bloklar halinde kesilmektedir. Ocaktan çıkarılan mermer kesilip, işlenmek üzere fabrikalara veya atölyelere taşınır. Gerek ocak sırasında gerekse kesme sırasında mermer atıkları ortaya çıkar.

Mermer fabrika ve atölyelerde çeşitli boyut ve kalınlıklarda kesilir, kesme işlemi kesicinin ısınmasını ve toz oluşumunu önlemek amacıyla su ile yapılır. Fabrika ve atölyelerde üretimde kullanılan makine ve üretim biçimine göre artıklar meydana gelmektedir. Bunlar; şerit üretimine yönelik yapılan kesimlerde, testere kesme soketinin sebep olduğu toz haline gelmiş, mineralojik ve kimyasal hiçbir değişime uğramayan ve 1mm–500 mikron boyutunda olan mermer ve doğal taş parçacıklarıdır ya da kalibrasyon ve parlatma esnasında parlatma taşlarının mermer yüzeyinde sürtünmesi sonucu toz

haline gelmiş, mineralojik ve kimyasal hiçbir değişime uğramayan 500 mikrondan küçük olan mermer ve doğal taş parçacıklarıdır. Bu işlem sırasında su ile birleşen toz atıklar mermer atık çamurunu oluşturur. Mermer tozu da dediğimiz toz artıklar ise üretim aşamasında kullanılan su ile birlikte çamur oluşturmaktadır. Bu çamur, arıtma tesislerine gönderilerek su ve toz parçacıkları birbirinden ayrıştırılmaktadır. Daha sonra toz parçacıkları preslenerek, olabildiğince susuzlaştırılmakta ve artık depo alanlarına taşınarak çevreye bırakılmaktadır.

Çevreye bırakılan bu atık malzemeler insan ve çevre sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle oluşan atık işletmeler içinde önemli bir sorun oluşturmaktadır. Sürekli arttığı için depolanması işletmeler için sorun yaratan atıkların değerlendirilmesi; hem çevre sağlığı, hem çevre temizliği ve hem de ekonomik açıdan kazanç sağlayacaktır.

1.2 Mermer ve Doğal Taş İşletmelerinde Oluşan Atıkların Kullanım Alanları

Ocaktaki üretim sırasında oluşan mermer atıkları her büyüklükte yol, gölet, baraj gibi yapılanmalarda dolgu ve alt yapı malzemesi olarak, kırıcılardan geçirilerek, beton sektöründe agrega (kum ve çakıl karışımı) olarak, çimento üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılabilmektedirler.

Fabrikalarda ve atölyelerdeki üretim sırasında oluşan mermer atıkları ise, $CaCO_3$ bakımından zengin kayaçlar mikron mertebesinde öğütülerek mikronize kalsit olarak, kağıt endüstrisinde, dolgu ve kaplama malzemesi olarak, sır endüstrisinde mermer artık tozları, saf feldspatla pişirildiğinde feldspatın 1280ºC olan erime sıcaklığını düşürerek camsı bir yapı oluşturur. Bu özellik mermer toz artıklarının sır endüstrisinde yaygın kullanımını sağlamaktadır. Yine boya endüstrisi ince boyutlu $CaCO_3$ (kalsiyum karbonat)'ın en çok tüketildiği alanlardan biridir. Ancak mermer toz artıklarının boya üretiminde kullanılabilmesi için, $CaCO_3$ oranının min. % 97 olması gerekir. Dünyada plastik ihtiyacının artması sonucu üreticiler, kaliteyi düşürmeden maliyeti azaltmak için 1970'li yıllardan itibaren plastik endüstrisinde dolgu malzemesi olarak kullanmaya başladığı minerallerden birisi $CaCO_3$'dır. Tarım Sektöründe; asidik özellik gösteren topraklara kalsiyumlu gübreler uygulanmaktadır. Bu gübrelerin üretiminde en çok tercih edilen ise $CaCO_3$'dır. Yem endüstrisi; mermer toz artıkları tavuk yemi imalatında kullanılabilmektedir. Hava kirliliğinde; filtre malzemesi olarak kullanılabilmektedir.

Derz dolgu malzemesi (fuga) üretiminde; yer ve duvar seramiklerinin, doğal ve dökme taş malzemelerinin kaplanmasından sonra oluşan derz boşluklarının doldurulmasında kullanılabilmektedir.

Yapılan çalışmada, mermer toz atıklarının bu sektörler dışında seramik seköründe de kullanılabileceği ve katma değeri yüksek endüstriyel hammadde olan vollastonit üretiminde kullanılabileceği üzerinde durulmuştur.

1.3 Doğal Taş Atıklarının Yeniden Kullanımına Yönelik Yapılan Çalışmalar

Doğal taş atıklarının değerlendirilmesine yönelik son on yılda yapılan çalışmalarda doğal taş atıklarının birçok alanda tekrar kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Özellikle doğaltaş atıkları inşaat sektöründe alternatif bir yapı malzemesi olarak kullanılabileceği gibi; sıva harcı karışımlarında, dolgu malzemesi olarak, mozaik üretiminde, kaplama ve döşemelerde, kireç üretiminde, mıcır olarak, paledyen olarak, karayolu ve demir yollarında kullanım alanı bulmaktadır. Yine doğaltaş atıkları hem Normal Portland çimentosu klinkeri hem de Beyaz Portland çimentosu üretiminde kullanılmaktadır (Demir, 2001).

Böylece, inşaat endüstrisi ve çimento sanayi için yapılan çalışmalarda da belirtildiği gibi atık lastikler, silis, cam, cüruf, gölet külü, metakaolin gibi malzemeler nehir kumu, doğal agrega gibi sürdürülebilir diğer ekonomik malzemelerin bir kısmının veya tamamının yerini alabilir. Yine bu atıkların inşaat malzemesi olarak geri dönüşümü sürdürülebilir bir uygulama alanı yaratmıştır. Doğaltaş atıklarının betonda uygulanabilirliği üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Rana vd., 2015).

1994-2016 yılları arası yayımlanmış doğal taş atıklarının betona katkı malzemesi olarak eklendiği 49 makalenin ayrıntılı analizi yapılmış ve geçirgenlik, klorür göçü gibi direnç, dayanıklılık parametreleri, gözeneklilik, su emme, karbonasyon, asit ve sülfat direnci gibi çeşitli test sonuçları incelenmiştir. Doğaltaş atığı içeren betonun dayanıklılığı incelendiğinde kullanılan inşaat malzemesi ile aynı özellikleri taşıdığı hatta dayanımı arttırdığı görülmüştür (Rana vd., 2015).

Atık mermer ağırlıkça farklı oranlarda kullanılarak betonlar üretilmiştir. Üretilen betonlarda su, çimento sabit tutularak agrega yerine ağırlıkça %5, 10, 15, 20, 25 oranlarında atık mermer kullanılmıştır. Üretilen betonların yoğunlukları, su emmesi, basınç dayanımları ve ısı iletkenlikleri belirlenmiştir. Atık mermer oranı arttıkça

betonlarda bir düşüş görülmekte fakat hedeflenen basınç dayanımlarına ulaştıkları görülmektedir. Atık mermerlerin beton sektöründe değerlendirilmesi ile ekonomiye ve çevreye olumlu katkı sağlayacaktır (Sarıkaya vd., 2014).

Doğal taş atıkları inşaat sektöründe agrega veya yol ve deniz dolgu maddesi olarak etkin bir şekilde kullanılarak geri dönüşümünün yapılabilir, bunun yanı sıra paladyenlerin dolgu maddesi ve agrega olarak kullanılabileceği doğaltaş tozunun ise kimya ve tarım sanayiinde kullanılabilirliği önerilmiştir (Karaca ve ark. 2012). Doğal taşların kesimi sırasında oluşan çamur artıklarının inşaat sektöründe agrega, dolgu maddesi ve çeşitli yapı malzemeleri üretmek için kullanılabilir (Careddu ve Sioto (2015),çamur atığı ise inşaat sektörlerinde geri dönüştürülebilirler. Kalsiyum karbonat mermer ve kireç taşı işlemesinden elde edilen atıklar kireç, tıbbi malzeme, çimento, kağıt, boya, kozmetik ve soda olarak kullanılır. Aynı zamanda endüstriyel atıklar için asit nötralizatör olarak, kükürt giderme de ve baca gazlarından ağır metal emilmesi amacıyla kullanılabilir.

Bir diğer yapılan çalışmada ise, yüksek fırın cürufu nehir kumu ile birlikte mermer ve granit agregasının geri dönüşümünün etkisi incelenmiştir. Çalışmada incelenen karışımlarda Çimento-su oranı (w/c) 0.40 olarak belirlenmiştir ve geri dönüştürülmüş agrega betonun pürüzsüz dokusu nedeniyle kullanımda daha fazla uygulanabilir olduğu sonucu elde edilmiştir (Binici vd., 2008).

Granül ve toz halindeki doğal taş atıklarının kullanımı ile ilgili çeşitli çalışmalarda, üretimde hammadde olarak, tuğla ve beton içerisindeki katkı maddeleri olarak derz dolguları, üretim ve toprak stabilizasyonu, ve agrega olarak, asfalt döşeme, toprak stabilizasyonu için yaygın olarak kullanılırlar. (Sivrikaya vd.,2014).

Toz doğaltaş atıklarının kullanıldığı diğer kullanım alanları ise zirai kireçtaşı-zirai toprak ve zemin ayarlayıcı (stabilizatör), yem ve mineralli besinler, sıva katkı malzemesi, kireç üretimi, kalsine dolomit üretimi, cüruf yapıcı malzeme, refrakter malzeme, asit nötrleştirme, cam üretiminde, kağıt üretiminde, şeker rafinasyonunda, baca gazından kükürdün giderimin de ve üzerinde durulan seramik sanayisine yarar sağlayacağı düşünülen yapay kalsiyum silikatlardan olan vollastonit üretimidir (Göktaş, 2013).

2. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmada; aşırı öğütülmüş kuvars kumu ve mermer tozu karışımları kullanılarak yapay kalsiyum silikatlardan olan ve seramik endüstrisinde kullanılan, katma değeri yüksek endüstriyel minerallerden vollastonit elde edilmesi planlanmıştır.

Hem endüstriyel minerallerin aşırı öğütülmesi sonucu yapılarındaki değişikliklerin araştırmasına, hem de vollastonitin daha düşük maliyetle üretimi ile ülke ekonomisine katkı sağlamak amacıyla, bu çalışmada mermer tozu örnek mineral olarak seçilmiştir. Metamorfik kökenli doğal taş işleyen ve CaO miktarı yaklaşık %55,86 olan doğaltaş kesme ve parlatma işlemleri sırasında ortaya çıkan atık sularını sedimantasyon yöntemiyle arıtarak doğaltaş toz atıklarını kek halinde elde eden, mümkün olduğunca beyaz doğaltaş işleyen fabrikaların çoğunluklu bulunduğu Afyon İscehisar Mermer Kalkınma Kooperatifi'nden numuneler alınmıştır. Numunelerin vollastonit üretiminde kullanılabilme imkanı araştırılmak üzere suyu uzaklaştırılmış ve doğaltaş tozu karışımından konileme dörtleme yöntemi ile numuneler alınmıştır. Elde edilen doğaltaş tozu numunesi Eczacıbaşı Esan Firması'na ait kuvars tozu numunesiyle beraber farklı oranlarda ve farklı öğütme koşullarında kuru öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Öğütme işlemi; gövdesi ve bilyaları porselenden imal edilmiş Gabbrielli 2B Fast Mill marka (sabit hız ayarında çalışan, eksenel hareketle dönen ve seramikte sır hazırlama da kullanılmak üzere tasarlanmış) değirmen, 1000 cm^3 hacminde porselenden üretilmiş havan ve havanla aynı malzemeden üretilmiş (değişik çapta toplam 400 g ağırlığında) 25 adet alubit bilya kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Referans örneklerin hazırlanması amacıyla testler 3 aşamalı olarak ve aşağıdaki verilen sıra ile yapılarak optimum koşullar saptanmış ve bir sonraki test aşamasına geçilmiştir.

(1) Üretim Geliştirme:

-Sıcaklık Etkisi: (1/1,1 oranında, 5 saat) 900, 1000, 1100, 1200°C

-Süre Etkisi: (1/1,1oranında, 1200°C) 1, 2, 3, 4, 5 saat

-Oran Etkisi: 1/1,0, 1/1,1, 1/1,2

(2) Hammadde Öğütme:

-CaO/SiO_2 oranı=1/1,1 olan karışımlar, Bilya/Yük : 5, 10, 20 oranlarında öğütülmüştür

-CaO/SiO_2 oranı=1/1,1 olan ve 1, 2, 3, 4, 5 saat öğütme sonuçlarında elde edilmiştir.

(3) Isıl İşlem:

Öğütülmüş ve öğütülmemiş 1/1,1 oranlarındaki karışımların ısıl işlemleri: 900, 1000, 1100, 1200°C'de 2 saatte oluşan tanelerin temel özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Öğütülmüş karışım malzemeleri tepkimesi amacıyla değişik sıcaklıklarda (1000, 1100 ve 1200°C'de) ısıl işlem çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem çalışmaların da Nüve marka MF120 model kül fırını ve porselen krozeler kullanılmıştır. Rigaku marka RadB model XRD-X-ışınları difraktometri cihazı kullanılarak Cu Kα (λ = 1,5405 Å) radyasyon ortamında, 2 min^{-1} tarama hızında ve 3-80° aralığında değişen difraksiyon açılarında öğütülmemiş ve öğütülmüş tüm hammadde ve ürünlerinin mineralojik karakterizasyonu yapılmıştır (Göktaş, 2013).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

CaO/SiO_2 oranı 1/1 olacak biçimde doğaltaş tozu ve kuvars tozu kullanılarak hazırlanan karışımın XRD analizinde kuvars ve kalsiyum karbonata ait mineralojik izler belirgin şekilde izlenmiştir. Aynı biçimde hazırlanan ve daha sonra 5 saat öğütülen karışımın XRD deseninde ise kuvarsa ait pik genişliklerinde çok az bir büyümenin olduğu ancak genel olarak kuvarsın kristal özelliklerini koruduğu görülmüştür.

Öğütülmüş karışımın XRD desenlerinde kalsiyum karbonata ait piklerin genişliklerinde ise belirgin şekilde bir genişlemenin ve pik şiddetlerinde ise kısalmaların olduğu gözlenmiştir. Ayrıca öğütme işleminin, yapılan SEM analizlerinde elde edilen görüntüler de XRD verilerini desteklenmiştir. Elde edilen veriler ışığı altında kalsiyum karbonatın kristal yapısını bozarak amorf gibi davranmasına yol açtığı görülmüştür (Göktaş, 2013).

Tane boyu dağılım eğrilerindeki değişimler incelendiğinde ise, öğütülmemiş karışımdaki tanelerin %10'unun -3 µm (d_{10} = -3 µm), %50'sinin -23µ m (d_{50} =-23 µm), %90'ının ise -71 µm (d_{90} = -71 µm) olduğu anlaşılmıştır. 120 dakika öğütme süresine kadar değirmene beslenen numunenin %10'unun tane boyu -2 µm (d_{10} = -2 µm), %50'sinin tane boyu -16 µm (d_{50} = -16 µm), %90'ının tane boyu ise -62 µm (d_{90} = -62 µm) bulunmuştur. Ancak 180 dakikadan daha uzun sürelerdeki öğütme işlemlerinde örneğin 180 dakika öğütülen karışımın %10'unun tane boyunun -1,7µm, %50'sinin tane boyunun -23,3 µm, %90'ının tane boyunun ise -94,2 µm bulunmasıyla daha kısa sürelerdeki öğütmelerde bulunan d_{10}, d_{50} ve d_{90} değerlerinden daha büyük tane

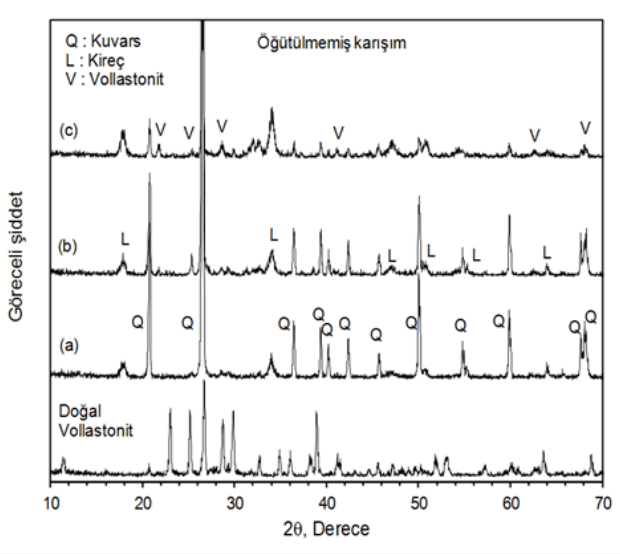
boylarının ortaya çıktığı fark edilmiştir. Tane boyundaki artışın uzun süre öğütmelerde aglomerasyondan kaynaklandığı düşüncesini ortaya çıkarmaktadır. Mineraller fazla öğütmeye maruz bırakıldıklarında d_{90} eğrisinde dalgalanmalar görülmüştür. Bunun nedeni ise spesifik yüzey alanının artışının yanında oluşan mekanik aktivasyondan dolayı sonraki prosesi etkileyecek olan kimyasal ya da fizikokimyasal dönüşümlere maruz kalmalarındandır (Baláž, 2003).

Öğütmenin kavurma sırasındaki kütle kaybı üzerine etkisinin belirlenmesi için öğütülmemiş ve CaO/SiO_2 oranı=1/1,1 olan ve Bilya/Karışım ağırlıkça oranı 10 olan öğütme ortamında 5 saat öğütülmüş doğaltaş tozu – kuvars tozu karışımları çeşitli sıcaklıklarda beş saat kavurulmuş ve elde edilen ürünün kütlesi, kavurma öncesinde karışımda bulunan kalsiyum karbonatın başlangıç kütlesine oranlanarak kütle kaybı miktarı hesaplanmıştır. Kalsiyum karbonatın; $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ tepkimesi gereğince tam kalsinasyona uğrayarak kirece dönüşmesi durumunda kütle kaybı stokiyometrik olarak en çok %44 olmaktadır. Doğaltaş tozunun ~%99 $CaCO_3$ ve bunun yanında diğer karbonatları da içerdiği ve ayrıca kuvars tozunda da bir miktar kalsiyum karbonat bulunabileceği dikkate alındığında kütle kaybı değeri %44'den biraz yüksek olabilecektir.

Öğütülmemiş karışımın 1000°C ve 1100°C sıcaklıklarda kavrulmasıyla elde edilen ürünlerde hala kalsine olmamış kalsiyum karbonat bulunduğu, kütle kaybı miktarı %44 düzeyine yükselmiş olduğundan, 1200°C'de tüm karbonatın kalsine olduğu anlaşılmaktadır. Öğütülmüş karışımın ilk iki sıcaklıktaki kütle kaybı ise yaklaşık %39 olmuştur. 1200°C'de ise kayıp %45,05'e ulaşmıştır. Bu değişim, öğütülmüş karışımdaki karbonatın daha düşük sıcaklıklarda parçalanması şeklinde ortaya çıkmıştır. Buna göre, birlikte öğütme işleminin, aynı zamanda doğaltaş tozu – kuvars tozu karışımının vollastonitin oluşum sıcaklığını düşürdüğü sonucu ortaya çıkarılmıştır. Öğütme işleminin karışımdaki karbonatın ısıl işlem sıcaklığını önemli oranda değiştirildiği sonucuna varılmıştır. Başka bir ifadeyle, öğütülmemiş karışıma kıyasla öğütülmüş karışımda ısıl işlem verimi daha yüksek olmakta ve daha düşük sıcaklıklarda kalsine ürün alınabilmektedir.

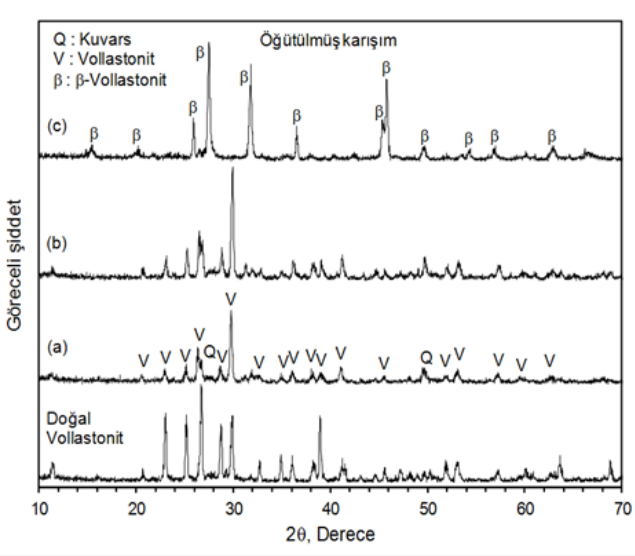
Şekil 1'de öğütülmemiş doğaltaş tozu ve kuvars kumu karışımının 1000, 1100 ve 1200°C'de beş saat kavurulması sonucu elde edilmiş ürünlerin ve doğal vollastonitin (triklinik) XRD pikleri karşılaştırılmaktadır. 1000 ve 1100 °C'de gerçekleştirilen

kavurma işlemleri sonucunda üründe sadece kalsitin kalsinasyonuyla oluşan CaO-kirece ve kuvarsa ait pikler görülmektedir (Şekil 1a ve b). Bu sıcaklıklarda elde edilen ürünlerde vollastonite rastlanmamıştır. Öğütülmemiş karışımın 1200 °C'de beş saat kavurulmasıyla elde edilen üründe ise kuvars ve kirecin yanında ayrıca vollastonit de bulunduğu görülmektedir (Şekil 1.c).



Şekil 1. Öğütülmemiş doğaltaş tozu-kuvars tozu karışımının (a) 1000 °C, (b) 1100 °C ve (c) 1200 °C'de kavrulmasıyla elde edilen ürünlerin ve doğal vollastonitin XRD desenlerinin karşılaştırılması

$CaCO_3/SiO_2$ oranı 1/1 olacak biçimde hazırlanan doğaltaş tozu ve kuvars tozu karışımının beş saat öğütülmesinden sonra 1000, 1100 ve 1200 °C'de beş saat kavurulmasıyla elde edilen ürünlerin ve doğal vollastonitin XRD desenleri Şekil 2'de karşılaştırılmaktadır. Öğütülmüş karışımın 1000 °C de beş saat kavurulmasıyla elde edilen üründe kireç bulunmamaktadır. Ürün, vollastonittir. Bu vollastonitin kristal sistemi "trikliniktir". Bu üründe kuvarsa ait iki pik de görülmekle birlikte en azından kristal yapılı kirece ait herhangi bir ize rastlanmamıştır (Şekil 2. a). 1100 °C'de kavurmayla elde edilen ürün ise 1000 °C'de elde edilenle benzer içeriğe sahip olmakla birlikte daha fazla kristal yapılı vollastonit içermektedir (Şekil 2. b). 1200 °C'de elde edilen ürün, önceki iki üründen tamamıyla farklı olarak vollastonitin yüksek sıcaklık fazı olan ve psödo-vollastonit de denilen β -vollastonit içermektedir (Şekil 2. c). Bu üründe triklinik vollastonite ait herhangi bir ize rastlanmamıştır.



Şekil 2. Öğütülmüş doğaltaş tozu-kuvars tozu karışımının (a) 1000 °C, (b) 1100 °C ve (c) 1200 °C'de kavrulmasıyla elde edilen ürünlerin ve doğal vollastonitin XRD desenlerinin karşılaştırılması

4. SONUÇLAR

Ülkemiz mermer rezervi bakımından oldukça zengin potansiyele sahip olup, mermer madenciliği doğal dengeyi bozan, insan ve çevre üzerinde olumsuz etkileri oldukça fazla olan madencilik faaliyetlerinden biridir. Bu nedenle çevreye duyarlı madencilik faaliyetleri ile yapılan üretim yöntemleri ve atıkların katma değeri yüksek malzeme üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması son yıllarda sürdürülebilir endüstriyel kalkınmanın vazgeçilmez gerekliliği haline gelmiştir**.**

Bu çalışmada, kavurma sırasında kimyasal tepkime sıcaklığını düşürmek ve böylece oluşacak yapay kalsiyum silikatlardan olan vollastonit ($CaSiO_3$) gibi değerli bileşenlerin daha uygun koşullarda kazanılması araştırılmıştır. Bunun sonucu olarak da; doğaltaş atık çamuru ve kuvars kumu gibi hammaddeler aşırı öğütülerek karışımdaki karbonatın ısıl işlem sıcaklığını önemli oranda değiştirmiştir. Yani ısıl işlem verimi arttırılıp, bunun yanında daha düşük sıcaklıklarda kalsine ürün elde edilmiştir. Yapılan analizler sonucu, öğütülmemiş karışımın 1200 °C'de beş saat kavurulmasıyla elde edilen üründe kuvars ve kirecin yanında ayrıca vollastonitin de olduğu görülmüştür. Öğütülmemiş karışım 1100 °C'de kavrulmasına rağmen, önemli miktarda kalsiyum karbonat ve kireç içerdiği gözlemlenmiştir. Ancak, öğütme işlemi ısıl işlem sıcaklığını daha düşük sıcaklıklara çekerek, vollastonitin oluşum sıcaklığını da düşürmüştür.

Sonuç olarak; doğaltaş toz atıklarının değerlendirilmesi konusunda bugüne kadar yapılan çalışmaların yeterli olmaması sebebiyle bu potansiyelin kullanımı, uygulamada mevcut değildir. Bu nedenle; çalışmada, bu potansiyelin kullanımı ve ülke ekonomisine katkı sağlaması amacıyla öğütme maliyeti ve ısıl işlem gibi verilerin saptanması ile pratikte uygulanabilir yeni bir kullanım alanı doğmuştur. Yine, mermer atıklarının katma değeri yüksek ve seramik sanayiinde kullanılabilecek malzeme olan vollastonit üretimine yönelik değerlendirme imkanı oluşabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

Baláž, P., 2003. "Mechanical Activation in Hydrometallurgy'', International Journal of Mineral Processing, 72, 341-354.

Binici, H., Shah, T., Aksogan, O., Kaplan, H., 2008. Durability of concrete made with granite and marble as recycle aggregates. J. Mater. Process. Technol. 208 (1), 299e308.

Careddu, N., Marras, G., 2015. Marble processing for future uses of CaCO3-microfine dust: a study on wearing out of tools and consumable materials in stone working factories. Miner. Process. Extr. Metall. Rev. 36 (3), 183e191.

Çetin, T., 2003. "Türkiye Mermer Potansiyeli, üretimi ve İhracatı", G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, C.3, S. 3.

Demir, İ., 2001. Mermer Tozu ve Atıklarının Kullanım Alanları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi.

Göktaş, M., 2013. Mermer Sanayi Atıklarından Yapay Kalsiyum Silikat Üretiminde Aşırı Öğütmenin Etkilerinin Seramik Malzemeler Üzerinde Araştırılması. Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 249.

İMİB, 2017. http://www.imib.org.tr/tr/istatistikler-2/

Karaca, Z., Pekin, A., Deliormanlı, A.H., 2012. Classification of dimension stone wastes. Environ. Sci. Pollut. Res. 19 (6), 2354e2362.

MTA Genel Müdürlüğü, 2014. "MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni", ISBN:978-605-5310-67-7

Rana, A., Kalla,P., Verma, H.K., Mohnot, J.K., 2016. Recycling of dimensional stone waste in concrete: A review. Journal of Cleaner Production 135 (2016) 312e331.

Sarıkaya, H., Altındağ, R.,Kılınçaslan, Ş., Sarıkaya, H., 2014. Mermerli Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Ulusal Mermer ve Doğal Taş Ocakları Onarım Teknikleri Sempozyumu, sayfa no 269, 18-20 Eylül 2014, Isparta.

Sivrikaya, O., Kıyıldı, R.K., Karaca, Z., 2014. Recycling waste from natural stone processing plants to stabilise clayey soil. Environ Earth Sci (2014) 71:4397–4407.

Yıldız, Ö., Eskikaya, Ş., 1995. Afyon Doğaltaşi Toz Atıklarının Değerlendirilmesi, Türkiye I. Doğaltaş Sempozyumu, 1 , sayfa no 45-52.

RECOVERY OF CYANIDE FROM EFFLUENTS USING CARBON DIOXIDE

KARBON DİOKSİT İLE ATIK ÇÖZELTİLERDEN SİYANÜR GERİ KAZANIMI

Elif YILMAZ, Fırat AHLATCI, Ersin Y. YAZICI*, Oktay CELEP, Hacı DEVECI

Hydromet B&PM Research Group, Karadeniz Technical University, Department of Mining Engineering, Trabzon, TURKEY

*: Corresponding Author: eyazici@ktu.edu.tr

ABSTRACT: Cyanidation effluents are treated in order to reduce the cyanide level down to regularity limits. Cyanide recovery is the most desired route for treatment of effluents of high cyanide consuming ores, in particular, due to economic and environmental incentives. In this study, carbon dioxide (CO_2) was utilised as an alternative for acidification of cyanide solutions prior to absorption/recovery of hydrogen cyanide ($HCN_{(g)}$) in alkaline solutions. Kinetic tests have indicated that reaction time is an important parameter for the recovery of cyanide, which reached 89.1% over a period of 90 min. Effects of concentration of cyanide (0.5-1.5 g/L NaCN), flow rate of carbon dioxide (0.38-1.15 L/min. CO_2) and time (30-90 min.) on the recovery of cyanide (%) were investigated in detail by a two-level full factorial design (2^3). The statistical evaluation of the data showed that flow rate of carbon dioxide and time were statistically significant parameters. Efficiency of the process was not affected by the concentration of cyanide. The results demonstrated that high recoveries of cyanide up to 93.1% could be achieved under suitable conditions. Introduction of air (1.15 L/min.) as a carbon dioxide source was found to be inefficient and require longer reaction periods for high recoveries i.e. no recovery at 90 min. vs. 95.4% at 24 h. A separate test performed using a real pregnant leaching solution (PLS) yielded a cyanide recovery of 49.7%. These finding demonstrated that using carbon dioxide can be used for acidification of cyanide solutions for cyanide recovery.

Keywords: Cyanide recovery, Carbon dioxide, Acidification, Experimental design.

ÖZET: *Siyanür liçi işlemleri sonucu üretilen atık çözeltiler, siyanür içeriğinin yasal sınırlara indirilebilmesi için arıtma işlemine tabi tutulmaktadır. Siyanür geri kazanımı ekonomik ve çevresel nedenlerden dolayı, özellikle siyanür tüketimi yüksek cevherler için en çok tercih edilen seçenektir. Bu çalışmada, alkali çözeltilerde hidrojen siyanürün ($HCN_{(g)}$) absorpsiyonu/geri kazanımı öncesinde siyanür çözeltilerinin asitleştirilmesi amacıyla karbon dioksit (CO_2) kullanılmıştır. Yapılan kinetik testler, reaksiyon süresinin siyanür geri kazanımında önemli bir rol oynadığını göstermiştir (90 dk.'da %89,1 siyanür geri kazanımı). Siyanür konsantrasyonu (0,5-1,5 g/L NaCN), karbon dioksit akış debisi (0,38-1,15 L/dk. CO_2) ve süre'nin (30-90 dk.) siyanür geri kazanımı (%) üzerindeki etkisi iki seviyeli tam faktöriyel deney tasarımı kullanılarak araştırılmıştır. Verilerin istatistiksel analizi karbon dioksit akış hızı ve süre'nin istatistiksel olarak anlamlı parametreler olduğunu göstermiştir. Siyanür konsantrasyonunun prosesin etkinliği üzerinde bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, uygun koşullarda %93,1'e varan yüksek siyanür geri kazanımlarına ulaşılabileceğini göstermiştir. Karbon dioksit kaynağı olarak hava (1,15 L/dk.) kullanılmanın etkin olmadığı ve yüksek verimler için daha uzun süre gerektiği bulunmuştur (15 dk.'da kazanım sıfır iken 24 saatte %95,4 olmuştur). Gerçek bir yüklü liç çözeltisinden yapılan testte %49,7 verim elde edilmiştir. Elde edilen bulgular karbon dioksitin siyanürlü atık çözeltilerin asitleştirilmesinde ve siyanürün geri kazanımında kullanılabileceğini göstermiştir.*

Anahtar Kelimeler: *Siyanür geri kazanımı, Karbon dioksit, Asitleştirme, Deney tasarımı.*

1. INTRODUCTION

Over a century, leach plants utilise cyanide to extract gold/silver from ores (Celep 2015, Marsden &House 2006). The non-selective nature of cyanide leaching results in contamination of leach solutions with other metals e.g. copper, zinc and iron (Bas et al., 2012; Deschênes and Prud'homme, 1997). Effluents generated in leach plants should be treated due to environmental concerns with regard to toxic effects of cyanide (Akcil, 2002, Botz et al., 2005, Johnson, 2015, Mudder and Botz, 2004). Regulatory bodies force to reduce the cyanide level (CN_{WAD}) down to <10 mg/L prior to discharge into tailings dam (Official Gazette, 2015). Chemical oxidation methods using SO_2/Air and

H_2O_2 are commonly preferred for destruction of free cyanide (CN^-) and metal-cyanide complexes (particularly weak acid dissociable (WAD) cyanides, log$K$≤30) to convert/oxidise them into non-toxic compounds i.e. cyanate (OCN^-) (Johnson, 2015; Kuyucak and Akcil, 2013; Mudder and Botz, 2001; Yazıcı, 2005; Yazıcı et al., 2006). There are also several cyanide recovery/recycling methods available, which allow recovery and reuse of cyanide in leaching (Demopoulos and Cheng, 2004; Fleming, 2005; Ritcey, 2005; SGS, 2009). One of the most common processes developed for cyanide recovery/recycling is AVR *(acidification-volatilisation-reabsorption)*. Similar processes (i.e. CRP ve Cyanisorb) were also developed based on the principles of AVR (Adams and Lloyd, 2008; Mudder and Botz, 2001). AVR process simply relies on the acidification (<pH 5) of cyanide effluent using H_2SO_4 (Eq. 1), volatilisation of HCN gas (Eq. 2) and its subsequent absorption in an alkaline solution (NaOH or $Ca(OH)_2$) to form NaCN or $Ca(CN)_2$ solution (Eq. 3) (Gönen et al., 2004; Riveros et al., 1996; Vapur and Bayat, 2007). Formation of HCN under E_h and pH conditions is shown in Figure 1.

$$2CN^- + H_2SO_4 \rightarrow 2HCN(s) + 2SO_4^{-2} \quad \text{(Acidification)} \quad (1)$$

$$HCN(s) \rightarrow HCN(g) \quad \text{(Volatilisation)} \quad (2)$$

$$HCN(g) + NaOH \rightarrow NaCN + 2H_2O \quad \text{(Reabsorption)} \quad (3)$$

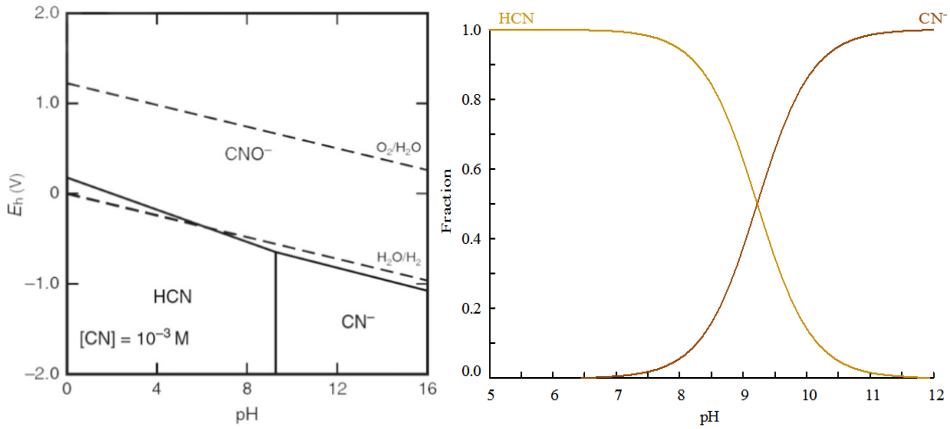


Figure 1. E_h-pH diagram of CN-H_2O system (left) (Marsden and House, 2006) and pH dependent speciation of cyanide (right) (pK_a=9.31) (Medusa, 2009) ($[CN^-]_T$: 10^{-3} M, 25°C)

Recently, SART process *(sulphidisation-acidification-recycling-thickening*) is developed to recover cyanide and copper (as a by-product) from high copper containing leach solutions (Adams 2013; Dai et al., 2012; Xie et al., 2013). The major benefit of

cyanide recovery/recycling is its contribution to process economics. A significant saving could be achieved in operating costs if cyanide recovery is preferred over cyanide destruction methods (Fleming, 2003). Cyanide recovery processes such as AVR process suffer from high consumption of acid to acidify alkaline leach solutions (pH 10.5-11). Solid/liquid separation is also required in this process since the presence of solids decreases its efficiency by prolonging HCN volatilisation and increases acid consumption by up to 10-fold depending on the presence of acid-consuming minerals in the ore (Fleming, 2010). Therefore, alternative approaches are needed for efficient and cost-effective acidification processes for cyanide recovery.

In this study, carbon dioxide (CO_2) was utilised for acidification of cyanide solutions prior to absorption/recovery of hydrogen cyanide ($HCN_{(g)}$) in alkaline solutions. Effects of concentration of cyanide (0.5-1.5 g/L NaCN), flow rate of carbon dioxide (0.38-1.15 L/min. CO_2) and time (30-90 min.) on the recovery of cyanide (%) were investigated in detail by a two-level full factorial design. The efficiency of the method was tested on a real cyanide solution. The use of air as carbon dioxide source was also tested.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Reagents and Experimental Set-up

Sodium cyanide (≥99.0% NaCN), silver nitrate (≥99.5% $AgNO_3$) and sodium hydroxide (≥99.0% NaOH) were used to prepare solutions in deionised-distilled water. Free cyanide was analysed using silver nitrate titration with p-dimethylaminobenzylrhodanine (0.02% w/w in acetone) as indicator. A digital burette was used in the titration.

Cyanide recovery tests were performed using the system illustrated in Figure 2. Carbon dioxide (99.99% CO_2) was sparged into the reactor containing 200-mL cyanide solutions (initial pH ≈11) at predetermined flow rates controlled by a flow meter. Cyanide solution in the reactor was acidified by carbon dioxide and volatilised HCN gas was transferred into the subsequent three-stage absorption units. A preliminary test showed that pH of cyanide solution (1.5 g/L NaCN) rapidly falls below 6 in 5 min. Concentrated solutions of sodium hydroxide (4 M NaOH) and a saturated solution of lime were used in the absorption reactors. After the termination of each test, acidified

cyanide solution was neutralised using NaOH. Neutralised cyanide solutions and solutions in absorption reactors were analysed for free cyanide to calculate cyanide recoveries (%). The tests were performed at room temperature. A separate test was also performed using a real leach solution (LS) under the conditions of 1.15 L/min CO_2 over 90 min. The LS was derived from cyanide leaching of a pyritic gold/silver concentrate (d_{80}=40 µm) under the conditions of 35% w/v solids ratio at pH 10.5-11 over 24 h. The LS was analysed to contain 716 mg/L Cu and 456 mg/L Zn with an initial free cyanide content of 1.25 g/L NaCN. Initial and final metal content of the PLS was analysed using an atomic absorption spectrometer (Perkin Elmer AAnalyst 400).

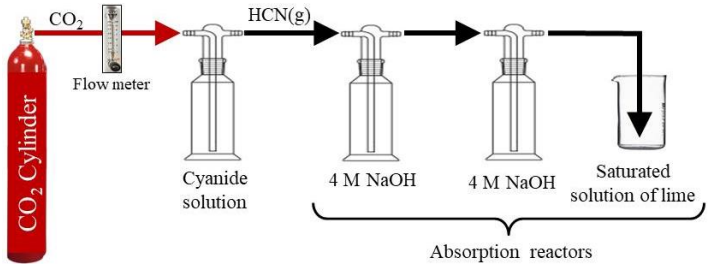


Figure 2. Experimental set-up used in the cyanide recovery tests

2.2 Experimental Design

A two-level full factorial design was adopted to investigate the effects of initial concentration of cyanide (0.5-1.5 g/L NaCN), flow rate of carbon dioxide (0.38-1.15 L/min. CO_2) and time (30-90 min.) on recovery of cyanide (%) (Table 1). The results were evaluated using a statistical software i.e. Design-Expert (2010).

Table 1. Investigated parameters with levels

Parameters	Levels	
	Low (-1)	High (+1)
A - Concentration of NaCN (g/L)	0.5	1.5
B - Flow rate of carbon dioxide (L/min.)	0.38	1.15
C - Time (min.)	30	90

3. RESULTS AND DISCUSSION

Figure 3 shows the kinetics of recovery of cyanide from a solution of 2 g/L NaCN over a period of 90 min. at 1.15 L/min. CO_2. Cyanide recovery was 36.3% in the first 15 min. and it increased to 89.1% by prolonging the reaction period to 90 min. This indicated the significance of reaction time for the performance of cyanide recovery process.

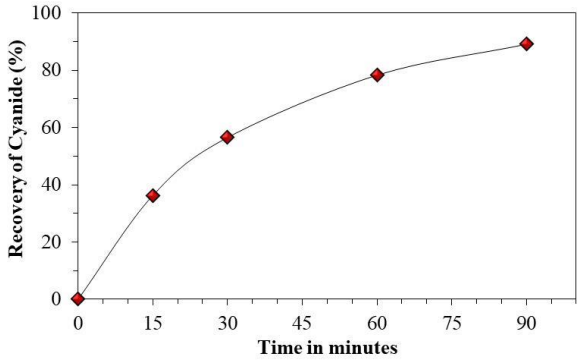


Figure 3. Kinetics of cyanide recovery using carbon dioxide (1.15 L/min. CO_2, 2 g/L NaCN)

The mechanism of cyanide recovery by carbon dioxide relies on the acidifying effect of carbon dioxide. Carbon dioxide dissolves in water (Eq. 4) and produce carbonic acid (H_2CO_3) (Eq. 5), bicarbonate (HCO_3^-) (Eq. 6) and carbonate (CO_3^{2-}) ions (Eq. 7). Hydrogen ion (H^+) is generated during these reactions leading to acidification of solutions (Benjamin, 2001; Marsden and House, 2006). pH-dependent speciation of carbonate ion is presented in Figure 4. Carbonate ion (CO_3^{2-}) is the dominant form in alkaline pHs of above ≈10. Bicarbonate (HCO_3^-) is stable in the pH range of 6.4-10. Carbonic acid (H_2CO_3) starts to dominate the medium below ≈pH 6.4. HCN starts to volatilise (Eq. 2, Figure 1) from the medium by the decrease in pH where HCO_3^- and H_2CO_3 are dominant. Since these reactions (Eqs. 5-7) are reversible, the system (CO_2(weak acid)/HCO_3^-(weak base)) reaches a dynamic equilibrium i.e. buffering the medium and stabilise pH. The acidifying effect of CO_2 present in air also leads HCN volatilisation in tailings ponds (Dobrosz-Gómez et al., 2017).

$$CO_2(g) + H_2O \leftrightarrow CO_2(a) + H_2O \quad (4)$$

$$CO_2(a) + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \quad (5)$$

$$H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^- \qquad pK_{a1}=6.35 \quad (6)$$

$$HCO_3^- \leftrightarrow H^+ + CO_3^{2-} \qquad pK_{a2}=10.33 \quad (7)$$

It is relevant to note that, in a previous study (Yazıcı et al., 2009) air oxidation of cyanide (100 mg/L CN^-, initial pH 12.5) was studied in a similar system used in the current study. The authors noted that pH had a tendency to decrease apparently by the transfer of carbon dioxide in air into the solution. They observed that at <pH 10.5 cyanide is readily volatilised from the solution and entrapped in the absorption reactor.

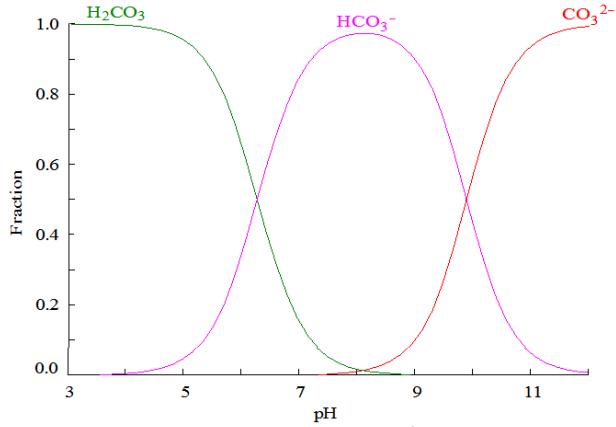


Figure 4. pH dependent speciation of carbonate ion ($[CO_3^{2-}]_T$: 0.1 M, 25°C) (Medusa 2009)

The influence of concentration of NaCN (0.5-1.5 g/L), flow rate of carbon dioxide (0.38-1.15 L/min. CO_2) and time (30-90 min.) on the recovery of cyanide (%) was investigated using a two-level full factorial design (2^3). Experimental conditions of each run with corresponding responses (i.e. recovery of cyanide, %) are shown in Table 2. Cyanide recoveries were found to vary between 42.4% and 93.1% indicating that high recoveries could be achieved under suitable conditions (Table 2).

Table 2. Experimental layout showing the conditions with corresponding results for the recovery of cyanide (%)

Exp. No	Parameters with levels			Recovery of Cyanide (%)
	A	B	C	
	Conc. of NaCN (g/L)	Flow rate of CO_2 (L/min.)	Time (min.)	
1	0.5	0.38	30	45.9
2	1.5	0.38	30	42.4
3	0.5	1.15	30	65.1
4	1.5	1.15	30	65.6
5	0.5	0.38	90	69.6
6	1.5	0.38	90	67.3
7	0.5	1.15	90	93.1
8	1.5	1.15	90	92.7

The statistical evaluation of the data indicated that among all the regression terms, only linear terms of time (C) and flow rate of CO_2 (B) were found to be significant with high contributions of 56% and 44%, respectively, on the cyanide recovery (Figure 5). Initial concentration of cyanide solution was found to be statistically insignificant. The analysis of variance (ANOVA) for the regression model (excluding the insignificant terms) was presented in Table 3.

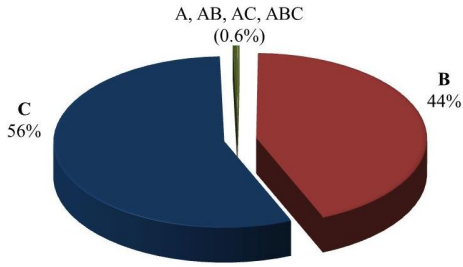


Figure 5. The contribution (%) of the terms on the recovery of cyanide (%)

The regression model and terms (B and C) were statistically significant at 99.9% confidence level (α=0.001). The regression model is shown in Eq. 8. The positive terms of the model implied that increasing the flow rate of carbon dioxide and time improves the recovery of cyanide. The coefficient of multiple determinations (R^2) of the model was calculated to be 99.4%.

Table 3. Analysis of variance (ANOVA) for the regression model of cyanide recovery

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Average squares	F value	P value
Model	2388	2	1194	420	< 0.0001
B - Flow rate of CO_2	1044	1	1044	367	< 0.0001
C - Time	1344	1	1344	472	< 0.0001
Error	14	5	3		
Total	2402	7			

Recovery of Cyanide (%) = 67.71 + 11.42 * B + 12.96 * C (8)

The simultaneous effect of flow rate of carbon dioxide (B) and time (C) on the cyanide recovery (%) can be clearly seen from the surface plot (Figure 6). The parameters had a synergistic effect on the cyanide recovery suggesting that high recoveries could be achieved if high flow rate of carbon dioxide is maintained at prolonged periods.

Introduction of air (1.15 L/min.) as a carbon dioxide source was also tested under the conditions of 0.5 g/L NaCN over 90 min. In contrast to high cyanide recovery (i.e. 93.1%, Exp. 7) by using carbon dioxide (Table 2), cyanide recovery was negligible over 90 min. (Figure 7). This could be attributed to the limited availability of CO_2 in air. However, prolonging the reaction period to 24 h. substantially improved the cyanide recovery to 95.4% (Figure 7). This suggested that air could be also used in cyanide recovery as a source carbon dioxide at the expense of low reaction kinetics.

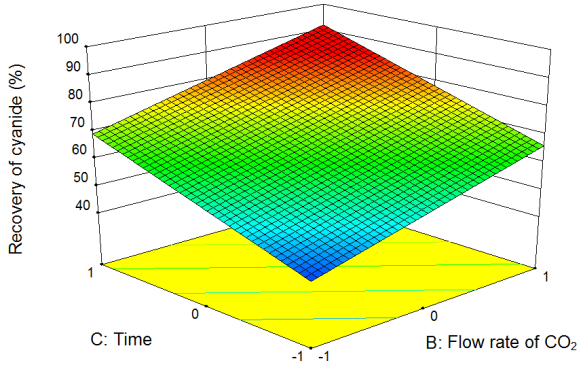


Figure 6. Surface plot showing the simultaneous effect of flow rate of carbon dioxide (B) and time (C) on the cyanide recovery (%)

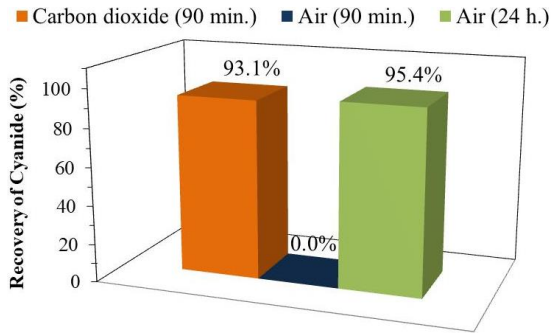


Figure 7. The effect of air on the recovery of cyanide (Gas flow rate: 1.15 L/min., 0.5 g/L NaCN)

Separate tests on a real leach solution (LS) (1.15 L/min. carbon dioxide, 90 min) yielded a cyanide recovery of 49.7%. No precipitation of metals was noted during the test. This implied that pH was not sufficiently low to release cyanide from metal-cyanide complexes. The dissociation of metal-cyanides with regard to pH is shown in Figure 8. Strong acid dissociable cyanides (SAD; log$K$>30) like Au, Co and Fe is very stable even at low pHs while weak acid dissociable cyanides (WAD; log$K$≤30) (e.g. Zn and Cu) starts to release their complexed cyanide relatively at higher pHs. It may be inferred that prolonging the reaction period may further decrease pH and hence improve cyanide recoveries despite the fact that copper-cyanide and SAD cyanides would be still stable unless acidic conditions (<pH 4) are not achieved (Figure 8).

4. CONCLUSIONS

Treatment of cyanide effluents is pre-requisite for environmental reasons. Cyanide recovery is preferred over chemical destruction due to economic and environmental

benefits. In this current study, use of carbon dioxide was investigated to acidify cyanide solutions in order to volatilise HCN gas and absorb/recover in the subsequent stage. The results showed the importance of reaction period for achieving high recoveries. A two-level full factorial design experiments showed that a high recovery of 93.1% could be achieved under suitable conditions. The flow rate of CO_2 and reaction time were found to be statistically significant parameters for cyanide recovery. Air could be used as a carbon dioxide source, but, cyanide recovery occurs very slowly in the presence of air compared with carbon dioxide e.g. no recovery at 90 min. *vs.* 95.4% at 24 h. The process (1.15 L/min. CO_2, 90 min.) was also tested on a leach solution (LS) with a relatively low cyanide recovery of 49.7%. This could be attributed to the failure to achieve sufficient acidity to break down some WAD/SAD cyanides present in LS. The findings demonstrated that carbon dioxide could be used for acidification of cyanide solutions for cyanide recovery.

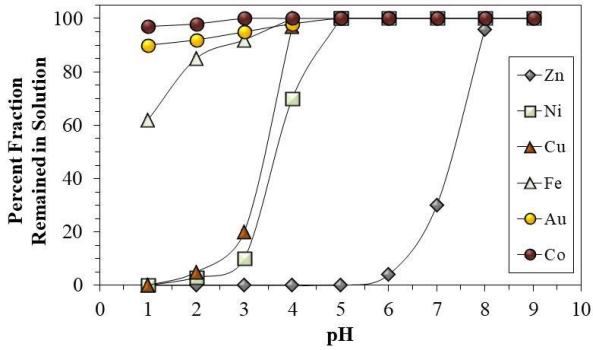


Figure 8. pH dependent dissociation of metal-cyanide complexes (Marsden and House, 2006)

REFERENCES

Adams, M., Lloyd, V., 2008, Cyanide recovery by tailings washing and pond stripping. Minerals Engineering, 21: 501-508.

Adams, M.D., 2013, Impact of recycling cyanide and its reaction products on upstream unit operations. Minerals Engineering, 53: 241-255.

Akcil, A., 2002, First application of cyanidation process in Turkish gold mining and its environmental impacts. Minerals Engineering, 15: 695-699.

Bas, A.D., Yazici, E.Y., Deveci, H., 2012, Treatment of a copper- rich gold ore by ammonia assisted cyanide leaching, XXVI. International Mineral Processing Congress (IMPC), New Delhi, pp. 356-365.

Benjamin, M., 2001, Water chemistry. McGraw-Hill, 668 pages.

Botz, M.M., Mudder, T.I., Akcil, A.U., 2005, Cyanide treatment: Physical, chemical and biological processes. In: Mike, D.A., Wills, B.A. (Eds.), Developments in Mineral Processing. Elsevier, pp. 672-702.

Celep, O., 2015, Altın cevherlerinin zenginleştirilmesi. Türkiye Alim Kitapları, 220 pages.

Dai, X., Simons, A., Breuer, P., 2012, A review of copper cyanide recovery technologies for the cyanidation of copper containing gold ores. Minerals Engineering, 25: 1-13.

Demopoulos, G.P., Cheng, T.C., 2004, A case study of CIP tails slurry treatment: comparison of cyanide recovery to cyanide destruction. The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection (EJMP&EP), 4: 1-9.

Deschênes, G., Prud'homme, P.J.H., 1997, Cyanidation of a copper-gold ore. International Journal of Mineral Processing, 50: 127-141.

Design-Expert, 2010, DOE Software, Stat-Ease Inc., Minneapolis, USA, 8.0.7.1, USA.

Dobrosz-Gómez, I., García, B.D.R., GilPavas, E., García, M.Á.G., 2017, Kinetic study on HCN volatilization in gold leaching tailing ponds. Minerals Engineering, 110: 185-194.

Fleming, C.A., 2003, The Economic and environmental case for recovering cyanide from gold plant tailings, SGS Minerals Services, Technical Paper #2003-02.

Fleming, C.A., 2005, Cyanide recovery. In: Mike, D.A., Wills, B.A. (Eds.), Developments in Mineral Processing. Elsevier, pp. 703-727.

Fleming, C.A., 2010, Cyanide management in the gold industry, SGS Minerals Services, Technical Paper #2010-04.

Gönen, N., Kabasakal, O.S., Özdil, G., 2004, Recovery of cyanide in gold leach waste solution by volatilization and absorption. Journal of Hazardous Materials, 113: 231-236.

Johnson, C.A., 2015, The fate of cyanide in leach wastes at gold mines: An environmental perspective. Applied Geochemistry, 57: 194-205.

Kuyucak, N., Akcil, A., 2013, Cyanide and removal options from effluents in gold mining and metallurgical processes. Minerals Engineering, 50–51: 13-29.

Marsden, J., House, I., 2006, The chemistry of gold extraction. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, USA, 688 pages.

Medusa, 2009, Software for chemical equilibrium diagrams, 32 bit version. Royal Institute of Technology, Sweden.

Mudder, T.I., Botz, M.M., 2001, The chemistry and treatment of cyanidation wastes. Mining Journal Books Ltd, London, 393 pages.

Mudder, T.I., Botz, M.M., 2004, Cyanide and society: a critical review. The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection (EJMP&EP), 4: 62-74.

Official Gazette, 2015, Regulation on Mining Wastes, Ministry of Environment and Urbanisation, Turkey, 15.07.2015, Issue: 29417.

Ritcey, G.M., 2005, Tailings management in gold plants. Hydrometallurgy, 78: 3-20.

Riveros PA, Molnar AR, Baša F (1996): Treatment of a high-cyanide waste solution for cyanide and metal recovery. CIM Bulletin 89, 153-156.

SGS, 2009: Cyanide Recovery. T3 SGS 019, Technical Paper, SGS Minerals Services.

Vapur, H., Bayat, O., 2007, Prediction of cyanide recovery from silver leaching tailings with AVR using multivariable regression analysis. Minerals Engineering, 20: 729-737.

Xie, F., Dreisinger, D., Doyle, F., 2013, A Review on recovery of copper and cyanide from waste cyanide solutions. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 34: 387-411.

Yazıcı, E.Y., 2005, Removal of cyanide from wastewaters using hydrogen peroxide, activated carbon adsorption and ultrasonic waves. M.Sc. Thesis, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey (in Turkish).

Yazıcı, E.Y., Deveci, H., Alp, I., Uslu, T., Celep, O., 2006, Factors affecting decomposition of cyanide by hydrogen peroxide., XXIII. Int. Mineral Processing Congress (IMPC), Istanbul, Turkey, 3-8 September, pp. 2439-2444.

Yazıcı, E.Y., Deveci, H., Alp, I., 2009, Treatment of cyanide effluents by oxidation and adsorption in batch and column studies. Journal of Hazardous Materials, 166: 1362-1366.

MERMER ARTIKLARININ MACUN DOLGUDA SÜLFÜRCE ZENGİN ATIK MALZEMEYE İKAME OLARAK KULLANIMI

UTILIZATION OF MARBLE WASTE AS PARTIAL REPLACEMENT OF SULPHIDE-RICH TAILINGS IN CEMENTED PASTE BACKFILL

Tekin YILMAZ*, Bayram ERÇIKDI, Ferdi CİHANGİR

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: yilmaz.tekin@ktu.edu.tr

ÖZET: Bu çalışmada sülfürce zengin atık malzeme yerine farklı oranlarda mermer artığı (MA) ikamesinin çimentolu macun dolgunun (CPB) basınç dayanımına ve asit oluşumuna etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, 3 farklı ikame oranı (%5, %10 ve %15) ve iki farklı bağlayıcı oranında (%7,5-8,5) toplam 63 adet CPB numunesi hazırlanmış ve 7-90 günlük kür süresinde basınç dayanımı testleri ve pH analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, kür süresinin artmasıyla bütün CPB numunelerinin (Kontrol ve MA ikameli) basınç dayanımları artarken pH değerleri azalmıştır. Bütün kür sürelerinde ve bağlayıcı oranlarında, MA ikamesi arttıkça numunelerin basınç dayanımı artmış ve daha düşük asit oluşumu gerçekleşmiştir. MA ikamesinin basınç dayanımı ve pH değişimine etkisi değerlendirildiğinde, sadece %8,5 bağlayıcı oranı ve %15 ikameli numuneler kontrol numunesine kıyasla daha yüksek basınç dayanımı üretirken, pH değerleri tüm ikame oranları ve bağlayıcı oranlarında kontrol numunesinden daha yüksek çıkmıştır. Sonuç olarak sülfürce zengin atık içerisinde öğütülmüş MA kullanımının macun dolgunun basınç dayanımını ve asit oluşumuna karşı direncini arttırdığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mermer artığı, Basınç dayanımı, pH analizi, Çimentolu macun dolgu

ABSTRACT: *In this study, effect of partial replacement of marble waste (MW) to sulphide-rich tailings on the compressive strength (UCS) and acid generation (pH) of cemented paste backfill (CPB) were investigated. For this purpose, a total of 63 CPB samples were prepared at three different replacement levels (5, 10 and 15 wt.%) and*

two different binder dosages (7.5 and 8.5 wt.%) and the UCS tests and pH analyses of samples were performed at 7-90 days of curing times. When the results were examined, the UCS of whole samples (Control and replacement of MW) increased with increasing the curing times, while, pH values of those decreased. As the replacement level of MW increased, the UCS of samples increased and the lower acid generation occurred at all binder dosages and curing times. When the effect of replacement of MW on the UCS and pH changing were commentated, the only samples having 8.5 wt.% of binder dosage and 15 wt.% of replacement level of MW produced higher UCS than Control samples, whilst, the higher pH values than Control samples were obtained at all replacement levels and binder dosages. As a result, it was determined that the utilization of ground MW in sulphide-rich tailings were enhanced the UCS and resistance of CPB against the acid generation.

Keywords: *Marble waste, Compressive strength, pH analysis, Cemented paste backfill*

1. GİRİŞ

Cevher zenginleştirme atıklarının son yıllarda çimentolu macun dolgu (CPB) teknolojisi ile yeraltında cevheri alınmış boşluklarda depolanması; teknik, ekonomik ve çevresel açıdan birçok fayda sağladığı için birçok yeraltı madeni için madencilik faaliyetlerinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır (Yumlu, 2010; Erçıkdı vd., 2012; Erçıkdı vd., 2015).

Çimentolu macun dolgu (CPB), ince boyutlu (<20µm malzeme miktarı en az %15) cevher zenginleştirme atıkları (ağırlıkça katı oranı %75-85), bağlayıcı (katı miktarına göre ağırlıkça %2-9) ve istenen akışkanlığı ve katı oranını (%70-80) sağlamak için ilave edilen suyun başarılı bir karışımı olarak ifade edilmektedir (Ercikdi vd., 2014; Yılmaz ve Ercikdi, 2016).

Bu atıkların, macun dolgu yöntemi ile yeraltı üretim boşluklarına doldurulmasının başlıca faydaları; i) yeraltına yerleştirilen dolgunun tahkimat görevi görmesi ve yan odaların üretimi esnasında emniyetli çalışma koşulları sağlaması, ii) tahkimat amaçlı bırakılan büyük boyutlu topukların üretilerek cevherin kazanılması (Fall ve Samb, 2009), iii) yerüstü tasman oluşumunu engellemesi, iv) tesis atıklarının %65-70'inin yeraltında depolanması ile yerüstü atık depolama ve rehabilitasyon maliyetlerinin azaltılması (Benzaazoua vd., 2002) ve atmosferik koşullar altında

depolanması durumunda çevresel problemlere (AMD oluşumu vb.) yol açabilecek sülfürlü atıkların emniyetli bir şekilde depolanabilmesidir (Çetiner vd., 2006).

Çimentolu macun dolgu yönteminin sağladığı yararlara rağmen cevher zenginleştirme atığı pirit gibi yüksek sülfür içeriğine sahip mineraller içeriyorsa özellikle uzun dönemde oksidasyon kaynaklı genleşme özelliğine sahip ikincil minerallerin oluşmasından dolayı duraylılık problemleri ile karşılaşmak söz konusu olabilmektedir (Ercikdi vd., 2015). Son yıllarda çimentolu macun dolgunun dayanım ve duraylılığını iyileştirmek, asit ve sülfat etkisine karşı dolgunun direncini arttırmak ve bağlayıcı maliyetlerini azaltmak gibi sebeplerden dolayı macun dolgu karışımı içerisine puzolanik özelliğe sahip olmayan (mermer artığı vb.) veya doğal ve/veya yapay puzolanların katılması son derece yaygın hale gelmiştir.

Mermer artığı (MA) endüstriyel olarak mermerin kesilip şekil verme ve parlatma işlemleri sırasında elde edilen inert (etkisiz/tesirsiz) bir malzemedir ve ciddi bir çevresel probleme sebep olabilmektedir. Mermer artığının çeşitli alanlarda ve uygulamalarda güçlendirici malzeme veya hammadde olarak kullanımı konusunda birçok çalışma bulunmaktadır. Önceki araştırmacılar kompoze çimento üretiminde (Aruntaş vd., 2010), beton üretiminde (Aliabdo vd., 2014) ve tuğla endüstrisinde (Bilgin vd., 2012) ilave malzeme olarak MA'nın kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Diğer araştırmacılar daha duraylı beton karışımı üretiminde (Binici vd., 2008) ve asfalt yol kaplamalarında (Akbulut ve Gürer, 2007) agrega olarak iri mermer artığı kullanımının etkinliğini değerlendirmişlerdir. Bazı araştırmacılar, bağlayıcı malzeme (çimento) yerine çeşitli oranlarda (%5-35) MA ikamesi içeren kendinden yerleşen betonların mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Ergün (2011) ve Aliabdo vd. (2014) yaptıkları çalışmalarda çimento yerine %5-10 oranında MA kullanarak hazırladıkları beton numunelerinin basınç dayanımlarının arttığını gözlemlemişler ve bu dayanım artışını; beton içerisindeki boşlukların MA tarafından doldurulmasıyla betonun porozitesinin azalması ile ilişkilendirmişlerdir. Benzer sonuçların Topcu vd. (2009) tarafından elde edildiği çalışmada 200 kg/m^3'e kadar MA kullanımının kendinden yerleşen betonun kısa ve uzun dönem dayanımını arttırarak porozitesinin düşmesini sağladığı belirtilmiştir. Ayrıca Tozsin vd. (2014) asidik topraklar üzerinde MA'nın nötralizasyon potansiyelini araştırmışlar ve mermer artığının asit nötralize edici malzeme olarak kullanılabileceğini tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada iki farklı bağlayıcı oranında (%7,5 ve %8,5) Portland çimentosu (PÇ: CEM I 42,5R) kullanılarak sülfürce zengin cevher zenginleştirme atığı yerine ağırlıkça belirli oranlarda (%5-15) öğütülmüş mermer artığı (MA) kullanımının çimentolu macun dolgunun (CPB) basınç dayanımı ve asit oluşumuna etkisi belirli kür süresi (7, 28 ve 90 gün) boyunca incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Atık ve Bağlayıcı Malzeme

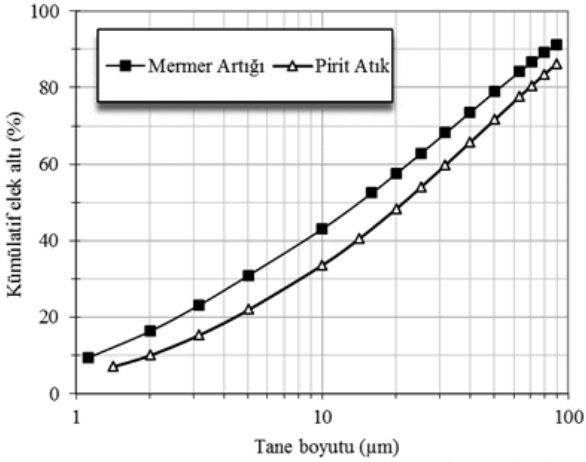
Atık malzeme (pirit atık); Eti bakır Kastamonu – Küre işletmesi cevher hazırlama tesisi çıkışından alınmış ve 500 kg kapasiteli varillere doldurularak Macun Dolgu Laboratuvarına getirilmiştir (Şekil 1). Cevher zenginleştirme işlemi sonucu oluşan atık içerisindeki pirit bazen geri kazanılarak piyasaya verilmektedir. Bu yüzden içerisinden pirit kazanılmış atık, pirit atık olarak adlandırılmıştır.

Şekil 1. Atık malzemelerin cevher hazırlama tesis çıkışından alınması

Malvern Mastersizer ile atık malzeme üzerinde yapılan tane boyut dağılımı analizi sonucuna göre 20 µm altı malzeme miktarı ağırlıkça %48,41 olarak belirlenmiştir (Şekil 2). 20µm altı malzeme miktarlarına göre pirit atığın orta boyutlu (-20µm: %35-60) macun dolgu malzemesi sınıfında yer aldığı belirlenmiştir.

Atık malzemenin kimyasal bileşimini belirlemek için spektrofotometre ve atomik adsorbsiyon spektrometre (AAS) yöntemleri kullanılmış ve sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir. Atık malzemenin kimyasal bileşimine bakıldığında baskın olarak demir (III) oksit (Fe_2O_3), silisyum dioksit (SiO_2) minerali içerdiği ve sülfür (S=%16,88) içeriğinin yüksek olduğu görülmektedir. Atık malzemenin X- ışınları difraktometre (XRD) cihazı kullanılarak elde edilen mineralojik bileşimine bakıldığında genel olarak

atık içerisinde kuvars, muskovit, albit, klorit gibi silikat grubu minerallerinin ve baskın olarak pirit (FeS_2= %31,65) mineralinin bulunduğu belirlenmiştir. (Çizelge 1).



Şekil 2. Atık malzeme ve mermer artığının tane boyut dağılımı

Deneysel çalışmalarda bağlayıcı olarak; Aşkale Çimento Sanayii A.Ş. Trabzon Çimento Fabrikası'ndan temin edilen Portland çimentosu (CEM I 42,5R) kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan bağlayıcı malzemeye ait fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

2.2 Mermer Artığı (MA)

Macun dolgu karışımı içerisinde yer alacak ve atık malzeme yerine belirli oranlarda kullanılacak olan mermer artığı (MA) ilk olarak atık malzemenin tane boyut dağılımına eşdeğer olacak şekilde boyut küçültme işlemlerine (kırma ve öğütme) tabi tutulmuştur. Bu amaçla sahadan +20 cm boyutunda getirilen MA öncelikle çeneli kırıcı giriş açıklığı boyutuna uygun olacak şekilde balyoz yardımıyla -10 cm boyutuna kırılmış (Şekil 3a) ve çeneli kırıcıya beslenerek -2mm boyutunda malzeme elde edilmiştir (Şekil 3b). Çeneli kırıcı ile kırılan ve öğütme işlemine hazır hale getirilen MA, öğütme işleminden önce içerisinde bulunan doğal neminin uzaklaştırılması için laboratuvarda bulunan etüvde yaklaşık 50^0C sıcaklıkta kurutulmuştur. Kurutma işleminden sonra MA, sülfürce zengin atık malzemenin tane boyutuna eşdeğer olacak şekilde bilyalı değirmende kuru öğütmeye tabi tutulmuştur. Öğütme sonrası (Şekil 3c) Malvern Mastersizer ile malzemenin tane boyut dağılımı analizi yapılmış ve Şekil 2'de verilmiştir.

Mermer artığının kimyasal bileşimini belirlemek için spektrofotometre ve atomik adsorbsiyon spektrometre (AAS) yöntemleri kullanılmış ve sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir. MA'nın kimyasal bileşimine göre Kalsiyum oksit (CaO) içeriğinin yüksek olduğu belirlenmiştir. X- ışınları difraktometre (XRD) cihazı kullanılarak elde edilen mineralojik bileşimine bakıldığında malzeme içerisinde baskın olarak kalsit ($CaCO_3$) mineralinin bulunduğu görülmektedir. (Çizelge 1).

Şekil 3. Mermer artığının boyut küçültme işlemleri (kırma ve öğütme)

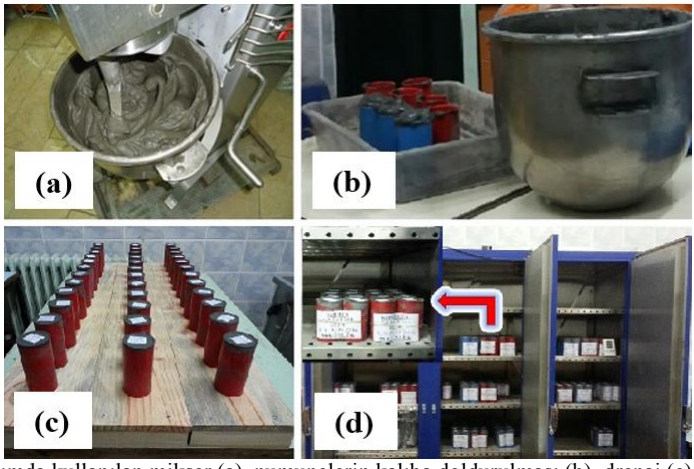
Çizelge 1. Atık, bağlayıcı ve MA'nın fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri

Özellikler	Pirit atık (%)	CEM I 42,5R (%)	Mermer artığı (%)
Kimyasal bileşim			
SiO_2	31,68	20,57	1,09
Al_2O_3	9,13	4,81	0,48
Fe_2O_3	33,06	3,67	0,09
MgO	3,99	1,35	0,16
SO_3	-	2,97	-
CaO	3,50	65,27	55,74
Na_2O	0,79	0,41	<0,01
K_2O	0,38	0,85	0,05
TiO_2	0,67	0,45	0,01
P_2O_5	<0,01	0,13	<0,01
MnO	0,08	0,11	<0,01
Cr_2O_3	0,035	0,075	0,005
Serbest CaO	-	1,19	0,01
Kızdırma kaybı	16,0	2,1	43
Toplam	99,33	99,90	99,97
Sülfür içeriği (S^{-2}) (%)	16,88	-	-
Pirit içeriği (FeS_2) (%)	31,65	-	-
Fiziksel özellikler			
Özgül ağırlık (g/cm^3)	3,37	3,14	2,70
Özgül yüzey alanı (cm^2/g)	4440	4335	4670
Mineralojik bileşim	Pirit Kuvars Albit Kalsit Klorit	C_3S =58,44 C_2S =14,95 C_3A =6,54 C_4AF =11,16	Kalsit

2.3 Numunelerin Hazırlanması

Atık malzeme (Pirit atık), bağlayıcı malzeme (CEM I 42,5R), mermer artığı ve karışım suyu kullanılarak %7,5-8,5 çimento oranı ve atık malzemeye ikame olarak ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında 19,05 cm slamp değerine sahip macun dolgu karışımları hazırlanmıştır. Bağlayıcı malzeme (çimento) karışıma, deneylerde kullanılan slamp değerlerine karşılık gelen katı oranlarına göre hesaplanarak ilave edilmiştir. Macun dolgu karışımının istenen akışkanlığa (kıvama) gelmesi için karışım içerisine gerekli miktarda musluk suyu ilave edilmiştir. Karışımın homojen bir şekilde hazırlanması için 20,8 lt kapasiteli Univex SRMF 20 model mikser kullanılmıştır (Şekil 4a). Karıştırma işlemi 105 devir/dk'lık dönme hızında 7 dakika süreyle yapılmıştır.

Hazırlanan macun dolgu karışımı 5x10 cm (çap x boy) boyutlarındaki drenajlı silindirik numune kalıplarına dökülmüştür (Şekil 4b). 5x10 cm boyutlu silindirik kalıplarda hazırlanan macun dolgu numuneleri, içerisinde bulunan fazlalık suyunun drene olması için 24 saat süre ile drenaj masalarında bekletilmiştir (Şekil 4c). Bu sürenin sonunda numuneler önceden belirlenen kür süreleri (7, 28 ve 90 gün) boyunca dolgu numunelerinin yeraltındaki kür koşullarını yansıtması amacıyla açık şekilde yaklaşık %85 nem oranına ve 20^0C sıcaklığa sahip macun dolgu kür odasında yer alan kür dolabında kür işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 4d). Her bir kür süresi için 3 adet olmak üzere; macun dolgu numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı ve asit oluşumuna etkisinin araştırılması amacıyla 63 adet numune hazırlanmış ve deneysel çalışma koşulları Çizelge 2'de özetlenmiştir.



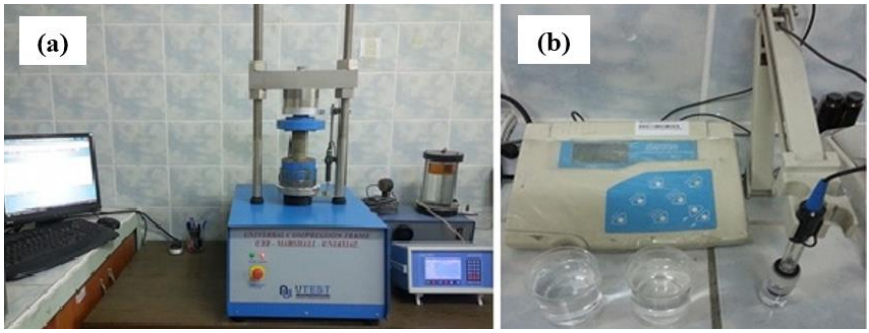
Şekil 4. Karışımda kullanılan mikser (a), numunelerin kalıba doldurulması (b), drenaj (c) kür işlemi (d)

Çizelge 2. Macun dolgu numunelerine ait deneysel çalışma koşulları

Karışım tipi	İkame oranı (Ağr. %)		Bağlayıcı oranı (Ağr. %)	Katı oranı (Ağr. %)	Slamp değeri (cm)	Kür süresi (gün)
	Atık	MA				
Kontrol (PÇ)	100	0,0	8,5	73,70	19,05	7 28 90
Mermer artığı (MA)	95	5	8,5 - 7,5*	73,97-73,71*		
	90	10		74,33-73,82*		
	85	15		74,70-73,94*		

2.4. Basınç Dayanımı Testi

Macun dolgu numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı testi, Şekil 5a'da görüldüğü üzere önceden belirlenen kür süreleri sonunda yük kapasitesi 50kN ve 1,0 mm/dk'lık bir yükleme hızına sahip UTEST marka bilgisayar kontrollü basınç ve deformasyon ünitesinde ASTM C 39 (2012) tarafından önerilmiş yönteme göre gerçekleştirilmiştir. Her bir kür süresi için 3 adet numune test edilmiş ve sonuçlar bu numunelerden elde edilen değerlerin ortalaması olarak alınmıştır.



Şekil 5. Basınç dayanımı testi (a) ve pH analizi (b)

2.5 pH Analizi

Atık malzemenin yüksek oranda pirit içermesinden dolayı piritin bozunması ve buna bağlı asit oluşumunun macun dolgunun dayanım ve duraylılığına etkisini araştırmak amacıyla bütün kür sürelerinde (7, 28 ve 90 gün) basınç dayanımı testini takiben pH analizleri yapılmıştır. Dolgu numunelerinin bünyelerinde barındırdıkları gözenek suyunun asit içeriğinin belirlenmesi için ASTM C 265-08 (2008), ASTM C 1580-09 (2009), ASTM D 4972-01 (2007) ve ASTM D 4980-89 (2003) standartlarından faydalanılarak macun dolgu için en uygun yöntem uyarlanmıştır ve analiz bu metoda göre yapılmıştır (Şekil 5b) (Cihangir, 2011).

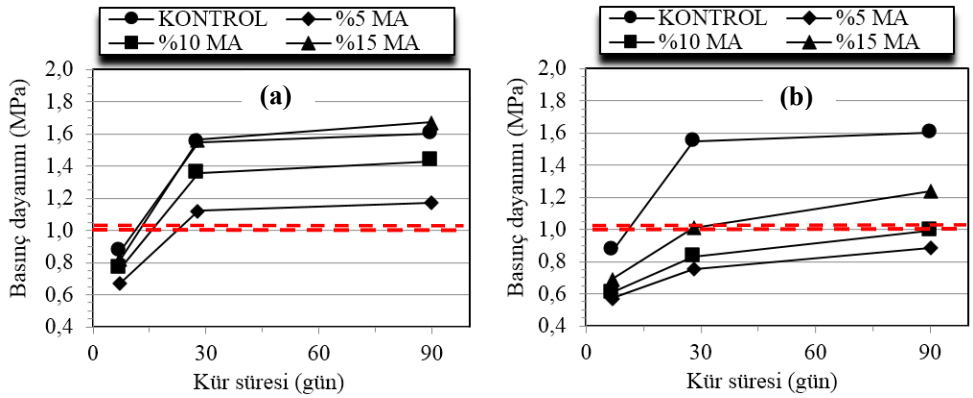
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Basınç Dayanımına Etkisi

Atık malzeme yerine ağırlıkça farklı oranlarda (%5, %10 ve %15) mermer artığı (MA) ikame edilerek farklı bağlayıcı oranlarında (%7,5-8,5) hazırlanan macun dolgu numunelerinin 7, 28 ve 90 günlük kür sürelerinde elde edilen tek eksenli basınç dayanımı sonuçları Şekil 6'da gösterilmiştir.

Kontrol numunesi (%8,5 CEM I 42,5R) ve mermer artığı (MA) ikame edilerek hazırlanan macun dolgu numunelerinin basınç dayanımları, ikame oranı ve bağlayıcı oranından bağımsız olarak 7-90 günlük kür süresi boyunca artmıştır (Şekil 6a,b). Ayrıca MA ikameli macun dolgu numunelerinin basınç dayanımları, iki farklı bağlayıcı oranında (%7,5-8,5) ve bütün kür sürelerinde ikame oranının artmasıyla birlikte artmıştır. Bu durum MA ikamesinin artmasıyla macun dolgu karışımlarının katı oranlarının artmasıyla ilişkilendirilebilir (Çizelge 2). Ayrıca bu çalışmayla uyumlu sonuçların elde edildiği başka bir çalışmada Binici vd. (2008) beton karışımı içerisindeki mermer artığı miktarının artmasıyla beton basınç dayanımının arttığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar kum yerine %15 MA ikamesinin beton numunelerinin uzun dönemde daha az dayanım kaybı sağladığını gözlemlemişlerdir. Şekil 6a ve b incelendiğinde sadece %8,5 bağlayıcı oranında hazırlanan %15 MA ikameli macun dolgu numunelerinin 28 günlük (1,57>1,55 MPa) ve 90 günlük (1,68>1,60 MPa) kür sürelerinde kontrol numunesine kıyasla daha yüksek basınç dayanımı ürettiği, %7,5 bağlayıcı oranında hazırlanan MA ikameli dolgu numunelerinin ise kontrol numunesini geçemediği görülmektedir. Zheng vd. (2016) Portland çimentosu yerine ağırlıkça %22,5'a kadar öğütülmüş kireçtaşı artığı (KA) katarak hazırladıkları macun dolgu numunelerinde %10 KA ikamesinin tüm kür sürelerinde (7-112 gün) kontrol numunesine göre daha yüksek basınç dayanımı ürettiğini belirtmişler ve bu durumu mermer çeşidi olan kireçtaşının; oldukça zararsız kalsiyumlu boşluk doldurucu ve hidratasyon sürecinde olumlu katkısının olması ile açıklamışlardır (Celik vd., 2014).

Yeraltı üretim boşluklarında maden operatörlerinin güvenli bir şekilde çalışabilmesi için madeni alınan boşluğa yerleştirilen macun dolgu için 28 günde istenen kritik basınç dayanımı (≥1,0 MPa) değerini %8,5 bağlayıcı oranında bütün numuneler sağlarken, %7,5 bağlayıcı oranında ise sadece %15 MA ikameli numuneler sağlamıştır (Şekil 6a,b).



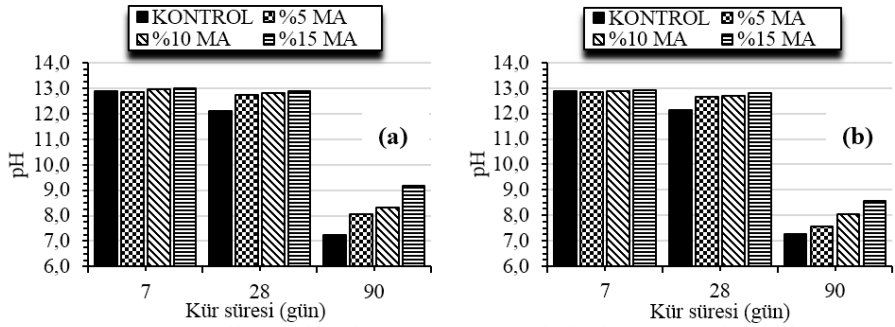
Şekil 6. Mermer artığı (MA) ikame edilerek %8,5 (a) ve %7,5 (b) bağlayıcı oranında hazırlanan macun dolgu numunelerinin basınç dayanımı sonuçları

3.2 Asit (pH) Oluşumuna Etkisi

Sülfürlü mineraller (pirit vb.) hava ve nem varlığında meydana gelen kür koşulları altında oksidasyona ve sonucunda oluşan asit formasyonuna yatkındırlar. Sülfürlü atıkların oksidasyonu ile oluşan asit C-S-H yapılarına zarar verebilir ve bağlayıcı özelliklerinin zayıflaması ile macun dolguda duraylılık problemleri ortaya çıkabilir (Tariq ve Nehdi 2007; Cihangir vd., 2012; Ercikdi vd., 2015).

Şekil 7'de iki farklı bağlayıcı oranında (%7,5-8,5) mermer artığının (MA) atık yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında ikame edilmesiyle hazırlanan macun dolgu numunelerinin 7-90 günlük kür süresi aralığındaki asit oluşumu (pH) sonuçları verilmiştir. Bütün macun dolgu numunelerinin (Kontrol ve MA ikameli) 7-90 gün sonunda pH değerlerinin azaldığı açıkça görülmektedir. Mermer artığı ikamesinin pH'ya etkisi incelendiğinde, ikame oranının artmasının macun dolgu numunelerinin pH değerlerini olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir. Ayrıca pH değerlerinde 7-28 gün aralığında oldukça yavaş bir düşüş seyri gözlemlenirken 28-90 gün arasında bu düşüş oldukça hızlanmıştır (Şekil 7a,b). 90 gün sonunda kontrol numunesinin pH değeri 7,0 seviyelerinde ölçülürken, %8,5 ve %7,5 bağlayıcı oranında özellikle %15 MA ikameli dolgu numunelerinin pH'sı sırasıyla 9,20 ve 8,60 olarak ölçülmüştür (Şekil 7a,b). Fernandez-Caliani ve Barba-Brioso (2010) tarafından yapılan çalışma sonucunda mermer içerisindeki kalsit mineralinin çözünmesi ile asit oluşumunun nötralize edildiği bildirilmiştir. Bu bağlamda MA ikameli macun dolgu numunelerinin kontrol numunesine kıyasla daha yüksek pH değerleri üretmesi kalsit mineralinin çözünmesi sonucu ortama OH^- iyonu salınımının gerçekleşmesi ile ilişkilendirilebilir (Ercikdi vd.,

2015). Elde edilen sonuçlar ile uyumlu olan bir başka çalışmada Tozsin vd. (2014) öğütülmüş mermer artığı kullanarak asidik toprağın pH değerini 75 günlük inkübasyon (bekletme) süresi sonunda hızlı bir şekilde 4,71'den 6,0'nın üzerine çıkarırken aynı süre sonunda kontrol numunesinin pH değeri 4,71 de kalmıştır. Ayrıca araştırmacılar büyük miktardaki MA ilavesinin pH değerini daha hızlı arttıracağını belirtmişlerdir. Böylece, puzolanik özelliği bulunmayan MA'nın macun dolgunun duraylılığına olan olumlu etkisi; sülfürlü atıkların oksidasyonuna karşı MA'nın yüksek asit nötralize etme kapasitesine sahip olmasıyla açıklanabilir (Ercikdi vd., 2015).



Şekil 7. Mermer artığı (MA) ikame edilerek %8,5 (a) ve %7,5 (b) bağlayıcı oranında hazırlanan macun dolgu numunelerinin pH sonuçları

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada mermer artığı (MA), sülfürce zengin atık malzeme yerine ağırlıkça farklı oranlarda (%5, %10 ve %15) ikame edilerek iki farklı bağlayıcı oranında (%7,5-8,5) macun dolgu numuneleri hazırlanmış ve 7, 28 ve 90 günlük kür süreleri boyunca %80 nem ve 20^0C sıcaklığa sahip kür odasında bekletilmiştir. Önceden belirlenen kür süreleri (7, 28 ve 90 gün) sonunda macun dolgu numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı testleri ve pH analizleri yapılarak atık malzeme yerine katılan mermer artığının sülfürce zengin atık malzeme ile hazırlanan çimentolu macun dolgunun basınç dayanımı ve asit oluşumuna etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Kontrol numunesi (%8,5 CEM I 42,5R) ve mermer artığı (MA) ikame edilerek hazırlanan macun dolgu numunelerinin basınç dayanımları, ikame oranı ve bağlayıcı oranından bağımsız olarak 7-90 günlük kür süresi boyunca artmıştır.

- MA ikameli macun dolgu numunelerinin basınç dayanımları, bağlayıcı oranı ve kür süresinden bağımsız olarak ikame oranının artmasıyla birlikte artmıştır.
- Mermer artığı ikamesinin performansı değerlendirildiğinde sadece %8,5 bağlayıcı oranında hazırlanan %15 MA ikameli macun dolgu numuneleri 28 ve 90 günde kontrol numunesine kıyasla daha yüksek basınç dayanımı üretirken, %7,5 bağlayıcı oranında hazırlanan MA ikameli numuneler kontrol numunesini geçememiştir.
- Macun dolgu numunelerinde meydana gelen asit oluşumu (pH değişimi) incelendiğinde bütün numunelerin (Kontrol ve MA ikameli) 7- 90 günlük kür süresi aralığında pH değerleri azalmıştır.
- Mermer artığı ikamesinin pH'ya etkisi incelendiğinde, tüm ikame oranlarında numunelerin asit oluşumu kontrol numunesine kıyasla daha düşük seviyede gerçekleşmiş ve ikame oranının artması macun dolgu numunelerinin pH değerlerini olumlu yönde etkilemiştir.

Sonuç olarak sülfürce zengin cevher zenginleştirme atığı kullanılarak hazırlanan çimentolu macun dolgu içerisinde ağırlıkça farklı oranlarda öğütülmüş mermer artığı kullanımının macun dolgunun basınç dayanımını arttırdığı ve dolguyu asit oluşumuna karşı daha dirençli hale getirdiği belirlenmiştir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma FDK 2016-5500 No'lu Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Akbulut, H. ve Gürer, C., 2007. Use of aggregates produced from marble quarry waste in asphalt pavements. Building and Environment, 42: 1921–30.

Aliabdo, A.A., Elmoaty, A.E. ve Auda, E.M., 2014. Re-use of waste marble dust in the production of cement and concrete. Construction Building Materials, 50: 28–41.

Aruntaş, H.Y., Gürü, M., Dayı, M. ve Tekin, İ., 2010. Utilization of waste marble dust as an additive in cement production. Materials & Design**,** 31: 4039–41.

ASTM C 39, 2012. Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. Annual Book of ASTM Standards, American Society of Testing Material.

ASTM C 265-08, 2008. Standard Test Method for Water-Extractable Sulfate in Hydrated Hydrolic Cement Mortar, Annual Book of American Standard of Testing Materials Standards.

ASTM C 1580-09, 2009. Standard Test Method for Water-Soluble Sulfate in Soil, Annual Book of American Standard of Testing Materials Standards.

ASTM D 4972-01, 2007. Standard Test Method for pH of Soils, Annual Book of American Standard of Testing Materials Standards.

ASTM D 4980-89, 2003. Standard Test Methods for Screening of pH in Waste, Annual Book of American Stand. of Testing Materials Standards.

Benzaazoua, M., Belem, T. ve Bussiere, B., 2002. Chemical factors that influence the performance of mine sulphidic paste backfill. Cement and Concrete Research, 32(7): 1133-1144.

Bilgin, N., Yeprem, H.A., Arslan, S., Bilgin, A., Günay, E. ve Marşoğlu, M., 2012. Use of waste marble powder in brick industry. Construction Building Materials, 29: 449–57.

Binici, H., Shah, T., Aksoğan, O. ve Kaplan, H., 2008. Durability of concrete made with granite and marble as recycle aggregates. Journal of Materials Processing Technology, 208: 299–308.

Celik, K., Jackson, M.D., Mancio, M., Meral, C., Emwas, A.-H., Mehta, P.K. ve Monteiro, P.J.M., 2014. High-volume natural volcanic pozzolan and limestone powder as partial replacements for Portland cement in self-compacting and sustainable concrete. Cement and Concrete Composites, 45: 136–147.

Cihangir, F., 2011. Aktifleştirilmiş Yüksek Fırın Cürufunun Macun Dolguda Bağlayıcı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 181 s.

Cihangir, F., Ercikdi, B., Kesimal, A., Turan, A. ve Deveci, H., 2012. Utilisation of alkali-activated blast furnace slag in paste backfill of high-sulphide mill tailings: Effect of binder type and dosage. Minerals Engineering, 30: 33–43.

Çetiner, E.G., Ünver, B. ve Hindistan, M.A., 2006. Regulations related with mining wastes: European Community and Turkey, Madencilik, 45(1): 23-34.

Erçıkdı, B., Cihangir, F., Kesimal, A. ve Deveci, H., 2012. Tesis atıklarının yönetiminde macun dolgu teknolojisi. Madencilik Türkiye, 24: 54-59.

Ercikdi, B., Yılmaz, T. ve Külekçi, G., 2014. Strength and ultrasonic properties of cemented paste backfill. Ultrasonics, 54(1): 195-204.

Ercikdi, B., Külekci, G. Yılmaz, T., 2015. Utilization of granulated marble wastes and waste bricks as mineral admixture in cemented paste backfill of sulphide-rich tailings. Construction and Building Materials, 93: 573–583.

Erçıkdı, B., Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H., Tezcan, A., Küçükateş, K., Enisoğlu, F. ve Karaoğlu, V., 2015. Küre Bakır Madenindeki Tesis ve Baraj Atıklarının Macun Dolgu Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, pp.256-265, 14-17 Nisan 2015, Antalya, Türkiye.

Ergün, A., 2011. Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete. Construction Building Materials, 25: 806–12.

Fall, M. ve Samb, S.S., 2009. Effect of high temperature on strength and microstructural properties of cemented paste backfill, Fire Safety Journal, 44(4): 642-651.

Fernandez-Caliani, J.C. ve Barba-Brioso, C., 2010. Metal immobilization in hazardous contaminated mine soils after marble slurry waste application. A field assessment at the Tharsis mining district (Spain), 181: 817–20.

Tariq, A. ve Nehdi, M., 2007. Developing durable paste backfill from sulphidic tailings. Waste Management and Research, 160: 155–66.

Topçu, İ.B., Bilir, T. ve Uygunoğlu, T., 2009. Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete. Construction Building Materials, 23: 1947–53.

Tozsin, G., Arol, A.İ., Oztas, T. ve Kalkan, E., 2014. Using marble wastes as a soil amendment for acidic soil neutralization. Journal of Environmental Management, 133: 374–377.

Yılmaz, T. ve Ercikdi, B., 2016. Predicting the uniaxial compressive strength of cemented paste backfill from ultrasonic pulse velocity test. Nondestructive Testing and Evaluation, 31(3): 247-266.

Yumlu, M., 2010. Pastefill - becoming a feasible and popular option for ensuring recovery of high grade deposits, Cobar Mining Seminar 2010, The Australasian Institute of Mining & Metallurgy, New South Wales, Australia, s.26.

Zheng, J., Zhu, Y. ve Zhao, Z., 2016. Utilization of limestone powder and water-reducing admixture in cemented paste backfill of coarse copper mine tailings. Construction Building Materials, 124: 31-36.

ÇEVRESEL SORUN OLUŞTURAN DÜŞÜK KALİTELİ KÖMÜRLERİN ALTERNATİF KULLANIM ALANLARININ ARAŞTIRILMASI: AKTİF KARBON ÜRETİMİ

INVESTIGATION OF ALTERNATIVE USAGE AREAS OF LOW RANK COALS: PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON

Uğur DEMİR

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, TÜRKİYE

ugur.demir@dpu.edu.tr

ÖZET: Enerji üretimindeki kömürün payı geçmişte olduğu gibi gelecekte de önemini koruyacağı tahmin edilmektedir. Elektrik enerjisi üretiminde önemli bir yere sahip olan kömürler, gerekli önlemler alınmadığı zaman önemli çevresel sorunlara neden olmaktadır. Özellikle düşük kaliteli kömürlerin yakıt olarak kullanıldığı termik santraller, başta hava kirliliği olmak üzere asit yağmurları ve sera gazlarının atmosfere yayılması ile küresel ısınmaya neden olmaktadırlar. Bu çevresel sorunları en aza indirmek için, kömürün yakıt olarak kullanılmadan önce (kömür hazırlama yöntemleri), kullanılırken (yakma odalarında) ve kullanıldıktan sonra (baca gazlarından) olmak üzere çok sayıda kömür zenginleştirme/iyileştirme yöntem veya yöntemleri uygulanmaktadır. Maliyetler göz önünde tutulduğunda bu yöntemlerin uygulanması kömür satışlarını doğrudan olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çalışmada düşük kaliteli kömürlerin yakıt dışı kullanım alanları incelenmiş, özellikle aktif karbon üretiminde kömürün payı üzerinde durulmuştur. Aktif karbon, özellikleri, kullanım alanları ve aktif karbon üretmek için kömürün kullanıldığı çalışmalar ve elde edilen sonuçları derlenerek bir araya getirilmiştir. Yapılan çalışmalardan, kömürden üretilen aktif karbonların, piyasada yaygın olarak kullanılan ticari aktif karbonlar ile karşılaştırıldığında kullanılabilir seviyelerde olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Düşük kaliteli kömür, Çevresel problemler, Aktif karbon

ABSTRACT: *It is estimated that the proportion of coal use in energy production will remain important in the future as well as in the past. Coal has an important place in production of electrical energy but when necessary precautions are not taken, it causes*

significant environmental problems such as air pollution, acid rain and greenhouse gases released into atmosphere. These environmental problems can be minimized by using coal cleaning/beneficiating method or methods such as before (coal preparation and beneficiation methods), during (combustion chamber) and after (flue gas) the burning of coal as a fuel. The use of these methods leads to increased coal production and preparation costs, which directly effects the coal trade. In this study, the non-fuel alternative usage areas of low rank coals were investigated, particularly the share of coal in activated carbon production. A number of studies on production of activated carbon from coal and obtained results have been gathered. It is seen that there are significant advantages in comparison with produced activated carbon from coal and commercial activated carbon.

Keywords: *Low rank coal, Environmental problems, Activated carbon*

1. GİRİŞ

Kömür dünyadaki en önemli enerji kaynaklarından birisidir. Kömür rezervlerinin dünyanın birçok yerinde ve önemli miktarda bulunması, geçmişte olduğu gibi gelecekte de kömürün önemini koruyacağını göstermektedir. Düşük kaliteli kömürlerin çok büyük miktarlarda tüketildiği özellikle termik santrallerde, yanma reaksiyonu sonucu ortaya çıkan kükürt oksitler, azot oksitler, partikül maddeler ve hidrojen sülfidler gibi kirleticiler atmosfere salınmaktadır (Jorjani vd. 2004a, 2004b ve 2006, Demir 2016). Atmosfere yayılan bu kirleticiler, başta hava kirliliği, asit yağmurları ve sera etkisi gibi çok ciddi çevresel sorunlara neden olmaktadır. Düşük kaliteli kömürlerin ortak özelliği, içerdikleri yüksek oranda kükürt, azot, nem, kül ve düşük ısıl değere sahip olmalarıdır. Bu çevresel sorunların ana sorumlularından biri kömürde bulunan kükürttür. Kükürt kömürde, organik ve inorganik formlarda olmak üzere iki şekilde bulunmaktadır. İnorganik kükürt genel olarak iki ana formda disülfidler (pirit ve markasit) ve sülfatlar (kalsiyum, demir ve baryum sülfat) şeklinde, organik kükürt ise kömürün organik yapısı (makriksi) ile doğrudan bağ yapmış şekilde bulunmaktadır. Kömürde organik kükürtler tioller, sülfidler, disülfidler, tiofenler ve siklik sülfidler şeklinde kendini göstermektedir (Jorjani vd. 2004a, 2004b ve 2006, Demir 2016, Demir ve Aydın 2016, Kawatra ve Eisele 2001). İnorganik ve organik kükürdün toplamı kömürde toplam kükürt olarak ifade edilmektedir. Organik kükürt oranı toplam kükürt içerisinde %50 civarında

bulunuyor ise fiziksel yöntemler ile kükürdün uzaklaştırılması mümkün görülmemektedir. Organik kükürdün uzaklaştırılabilmesi için kimyasal yöntemlerin uygulanması gerekmektedir. Kimyasal yöntemlerin uygulanması organik kükürt ile birlikte inorganik kükürt ve kül yapıcı minerallerinde uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Fakat kimyasal kükürt uzaklaştırma yöntemleri bugünkü ekonomik koşullarda uygulanabilirliği mümkün değildir. Kömürden kükürt ve kül yapıcı minerallerin önemli bir bölümü kömürün yakılmasından önce (kömür hazırlama yöntemleri kullanılarak), yakılması sırasında (yakma odalarına ilave edilen çeşitli reaktifler ile) ve yakılmasından sonra (baca gazlarından çeşitli filtreleme yöntemleri kullanılarak) atmosfere karışmadan uzaklaştırılması mümkündür (Kawatra ve Eisele 2001, Demir 2011, Aydın ve Demir 2011).

Bu çalışmada, önemli çevresel sorunlara neden olan düşük kaliteli kömürlerin yakıt dışı alternatif kullanım alanları, özellikle aktif karbon üretimi üzerinde durulmuştur. Çeşitli yerli ve yabancı araştırmacıların yapmış oldukları çalışmalar incelenerek uygulanan yöntemler, kullanılan malzemeler ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Üretilecek aktif karbonun, adsorpsiyon kapasitesinin yüksek, toplam yüzey alanının oldukça geniş, mikro gözenek yapısının oldukça yüksek, mekanik etkilere karşı dayanıklı ve granül yapıya sahip olması gerekliliği ortaya konulmuştur. Düşük kaliteli kömürlerin hem ekonomiye kazandırılması hem de düşük maliyetli aktif karbonların üretiminde hammadde kaynağı olarak kullanılması sürdürülebilir ve akılcı bir çözüm olduğu görülmektedir.

2. AKTİF KARBON

Aktif karbon yüksek oranda gözenekliliğe sahip bir materyaldir. Yüksek gözeneklilik nedeniyle yüksek adsorbsiyon kapasitesine sahip olmasından dolayı gaz ve sıvıların içerdikleri safsızlıkların uzaklaştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Karaca ve diğ. 2005, Ahmed 2016). Aktif karbonlar içerdikleri gözeneklerin yarıçaplarına (boyutlarına) göre International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) tarafından mikro gözenekler (<2 nm), mezo gözenekler (2-50 nm) ve makro gözenekler (>50 nm) olarak üç gruba ayrılmaktadır (Hu ve diğ. 2001, Kopac ve Toprak 2007). Aktif karbonlarda mikro gözenekler genellikler toplam yüzey alanının %95'ini oluşturmaktadır (Akash ve O'Brien 1996).

Aktif karbon, bol miktarda bulunan ve ucuz olan yüksek oranda karbon içeren malzemelerden üretilmektedir. Bu malzemelerin bazıları; ahşap, kömür, turba, hindistan cevizi kabuğu, çeşitli meyve ve zirai atıklardır (Çuhadaroğlu ve Uygun 2008, Kopac ve Toprak 2007, Pis ve diğ. 1996, Akash ve O'Brien 1996, Ahmed 2016, Demiral ve Demiral 2010, Hu ve diğ. 2001, Şentorun ve diğ. 2006, Qi ve diğ. 2011, Gürses ve diğ. 2014, Elbinsoy 2016). Aktif karbonun üretildiği hammaddelerin özellikleri üretilen aktif karbonun kalite ve özellikleri üzerinde doğrudan etkisi olmaktadır (Şentorun ve diğ. 2006, Pis ve diğ. 1996, Ahmed 2016).

2.1 Aktif Karbonun Elde Edilmesi

Yüksek oranda karbon içeren hammaddeden aktif karbonun üretilmesi aşamasında kontrollü ısıl işlemden yararlanılmaktadır. Hammaddeye uygulanan bu ısıl işlem aktivasyon olarak tanımlanmakta ve iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada ısıl işleme (karbonizasyon) tabi tutulan hammadden, düzensiz karbon ve katran seçimli olarak uzaklaştırılmakta ve bunun sonucu olarak da kapalı gözenekler açılmaktadır. İkinci aşamada ise, tepkime sırasında aromatik sistem bozundurularak, mevcut gözeneklerin genişlemesi veya komşu gözenekler arasındaki duvarların yıkılması sonucunda, daha büyük gözeneklerin oluşması sağlanmaktadır (Hu ve diğ. 2001, Hsu ve Teng 2009). Böylece makro ve mezo gözenekler artmakta, mikro gözenekler azalmaktadır (Pis ve diğ. 1998). Aktivasyon işleminde kullanılan hammaddeye ve aktivasyon süresine bağlı olarak mikro, mezo ve makro gözenek yapısı değişiklikler göstermektedir. Aktif karbonun en önemli özelliği olan gözenekliliğin oluşması, karbonizasyonu takip eden aktivasyon işlemi ile sağlanmaktadır (Gergove 1996, Bandosz 1999).

Aktif karbonun aktivasyonu fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Her iki yöntemde başlangıç maddesinin dekompozisyonunu içermektedir.

2.1.1 Fiziksel aktivasyon

Fiziksel aktivasyon, iki adımda gerçekleştirilen bir süreçtir. İlk adım, karbon içerikli hammaddenin karbonizasyonu gerçekleştirilerek gözenekli bir yapıya sahip karbon iskeletin üretmesini sağlamaktır. İkinci adımda karbonizasyon sonucu oluşan gözenekli

ürünün yüksek sıcaklıklarda karbondioksit, azot, su buharı, hava veya bunların karışımı gibi uygun yükseltgen gazları kullanarak aktivasyon gerçekleştirilmektedir. Karbon içeren malzemenin ısıtılması ile yumuşayan yapı içerisinden ortaya çıkan uçucu maddelerin oksijenle birleşerek bünyeden uzaklaşması, böylelikle de gözenek hacmi ve yüzey alanının büyük oranda artmasını sağlamaktadır (Kopac ve Toprak 2007).

Karbonizasyon işlemi, inert atmosfer (N_2) kullanılarak genellikle 600-650 ^oC'de gerçekleştirilmektedir. Karbonizasyon işlemi her ne kadar pratik uygulamalar için tek başına yeterli olmasa da gözenek oluşumunda artışa neden olmaktadır. Bu aşamada karbonun gözenek yapısı ve özellikleri büyük ölçüde başlangıç hammaddesine bağlı olmaktadır (Gerhartz 1986, Şentorun ve diğ. 2006, Pis ve diğ. 1996).

Karbonizasyon işleminden sonra yükseltgen gazlardan oluşan bir atmosferde ve 800-1100 ^oC sıcaklık aralığında aktivasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Böylece başlangıçta karbonizasyon ile oluşturulan kısmi gözenekli malzeme, su-gaz reaksiyonu ile gaz fazına dönüştürülerek mevcut gözenekler genişlemekte ve sayıları artmaktadır. Temiz ve güvenli oluşu, kolay kullanımı ve 800 ^oC civarındaki sıcaklıklarda düşük reaksiyon hızından dolayı aktivasyon sürecinin kontrolüne imkan sağlaması gibi avantajlarından dolayı aktivasyon gazı olarak genellikle CO_2, N_2 ve su buharı kullanılmaktadır (Pis ve diğ. 1998).

2.1.2 Kimyasal aktivasyon

Geniş yüzey alanı ve büyük gözenek hacimli aktif karbonun elde edilmesindeki diğer bir yol kimyasal aktivasyondur. Kimyasal aktivasyonda temel prensip, hammaddenin aktivasyon kimyasalları ile muamele edilerek, yapının bozundurulması esasına dayanmaktadır. Aktifleştirici kimyasallar katran oluşumunu yavaşlatmakta ve karbon ile reaksiyona girip karbon yapının bozunmasını sağlamaktadır. Uygulanan kimyasal aktivasyon yöntemleri değişiklik göstermekle birlikte, kimyasal aktivasyon, uygun boyuttaki başlangıç hammaddesi ile aktive edici kimyasal bir maddenin 500-1000 ^oC arasında bir sıcaklıkta reaksiyona girmesi ile gerçekleşebileceği gibi, belli bir sıcaklıkta karbonize edilmiş başlangıç hammaddesinin bir kimyasal ile reaksiyonu sonucunda da gerçekleştirilebilir (Othmer 1992). Kimyasal aktivasyon işleminde, aktifleştirici kimyasal olarak genellikle; borik asit (H_3BO_3), kalsiyum hidroksit ($Ca(OH)_2$), kalsiyum klorür ($CaCl_2$), fosforik asit (H_3PO_4), sülfürik asit (H_2SO_4), çinko klorür ($ZnCl_2$), demir

klorür ($FeCl_3$), potasyum karbonat (K_2CO_3), potasyum hidroksit (KOH), mangan klorür (Mg_2Cl), nitrik asit (HNO_3), sodyum klorür (NaCl), sodyum sülfat (Na_2SO_4), sodyum hidroksit (NaOH) gibi pek çok kimyasal madde kullanılmaktadır (Dermanlı 2006, Eral 2002, Kim ve diğ. 2001, Hayashi ve diğ. 2002, Orbak 2002, Ahmed 2016, Kopac ve Toprak 2007, Ahmedpour ve Do 1996). Bunlardan en çok tercih edilenler $ZnCl_2$, KOH, NaOH'dır. Kimyasal aktivasyon genellikle 400-700 ^oC sıcaklık arasında gerçekleştirilmektedir. Aktifleştirici olarak $ZnCl_2$ kullanıldığında aktifleştirme için en uygun sıcaklık 600-700 ^oC olmaktadır. Aynı sıcaklıkta hammadde fiziksel olarak aktifleştirildiğinde, kimyasal aktivasyon sonucu oluşan gözenek yapısı fiziksel aktivasyon sonucu oluşan gözenek yapısına göre daha fazla gelişmektedir.

Üretilen aktif karbonun gözenek boyutlarının dağılımı, hammaddenin kimyasal madde ile doyma derecesi ile tanımlanabilmektedir. Yüksek doyma derecesinde makro gözenekler oluşurken, düşük doyma derecesinde mikro gözenekler oluşmaktadır. Aktive edici kimyasal maddenin hammaddeye oranı 4:1'e kadar çıkartılabilmektedir. Aktivasyon sürecinde kütle kaybı ve maliyet, kullanılan aktive edici kimyasal madde miktarına bağlı olarak değişmektedir (Marsh 1987). Genel olarak aktive edici kimyasal maddenin hammaddeye oranı arttıkça elde edilen aktif karbonun yüzey alanı ve gözenekliliği artmaktadır (Ahmadpour ve Do 1997, Şentorun ve diğ. 2006). Ancak bu oran belli bir değerin üzerine çıktığında ise mikro gözenekler arasındaki duvar yıkılmakta, gözenekler dekompozisyona uğrayarak gözenek boyutu artmakta yani mezo gözenek boyutuna genişlediği görülmektedir (Hu ve diğ. 2001). Bu durum toplam gözenek hacminin düşmesine neden olmaktadır.

2.3 Aktif Karbonun Özellikleri

Ticari olarak kullanılan aktif karbonlar, fiziksel ve kimyasal özellikleri ile karakterize edilirler, bu özellikler; toplam yüzey alanı, gözenek hacmi, gözenek boyutu, absorbsiyon kabiliyetidir ve bu özellikler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

2.3.1 Yüzey alanı

Aktif karbonları en önemli fiziksel özelliği yüzey alanıdır ve aktif karbonun iç yüzey alanı çoğunluklar BET (*Brunauer–Emmett–Teller)* yüzey alanı olarak (m^2/gr) ifade edilir. Aktif karbonun iç yüzeyi (BET), gazların katı malzemelerin yüzeylerine fiziksel

adsopsiyon özelliğini kullanarak yüzey alanı hakkında bilgi veren bir yöntemdir. Gazın bir katı yüzeyde tek tabakalı fiziksel adsorpsiyon prensibini kullanmaktadır. Farklı basınçlarda katı numune yüzeyine adsorbe olan gaz karışımı miktarından sonuca gidilmektedir. BET analizinden aktif karbonun gözenek hacmi, porozite ve aktif yüzey alanı hakkında detaylı bilgiler elde edilebilmektedir. Prensip olarak, yüzey alanı ne kadar büyük ise adsorpsiyon merkezinin sayısı da o kadar büyük olduğu düşünülmektedir. Ticari olarak kullanılan aktif karbonlar 500-2000 m^2/gr yüzey alanına sahiptir. Bununla beraber 3500-5000 m^2/gr yüzey alanlı ve sentetik kökenli aktif karbonlar da bulunmakta, bunlar çeşitli özel alanlar için kullanılmaktadır (Müller ve Mehnert 1997, Hu ve diğ. 2001). Aktif karbonların adsorban olarak tercih edilmesinin başlıca iki nedeni vardır. Bunlar; belirli maddeleri çekebilmesi için çekici bir yüzeye ve fazla miktarda maddeyi tutabilmesi için geniş bir yüzeye sahip olmasıdır.

2.3.2 Gözenek hacmi

Girinti çıkıntılar, kanallar, boşluklar ve/veya yarıklar içeren herhangi bir katı materyal gözenekli olarak kabul edilir (Elbinsoy 2016). Aktif karbon oluşumu sırasında karbonizasyon sıcaklığının artması ile öncelikle aktif karbona dönüştürülen hammaddeden H_2O, CO_2, CH_4, CH_3OH gibi küçük moleküller uzaklaşır ve bu sırada çıkan küçük moleküllerin yerine mikro gözenekler oluşur. Gaz halinde uzaklaşan maddeler ise katı faz içinde artan basınçları nedeniyle mikro kanallar açarlar. Bu esnada çapraz bağlı selülozik ana yapı asla bozulmaz. Sıcaklık artışı ile selüloz yapısı karbon yapısına dönüştüğünden karbon olmayan atomların sistematik olarak uzaklaştırılması ile selülozik yapı termodinamik olarak daha kararlı grafitik yapıya dönüşür. Oluşan karbon yapısı tabakasal değildir ve bu yüzden paralelliği yoktur. Bundan dolayı aktif karbon yapısı amorf özelliğinden dolayı hala modellenememektedir (Patrick ve Edward 1995).

2.3.3 Gözenek boyutu

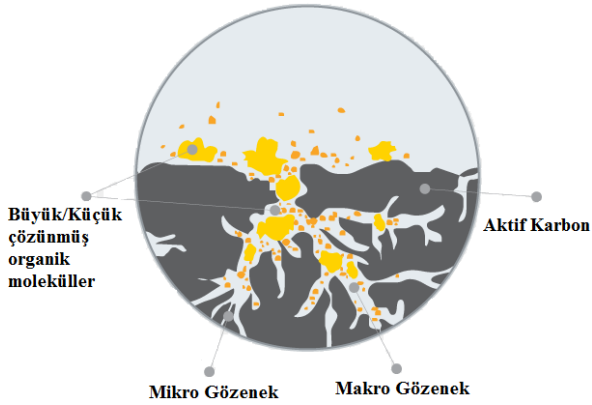
Gözenek yapısı aktif karbonların kullanım alanlarının belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir. IUPAC (International Union of Pure and Applide Chemistry) adsorbanlar için gözenek büyüklüğü yarıçapına göre üçe ayırmaktadır. Makro gözenekler (>50 nm), Mezo gözenekler (2-50 nm) ve Mikro gözenekler (< 2 nm). Mikro gözenekler ise 1-2 nm olanlar süper mikro gözenekler, <0,5 nm olanlar ise ultra mikro gözenekler olarak

tanımlanmaktadır (Hu ve diğ. 2001, Kopac ve Toprak 2007). Kesit yapısına bakıldığında, gözeneklerin genellikle silindirik veya dikdörtgen biçiminde olduğu görülmektedir. Bunun yanında birçok düzensiz şekilli gözenek yapısı da bulunmaktadır. Aktif karbonlarda mezo gözenekler genellikle toplam iç yüzey alanının yaklaşık %5'ni, mikro gözenekler ise yaklaşık %95'ni oluşturmaktadır. Makro gözenekler moleküllerin aktif karbon içerisine taşınmasında, mezo gözenekler daha iç bölgelere hareketinde, mikro gözenekler ise asıl adsorpsiyon olayında etkili olmaktadır (Akash ve O'Brien 1996). Genel olarak mikro gözenek miktarı fazla olan aktif karbonlar gazlardan, daha büyük gözenekliliğe sahip aktif karbonlar ise sıvılardan kirleticilerin uzaklaştırılmasında tercih edilmektedir.

2.3.4 Adsorpsiyon kabiliyeti

Adsorpsiyon, bir maddenin diğer bir madde yüzeyinde veya iki faz arasındaki ara yüzeyde konsantrasyonunun artması veya moleküllerin temas ettikleri yüzeydeki çekme kuvvetlerine bağlı olarak o yüzeyle birleşmesi olarak tarif edilmektedir. Bu olay, fazlardan birindeki maddenin (çözeltideki molekül) diğer fazdaki maddenin (katı faz) yüzeyinde tutunması şeklindedir. Birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik sistemlerde adsorpsiyon olayı tercih edilmekte ve özellikle su ve atık suların arıtılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Beyhan 2003, Elbinsoy 2016).

Aktif karbonun adsospsiyon kapasitesi, aktivasyon süresinde gelişen gözeneklerin iç yüzey alanları, gözenek hacimleri ve dağılımları ile ilgilidir (Balcı ve diğ. 1994). Gözeneklerin boyut dağılımı aktif karbon partiküllerinin adsorbe ettiği moleküllerin boyut dağılımı ile tanımlanır. Şekil 1'de aktif karbonun gözenek yapısı ve bu gözeneklerde moleküllerin adsorpsiyonu görülmektedir. Büyük moleküller mikro gözenekleri tıkayarak kullanılabilir yüzey alanını azaltmaktadır. Küçük moleküller genellikle gözeneklerin en ince kılcal kesimlere kadar nüfus ederler (Cheremision ve Ellerbusch 1980). Karbonun adsorpsiyon işlemi aktif karbonun fiziksel özelliklerinde olduğu gibi adsorplanacak malzemenin boyutuna da bağlıdır. Adsorpsiyon sadece gözeneklere girebilecek moleküller için mümkündür. Karbonun adsorpsiyon hızı ve kapasitesi ile yüzey alanı arasında bir ilişki vardır. Buna göre düşük yüzey alanına sahip aktif karbonun adsorosiyon hızı yüksek, ancak adsorpsiyon kapasitesi düşüktür.



Şekil 1. Aktif karbonun gözenekli yapısı (www.linkedin.com/pulse/activated-carbon-basics-sean-liu)

Gazların ve çözeltilerin adsorpsiyonunda, birinci aşamada adsorbanın adsorbentin dış yüzeyine bir film gibi taşınması, ikinci aşamada adsorbent gözenekleri içinde yayılım geçekleşmekte, son basamakta ise adsorbentin kılcal boşlukları ve gözeneklerini sınırlayan iç yüzeylerinde adsorpsiyon hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir.

Adsorplanan moleküller ile adsorplayıcı yüzey arasındaki çekim kuvvetlerinin türüne bağlı olarak fiziksel, iyonik ve kimyasal olarak üç farklı adsorpsiyon tipi mevcuttur (Yener 1997). Fiziksel adsorpsiyon, adsorban ile adsorblanan madde arasındaki bağ dipol etkileşmesi, düşük çekim gücü ve Wan der Waals kuvvetleri sonucu meydana gelmektedir. Adsorplanan molekül, katı yüzeyde belirli bir yere bağlanmamıştır, hareketli durumdadır. Adsorplanan madde ise adsorbanın yüzeyinde birikir ve gevşek bir tabaka oluşturur. Fiziksel adsorpsiyonda adsorplanan moleküller yüzeyin belirli bir bölgesinden ziyade tüm yüzeyde dağılım gösterir. Zayıf bir bağ olmasından dolayı bağların kopması desorbsiyon söz konusudur. İyonik adsorpsiyon, elektrostatik çekim kuvvetlerinin etkisi ile yüzeydeki yüklü bölgelere iyonik özelliklere sahip adsorbantlara tutunması olarak tanımlanabilir. Burada iyonik güçlerin ve moleküllerin büyüklükleri önemlidir (Özer 1994). Kimyasal adsorpsiyon ise adsorplanan moleküller ile adsorbanın yüzey molekülleri ya da atomları arasında gerçek bir kimyasal tepkime meydana gelir. Kimyasal adsorpsiyon hızı ortam sıcaklığına bağlı olarak artar, adsorplanmış tabaka monomoleküler bir tabakadır. Fiziksel, iyonik ve kimyasal her üç adsorpsiyon türünde de yüzey alanı, çözünen maddenin cinsi ve özellikleri, pH ve sıcaklık, gibi parametreler etki olmaktadır (Elbinsoy 2016).

2.4 Aktif Karbonun Kullanım Alanları

Aktif karbonlar, yüksek adsorplama kapasitelerinden dolayı adsorpsiyon proseslerinde en çok kullanılan materyaldir. Başlıca kullanım alanlar;

- Gazlardan SOx ve NOx'lerin uzaklaştırılması
- Gaz maskelerinin yapımı
- Çözeltilerden renk giderilmesinde
- Gaz tepkimelerinin katalizinde
- Renk ve koku gibi istenmeyen maddelerin içme suyundan uzaklaştırılmasında
- Atık suların arıtılmasında
- Çözücülerin geri kazanılmasında
- Sulu çözeltilerin renk ve kokularının giderilmesinde
- Çözücü buharlarının elde edilmesinde
- Hidrometalurjide (Döngel 1997, Elbinsoy 2016)

2.4.1 Aktif karbonun gaz fazı uygulamaları

Bu uygulamalarda 1000-2000 m^2/g yüzey alanına sahip, sıvı faz uygulamalarında kullanılan aktif karbonlardan daha yüksek yoğunluğa sahip ve granül halde veya şekillendirilmiş aktif karbonlar kullanılmaktadır. Gaz fazında kullanılan aktif karbonlarda bulunan küçük gözenekler, gaz ve organik buharlar için seçicilik ve yüksek adsorpsiyon kapasitesi sağlamaktadır (Grayson 1978). Gaz fazı uygulamaları toplam aktif karbon kullanımının %20'sini oluşturmaktadır (Othmer 1992). En geniş kullanım alanları; çözücü geri kazanımı, koruyucu filtreler ve otomobillerde emisyon kontrol ekipmanlarıdır (Partic ve Edward 1995, Grayson 1978, Gündoğdu 2010).

Gaz maskelerinde kullanılan aktif karbonlar iki tiptir. İlki kimya endüstrisinde çok fazla zehirli olmayan ve genellikler yüksek molekül ağırlığına sahip gazların adsorplanmasını sağlamaktadır. İkinci tip ise askeri amaçlı kullanılan maskelerde çok zehirli buhar ve kimyasal maddelere karşı koruma sağlamaktadır. Bu maskelerde kullanılan aktif karbonlar organik, inorganik, asidik ve amonyak buharlarını absorbe etmektedir (Yener 1997).

Aktif karbonlar hava kirliliğinin kontrolünde özellikle sanayi baca gazları, sigara filtreleri, geniş mikro gözenekleri ve büyük yüzey alanlarından dolayı gaz saflaştırılması, ayrılmasında ve koku gideriminde katalitik olarak kullanılmaktadırlar.

Havanın temizlenmesi için 10 ppm'den küçük kirlilik konsantrasyonlarında levha şeklinde karbon fiberler kullanılmaktadır. Etkinliğini kaybeden aktif karbonlar buhar, hava veya toksik olmayan gazlarla rejenere edilebilirler.

2.4.2 Aktif karbonun sıvı fazı uygulamaları

Şeker kamışı, pancar ve mısır şekeri çözeltilerinin temizlenmesi gibi çözelti saflaştırma, meyve ve sebze sularından, içme sularından, hayvansal ve bitkisel yağlardan, alkollü içeceklerden tat ve koku giderilmesinde kullanılmaktadır. Sıvı faz uygulamalarında aktif karbonların kullanımı üç kısımda incelenmektedir. 1- su arıtımında kullanımı, 2- renk gideriminde kullanımı, 3-altının geri kazanımında kullanımı.

Sıvı faz uygulamalarında kullanılan aktif karbonlar ile gaz faz uygulamalarında kullanılan aktif karbonlar arasında belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Bu türdeki aktif karbonlardaki makro gözenek hacmi önemli oranda fazladır. Bu durum sıvıların mezo ve mikro gözeneklere hızlı nüfus etme yetisini sağlamaktadır. Büyük gözenekler aynı zamanda büyük moleküllerin adsorpsiyonunu önemli ölçüde arttırmaktadır. Sıvı faz adsorpsiyonunda granül, toz veya şekilli formlarda aktif karbonlar kullanılmaktadır, granül formdaki aktif karbonların boyutları 0,3-3 mm arasındadır (Gerhartz 1986). Sıvı faz uygulamalarındaki aktif karbonların %60'ı toz formdaki aktif karbonlardan oluşmaktadır.

3. KÖMÜRDEN ÜZRETİLEN AKTİF KARBONLAR VE ÖZELLİKLERİ

Tahta, Hindistan cevizi kabuğu, turba ve kömür gibi çeşitli hammaddeler aktif karbon üretiminde kullanılmaktadır fakat temininin kolay olması ve proses maliyetlerinin düşüklüğü göz önüne alındığında, üretilen aktif karbonun yaklaşık %60'ı kömürden elde edilmektedir. Her yıl dünya genelinde 200000 tondan fazla kömürün aktif karbon üretiminde kullanıldığı tahmin edilmektedir (Pis ve diğ. 1996).

Kömürden aktif karbon üretim süreci iki aşamadan oluşmakta, birinci aşamada düşük sıcaklık karbonizasyonu ile kısmi gözenekliliğe sahip ara ürün elde edilmekte, ikinci aşamada elde edilen bu ara ürün aktivasyon yöntemleri ile aktif karbona dönüştürülmektedir. Üretim süreci sonucu oluşan ürünün özellikleri kullanılan kömürün kalite ve özellikleri ile üretim sürecinin işlem parametreleri ile yakından alakalıdır.

Aktif karbon üretim sürecinde, kömürün yapısal ve fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişim hala tam olarak açıklanamamıştır.

Kömürün plastiklik özelliği, düşük sıcaklık karbonizasyonu sırasında, kömürün grafit benzeri karbonlu yapıya dönüşmesi ve oluşan gözenekli yapının, bünyeyi terk eden uçucu maddeler nedeniyle, belirli seviyelerde kalmasına neden olmaktadır. Kömürün plastiklik özelliği, uygulanan düşük sıcaklık karbonizasyonu nedeniyle kısmen veya tamamen yok olmaktadır.

Düşük kaliteli kömür, yüksek oranda kül, nem, kükürt ve düşük ısıl değere sahip olan kömürler için kullanılmaktadır. Bu tür kömürlerin yakıt olarak kullanılması önemli çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bu nedenle düşük kaliteli kömürlerin alternatif kullanım alanlarının araştırılması büyük önem taşımaktadır. Ülke kaynaklarının en iyi şekilde değerlendirilme yanında ucuz hammadde kaynaklarına yönelinmesi bu bakımdan çok önemlidir. Birçok yerli ve yabancı araştırmacı kömürden fiziksel veya kimyasal aktivasyon yöntemleri uygulayarak aktif karbon üretilmesine yönelik çok sayıda araştırma yapmıştır (Wilson 1981, Kopac ve Toprak 2007, Pis ve diğ. 1997, Pis ve diğ. 1998, Akash ve O'Brien 1996, Ahmed 2016, Demiral ve Demiral 2010, Hu ve diğ. 2001, Şentorun ve diğ. 2006, Qi ve diğ. 2011, Gürses ve diğ. 2014, Karaca ve diğ. 2005, Karaca ve diğ. 2006). Araştırmaların bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Yerli kömürler ile yapılan çalışmalar incelendiğinde Zonguldak yöresi taşkömürleri (Döngel 1997, Kopaç ve Toprak 2007, Çuhadaroğlu ve Uygun 2008), Kütahya-Tunçbilek (Orbak 2002), Küthaya-Gediz (Elbinsoy 2016), Çanakkale-Çan (Karaca ve Karaca 2014), Adıyaman-Gölbaşı ve Sivas-Kangal (Sarıca 2001) kömürlerinin kullanıldığı çalışmaların olduğu görülmektedir.

Döngel (1997) yapmış olduğu çalışmada 3 farklı tip Zonguldak yöresi taş kömürlerini aktif karbon üretmek amacıyla kullanmıştır. Aktif karbon üretmek amacıyla önce karbonizasyon ardından fiziksel aktivasyon yöntemleri uygulanmıştır. 900 ^{o}C karbonizasyon sıcaklığı ve 900 °C aktivasyon sıcaklığında elde edilen aktif karbonların 760,82-950,27 mg/g iyot numaralarına sahip ürünlerin elde edildiğini belirtmiştir. Kopaç ve Toprak (2007) yine 2 farklı Zonguldak kömürlerinden fiziksel ve kimyasal aktivasyon yöntemleri uygulanarak aktif karbon üretilmesine çalışmışlardır. Fiziksel aktivasyon yönteminde N_2 aktive edici olarak kullanılırken, KOH, NH_2Cl ve $ZnCl_2$ kimyasal aktivasyonda aktive edici kimyasal maddeler olarak kullanılmıştır. Fiziksel

aktivasyon ile 52,62 m^2/g BET yüzey alanına sahip aktif karbon elde edilirken, kimyasal aktivasyon ile 830,5 m^2/g BET yüzey alanına sahip aktif karbonun üretildiği belirtilmiştir. Çuhadaroğlu ve Uygun (2008) yine Zonguldak kömürlerinden aktif karbon üretilmesinde kimyasal aktivasyon yöntemini uygulamışlar bu amaçla aktivasyon kimyasalları olarak Na_2CO_3, H_3PO_4, NaOH ve KOH kullanmışlardır. Aktivasyon aşamasında farklı kimyasal oranları ve ortam sıcaklıklarının etkileri incelenmiş, KOH ve NaOH ile aktivasyon sonucu elde edilen aktif karbonların diğer ürünlere göre daha yüksek yüzey alanlarına sahip olduklarını ifade etmişlerdir.

Orbak (2002) yapmış olduğu çalışmada Tunçbilek kömürlerini aktif karbon üretiminde hammadde olarak kullanmış ve aktivasyon için ise fiziksel aktivasyon yöntemini seçmiştir. Aktivasyon ortamı olarak CO_2 kullanmıştır. Elde edilen aktif karbonların önemli oranda yüzey alanına sahip olduğu belirtilmektedir. Elbinsoy (2016) Kütahya-Gediz yöresi kömürlerinden aktif karbon üretmek amacıyla fiziksel ve kimyasal aktivasyon yöntemleri uygulamış, fiziksel aktivasyon için CO_2 ve N_2 kullanırken, kimyasal aktivasyon için $ZnCl_2$ ve KOH kullanmıştır. Yapılan bu çalışma sonucu CO_2 ile fiziksel aktivasyon sonucu 618 m^2/g, $ZnCl_2$ ile 733 m^2/g BET yüzey alanlarına sahip aktif karbon üretildiğini belirtmiştir. Karaca ve Karaca (2014) düşük kaliteli Çanakkale-Çan linyitlerinden aktif karbon üretmek amacıyla KOH ve $ZnCl_2$'nin aktivasyon kimyasalı olarak kullanıldığı çalışmada, KOH ile 1092 m^2/g BET yüzey alanına sahip aktif karbonun elde edildiği ifade edilmektedir. Sarıca (2001) yapmış olduğu çalışmada yine 2 farklı linyit kömürü (Adıyaman-Gölbaşı ve Sivas-Kangal) kullanarak aktif karbon üretiminin mümkün olup olmadığını araştırmışlardır. Aktif karbon üretmek amacıyla $ZnCl_2$'nin aktive edici kimyasal madde olarak kullanıldığı kimyasal aktivasyon yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen aktif karbonları BET yüzey alanlarının önemli oranda arttığını belirtilmektedir.

Yabancı araştırmacıların yaptığı çalışmalardan; Ahmadpour ve diğ. (1996) bitümlü kömürden aktif karbon üretmek amacıyla fiziksel ve kimyasal akvitasyon yöntemleri uygulamışlardır. Fiziksel aktivasyonda aktive edici olarak CO_2 gazı kullanılmış, kimyasal aktivasyonda ise KOH ve $ZnCl_2$ kullanılmıştır. Fiziksel aktivasyon sonucunda kömürden elde edilen aktif karbonun BET yüzey alanı 754 m^2/g iken fiziksel aktivasyon sonrası uygulanan kimyasal aktivasyon sonucunda BET yüzey alanının 1203 m^2/g'a yükseldiği belirtilmiştir. Solano ve diğ. (2000) aktif karbon

üretmek amacıyla hammadde olarak 4 farklı bitümlü kömür kullanmışlardır. Aktif karbon üretiminde CO_2 ve H_2O+N_2 karışımının kullanıldığı fiziksel aktivasyon yönteminin uygulandığını belirtmişlerdir. CO_2 kullanılarak 1404 m^2/g BET yüzey alanına sahip aktif karbonun üretildiğine ifade etmektedirler. Jasienko ve Kedzior (2005) yapmış oldukları çalışmada yüksek ranklı ve yüksek uçucu madde oranına sahip kömürleri kullanmışlardır. Fiziksel aktivasyon yönteminin tercih edildiği bu çalışmada aktive edici olarak buhar ve CO_2 kullanılmış elde edilen ürünlerin BET yüzey alanları oldukça yüksek seviyelerde olduğunu belirlenmiştir. Pis ve diğ. (1996, 1997 ve 1998) yapılan bu seri çalışmalarda aktif karbon üretiminde farklı kalite, orijin ve tane boyutlarındaki kömürlerden yararlanmışlardır. İlk çalışmada kömürün oksidasyonunun fiziksel bazı özellikler üzerindeki etkilerini incelemişler, ön oksidasyon işleminin yüzey alanı artışı ve gözenekliliğin olumlu yönde etkilendiğini ifade etmişlerdir. İkinci çalışmada oksidasyona tabi tutulan kömür numunelerinin karbonizasyonu amacıyla farklı sıcaklıklarda ısıl işlem uygulamışlar ve elde edilen gözenekli malzemenin özelliklerini tespit etmişlerdir. Oksidasyon sonrası karbonizasyonun gözenek oluşumunu olumlu yönde etkilediğini tespit etmişlerdir. Son çalışmada ise oksidasyona uğramış, karbonizasyon işlemine tabi tutulmuş kömür numunelerini CO_2 gazı altında aktivasyon işlemine tabi tutmuşlar ve elde edilen ürünün karakterizasyonu üzerinde durmuşlardır. Hsu ve Teng (2000) kimyasal aktivasyon yöntemi kullanarak Avustralya bitümlü kömürlerinden aktif karbon üretimi üzerinde çalışmışlardır. Kimyasal aktivasyon reaktifleri olarak $ZnCl_2$, H_3PO_4 ve KOH kullanmışlar, yapılan aktivasyon sonrasında elde edilen aktif karbonların BET yüzey alanlarını sırası ile 960, 770 ve 3300 m^2/g olarak belirlendiğini ifade etmişlerdir. Akash ve O'Brien (1996) İllinois kömürlerinden N_2 gazı altında farklı sıcaklıklarda aktivasyon denemeleri yapmışlar, en uygun çalışma şartlarında elde edilen aktif karbonun 226,2 m^2/g BET yüzey alanına sahip olduğunu bildirmişlerdir. Usmani ve diğ. (1996) düşük kaliteli Pakistan kömürlerinden aktif karbon üretmek için kimyasal aktivasyon yöntemi uygulamışlar ve bu amaçla $ZnCl_2$ kullanmışlardır. Elde edilen ürün karakterizasyonu üzerinde çeşitli analiz teknikleri uygulamışlardır.

4. SONUÇ

Yerli ve yabancı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar incelendiğinde, aktif karbon üretmek amacıyla çok sayıda farklı özelliklere sahip kömürler kullanılmış ve önemli sonuçlar elde edilmiştir. Ucuz, temini kolay ve proses maliyeti düşük olan kömür, aktif karbon üretiminde önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Özellikle düşük kaliteli kömürlerin çevreye vermiş oldukları zararlar dikkate alındığında alternatif kullanım alanlarının araştırılması büyük önem arz etmektedir. Düşük kaliteli kömürlerden aktif karbon üretimine uygun olanları belirlenmesi, elde edilen ürün kalitesi dikkate alınarak hangi sektörlerde kullanılabileceğinin belirlenmesi kaynaklarının en iyi şekilde değerlendirilmesi açısından çok önemlidir. Yapılan çalışmalar göstermektedir ki, bir çok kömür aktif karbon üretimine uygundur. Ülkemiz açısından ele alındığında üretilen aktif karbonların BET yüzey alanları, gözenek çapları ve gözenek hacimleri dikkate alınarak, en uygun sektörde değerlendirilmesi teşvik edilmeli, böylece ülke kaynaklarının yine ülkemizde kalması sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

Ahmadpour A., Do D., 1996, "The preparation of activated carbon from coal by chemical and physical activation "Carbon Vol. 34, No. 4, pp. 471-479.

Ahmadpour A., Do D., 1997 "The preparation of activated carbon from Macadamia nutshell by chemical activation" Carbon, vol: 35, 1723-1732

Ahmed M., 2016, Application of agricultural based activated carbon by microwave and conventional activations for basic dye adsorption review" Journal of Environmental Chemical ENgineering, vol: 4, 89-99,

Akashi B., and O'Brain W., 1996 T"he preparation of activated carbon from a bituminous coal" Internatıonal Journal Of Energy Research, Vol. 20, pp913--922

Aydın A., Demir U., 2011 "Kütahya-Gediz Yöresi Kömürlerinin Elektron Transfer Yöntemi ile Kükürdünün Uzaklaştırılması", Proje No: 2011-17 DPÜ Bilimsel Araştırma Projesi,

Balci S., Doğu T., Yücel H., 1994 "Characterization of activated carbon produced from almond shelland hazelnut Shell" Journal of Chemical Technology Biotechnology, vol: 60, 419-426

Beyhan M., 2003 "Atık çamurlar ve doğal malzemeler ile sulardan florür iyonu gidiriminin araştırılması" Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Ents. Doktora Tezi, İstanbul

Bondosz T., 1999 "Effects of pore structure and surface chemistry of virgin activated carbons on removal of hydrogen sulfide" Carbon, vol:37, 483-491

Cheremission P., N., Ellerbusch F., 1980 "Carbon adsorption handbook" Publisher Inc. The Butter Worth Group Second Printing, Michigan, USA

Çuhadaroğlu D., Uygun O., A. "Production and characterization of activated carbon from a bituminous coal by chemical activation" African Journal of Biotechnology Vol. 7 (20), pp. 3703-3710

Demir U, 2011 "Kütahya Gediz yöresi kömürlerindeki kükürdün uzaklaştırılması" Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, Kütahya

Demir U., 2016 "Characterization and Desulfurization Possibilities of High Sulfur Gediz-Turkey Coal" 2. International Conferance on Engineering and Natural Science" Sarajova, Bosna Herzegovia

Demir U., Aydın A., 2016 "Desulfurization of high sulfur coal by Electron Transfer Method" XV. Mineral Processing Symposium, IMPS 2016, , Istanbul, Turkey

Demiral İ., Demiral H., 2010 "Surface characterization of activated carbons obtained from olive bagasse by chemical activation" Surface and Interface Analysis, vol. 40, 1347-1350

Dermanlı Y., 2006 "Gıda fabrikasyon atıklarından aktif karbon üretimi ve soya yağını ağartma performansının incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst. İstanbul.

Döngel B., 1997 "Zonguldak kömürlerinden aktif karbon üretimi" Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak

Elbinsoy S., 2016 "Yüksek kükürt içeren Kütahya-Gediz yöresi kömürlerinden aktif karbon üretilmesi ve özelliklerinin belirlenmesi" Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya

Eral M., 2002 "Mangal kömüründen üretilen aktif karbon kullanılarak uranyumun selektif adsorpsiyonunun ve uygulama alanlarının incelenmesi" Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst. İzmir.

Gergove K., S., E., 1996 "Effects of activation method the pore structure of activated carbons from apricot stone" Carbon vol.34, 879-888

Gerhartz W. 1986, "Ullmann's Encyclopaedia of Industrial Chemistry" A5 ed. (VCH Weinheim, 1986) p. 95

Grayson M., 1978 "Encyclopedia of Chemical Technology" vol:16 Wiley-Interscience, New York

Gündoğdu A., 2010 "Fabrika çay atıklarından karbon üretimi, karakterizasyonu ve adsorpsiyon özelliklerinin incelenmesi" Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst. Doktora Tezi, Trabzon

Gürses A., Hassani A., Kıranşan M., Acıslı Ö., Karaca S., 2014 "Removal of methylene blue from aqueous solution using by untreated lignite as potantial low cost adsorbent kinetic thermodynamic and equilibrium approach" Journal of Water Process Engineering 2 10–21

Hayashi J., Horikawa T.,, Takeda I., Muroyama K., Ani F., N., 2002 "Preparing activated carbon from various nutshells by chemical activation with K_2CO_3" Carbon 40, 2381–2386

Hsu L., Y., Teng H., "Infuluence of different chemical reagent on the preparation of activated carbons from bituminous coal" Fuel Processing Technology 64, 155–166

Hu Z., Srinivasan M.P., Ni Y., 2001 "Novel activation process for preparing highly microporous and mesoporous activated carbons" Carbon 39, 877–886

Jasienko M., Kedzior K., 2005 "Comparision of moleculer sieve properties in microporous chars from low rank bituminous coal activated by steam and carbon dioxide" Carbon, Vol:43, 944

Jorjani E., Yperman J, Carleer, R. Rezai B. 2006 "Reductive pyrolysis study of sulfur compounds in different Tabas coal samples (Iran)" Fuel 85, pp 114–120,

Jorjani, E,. Rezai, B., Vossoughi, M., Osanloo, M., Abdollahi, M., 2004a, "Oxidation pretreatment for enhancing desulfurization of coal with sodium butoxide" Minerals Engineering, vol: 17, 545-552

Jorjani, E., Rezai, B., Vossouhgi, M., Osanloo, M., 2004b, "Desulfurization of Tabas coal with microwave irridation/peroxyacetic acid washing at 25, 55 and 85 oC" Fuel, vol: 83, 943-949

Karaca F., ve Karaca S., 2014 "KOH ve ZnCl2 aktivasyonu ile Çanakkale-Çan linyitlerinden aktif karbon üretimi ve karakteriszayonu" Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, çilt: 20, sayı 1, 1-8,

Karaca S., Gürses A., Bayrak R., 2004 "Effect of some pretreatment on the adsorption of methylene blue by Baklara lignite" Energy Conversion and Management, vol:45, 1693-1704,
Karaca S., Gürses A., Bayrak R., 2005 "Investigation of applicability of the various adsorption models of methylene blue adsorption onto lignite water interface"" Energy Conversion and Management, vol:46, 33-46,

Kawatra, S.K., ve Eisele, T.C. 2001, Coal desulfurization, high-efficiency preparation methods, Printed by Edwards Brothers, Ann Arbor, Taylor & Francis Inc. 349p.

Kim JW, Sohn MH, Kim DS, Sohn SM, Kwon YS. 2001 "Production of granular activated carbon from waste walnut Shell and its adsorpiton characteristics for Cu ion" Journal of Hazardous Materials, 85(3):301-15.

Kopac T., and Toprak A., 2007, "Preparation of activated carbons from Zonguldak region coal by physical and chemical activation for hydrogen sorption" International Journal of Hydrogen Energy, vol: 32, 5005-5014

Marsh H., 1987 "Adsorption methods to study microporosity in coals and carbons—a critique" Carbon, vol:25, 49-58

Müller R., Mehnert W., 1997 "Particle and surface characterization methods" Medpharm Scientific Publishers, Stuttgart

Orbak İ., 2002 "Tunçbilek linyitlerinden kimyasal aktitivasyon yöntemi ile aktif karbon üretimi" İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

Othmer K., 1992 "Encyclopedia of chemical technology, 4th edition, John Wiley and Sons, New York

Özer A., 1994 "Atıksılardaki ağır metal iyonlarının Rhizopus Arrhizus ve Schizomeris Leibleini Kütze adsorpsiyonun farklı reaktör tiplerinde incelenmesi" Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst. Doktora Tezi, Elazığ

Partick J., 1995 "Porosity in carbons: Characterization and Applications" London, UK: Eds. Edward Arnold.

Pis J., J., Mahamud M., Pajares A., J., Parra B., J., Bansal R., C., 1998 "Preparation of active carbon from coal Part III. Activation of char" Fuel Processing Technology, vol 57, pp149-161,

Pis J., J., Mahamud M., Parra B., J., Pajares A., J., Bansal R., C., 1997 "Preparation of active carbon from coal Part II. Carbonisation of oxidised coal" Fuel Processing Technology, vol 48, pp249-260,

Pis J., J., Teresa A., C., Mahamud M., Fuertes B., A., Parra B., J., Pajares A., J., Bansal R., C., 1996 "Preparation of active carbon from coal Part I. Oxidation of coal" Fuel Processing Technology, vol 47, pp119-138,

Qi Y., Hoadly A., Chaffee A., L., Garnier G., 2011 "Characterization of lignite as an industrial adsorbent" Fuel, vol: 90, 1567-1574,

Sarıcı Ç., 2001 "Bazı Türk linyitlerinden aktif karbon hazırlanabilirliğinin incelenmesi" İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Ents. Yüksel Lisans Tezi, Malatya

Şentorun Ç., Uçak M., Artok L., Sarıcı Ç., 2006 "Preparation and characterization of activated carbons by one step pyrolysis activation from apricot stones" Microporous and Mesoporous Materials 88, 126–134

Şentorun-Shalaby Ç., Astarlıoğlu M., Artok L., Sarıcı Ç., 2006 "Preparation and characterization of activated carbons by one-step steam pyrolysis/activation from apricot Stones" Microporous and Mesoporous Materials 88, 126–134

Solano A.L., Gullon I.M., Lecea C.S.M., Talovera B.S., 2000. "Activated Carbons from Bituminous Coal: Effect of Mineral Matter Content". Fuel, 79: 635-643.

Usmani T., Ahmed T., Ahmed S., Yousufzai A., 1995 "Preparation and characterization of activated carbon from a low rank coal" Carbon Vol. 34, No. 1, pp. 77-82,

www.linkedin.com/pulse/activated-carbon-basics-sean-liu

Wilson J., 1981 "Activated carbon from coal", Fuel, vol:60, pp823-831,

Yener J., 1997 "Atık sulardaki fenol ve klorofenollerin adsorpsiyon yöntemi ile giderilmesi" Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst. Yüksek Lisans Tezi, Ankara

SÜLFÜRLÜ METALİK ARTIKLARIN YERÜSTÜ MACUN DEPOLAMA YÖNTEMİNDEKİ SIZINTI SUYUNUN KİRLİLİK RİSKİ

POLLUTION RISKS OF SEEPAGE WATER IN THE SURFACE PASTE DISPOSAL METHOD FOR SULFURIC METAL TAILINGS

Ataç BAŞÇETİN, Serkan TÜYLÜ*, Deniz ADIGÜZEL, Hasan EKER

İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: stuylu@istanbul.edu.tr

ÖZET: Madencilik faaliyetlerinde artık yönetiminde sürdürülebilir, yerinde, doğru ve yeterli tedbirler alınmadığı takdirde çevresel olarak olumsuzluklar görülebilir. Yerüstünde atmosferik koşullara maruz kalan artıklar yer altı sularını kirletebilirler. Yüzey ve yer altı sularının hareketli olması, su kirliliği sorununu önemli kılmaktadır. Kirlilik, doğal akıntılarla ve nehirler yoluyla yüzeyden taşınabileceği gibi, sızıntı ve katmanlar arası emilim yolları ile de yeraltı sularına karışarak taşınabilir. Özellikle sülfürlü mineral içeriğine sahip artıkların içerisine çevresel faktörlerden ya da atmosferik koşullardan gelen suların nüfuz etmesi sonucu ortamda sülfirik asit oluşabilir. Bu durum pH değerini düşürür ve ortamda Asit Maden Drenajı (AMD) ile beraber ağır metal mobilizyonunun gerçekleşmesine neden olabilir. Bu çalışmada, sülfürlü metalik artıkların taşıdığı bu risk, alternatif depolama yöntemlerinden biri olan yerüstü macun depolama yöntemi ile minimize edilmeye çalışılmış ve bunun için en uygun tasarımın belirlenmesine yönelik olarak laboratuvar ölçekli kabin deneyleri yapılmıştır. Buna göre ölçülen sızıntı sularında, çimento katkısız Tasarım 1'in pH değerlerinin 5-7,5 arasında değiştiği, bazı tabakaları çimento katkılı Tasarım 2 ve Tasarım 3'ün ise pH'ının 10'un olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak artık miktarının %2'sini geçmeyen bir çimento katkısıyla alkali su deşarjı gerçekleşmiş ve bu tasarımların AMD ve ağır metal mobilizasyonunu engelleyici olabilmesi açısından daha ön plana çıkmasını sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Artık, Yerüstü macun, Sızıntı suyu

ABSTRACT: *Environmental problems may be seen in mining activities, if there are no sustainable, on-site and adequate measures in waste/tailings management. Tailings exposed to atmospheric conditions on the surface may contaminate groundwater. The movement of surface waters and groundwater makes an important problem of water pollution. Pollution can be transported from the surface through natural flows and rivers, also seepage and matric suction effect to groundwater. In particular, sulfuric acid may form in the effluent or from the atmospheric conditions into tailings having a sulfur-containing mineral. This situation reduces the pH value and it may cause heavy metal mobilization with acid mine drainage (AMD). In this study, it was tried to minimize this risk of sulfur metallic residues by using one of the alternative surface paste disposal (SPD) method, and the laboratory scale cabin experiments were carried out to determine the optimum design for this method. According to this, it was determined that pH values of Design 1 changed between 5-7.5, Design 2 and Design 3 that had cemented layers is measured pH 10 in the seepage water. As a result, an alkaline water discharge has occurred with a cement additive not exceeding 2% of the tailings amount, and these designs have been more successful in terms of preventing AMD and heavy metal mobilization.*

Keywords: *Tailings, Surface paste, Seepage water*

1. GİRİŞ

Artık, maden işletmelerinde ocakta kazılan tüvenan cevherin öncelikle öğütülerek ince taneli bir granülometriye dönüştürülmesinden sonra konsantre cevher kazanımı için uygulanan fiziksel ya da fizikokimyasal işlemlerden geriye kalan yüksek su içerikli ve güncel ekonomik değeri olmayan malzeme olarak ifade edilebilir. Bu formdaki artıkların artık barajlarında geleneksel yöntemlerle depolanması özellikle güvenlik ve çevresel hususlar açısından tehlikeler ve riskler barındırmaktadır. Macun teknolojisi geleneksel artık barajı yöntemlerine göre başarılı bir alternatif teşkil etmektedir. Yüksek yoğunlukta veya çok az su içeren kek kıvamındaki malzeme, başka bir deyişle macun, özellikle 1995 yılından bu yana çevresel ve ekonomik faydalarından ötürü hızla gelişmekte ve rağbet görmektedir. Yerüstünde depolandığı uygulamalarda malzeme üzerinde gölet oluşumu görülmez ve geleneksel şlam tipine göre daha hızlı yağmur suyu deşarjı gerçekleşebilmektedir. Özellikle atmosferik koşullara maruz kalan artıklar, doğal

akıntılar yoluyla yüzeyden taşınabileceği gibi, sızıntı ve katmanlar arası emilim yolları ile de yeraltı sularına karışarak barındırdığı doğal ortamı kirletici okside bileşenler taşınabilir. Örneğin, yağmur sularının veya madencilik faaliyetleri sonucu oluşan suların sülfürlü mineral içeriğine sahip artıkların içerisine nüfuz etmesi sülfirik aside ve ortamda metal çözünmesine neden olabilir (Çetiner ve diğ., 2006; Meggyes ve Debreczeni, 2006). Bu yolla oluşan sülfid oksidasyonunu takiben AMD oluşabilir. Ayrıca bu durum düşük pH ortamında çözülebilen ağır metallerin çevreye yayılmasına neden olur ve ağır metal mobilizasyonu gerçekleşir (Kahvecioğlu ve diğ., 2001).

Gerek yüzey suları gerekse yeraltı suları, temas halinde oldukları toprak ve kayaç malzemeden mineral çözerler. Çözünmüş ana iyonlar; sodyum (Na^{+}), potasyum (K^{+}), kalsiyum (Ca^{+2}), magnezyum (Mg^{+2}), bikarbonat (HCO_3), klor (Cl^{-}), karbonat (CO_3^{-2}) ve sülfat (SO_4^{-2})'tır. Bu bahsedilen iyonlar, suda elektrik iletimini sağlarlar. Elektrik iletkenliği ise suyun çözünmüş mineral içeriğinin başka bir deyişle tuzluluk derecesinin bir göstergesidir. Birimi µs/cm olup, saf suyun kondüktivitesi 1 µs/cm, doğal suların kondüktivitesi 20-1500 µs/cm arasında değişir. Suyun tuzluluğunun artmasına koşut olarak elektrik akımını iletme kapasitesi de artar (Topçu, 2013).

Su kirliliğinde bir diğer önemli konu ise Asit Maden Drenajı (AMD) oluşumu veya oluşma riskidir. Bünyesinde sülfürlü demir minerali (pirit ve pirotin) bulunduran metalik maden sahalarında, maden artıklarının su, oksijen ve mikroorganizmalar yardımı ile sülfürlü mineralleri çözündürüp asiditesini sülfürik metal iyonlarına bağlı olarak yükseltme olasılığı bulunmaktadır. Asit oluşumunu engelleyebilmek için, oksidasyon reaksiyonunu meydana getiren esas elementler (sülfit, su veya oksijen) üzerine yoğunlaşmak gerekir (Benzaazoua ve diğ., 2000; Dagenais ve diğ., 2005; Karadeniz, 2008).

Bu çalışmada farklı tasarımlara göre oluşturulan yerüstü macun malzemesinin sızıntı sularının pH ve elektrik iletkenliği (Ec) değerleri ölçülmüş ve AMD açısından değerlendirilmiştir. Ayrıca bazı macun tabakalara çimento bağlayıcısı ilave edilerek, yerüstü macun malzemede asit nötralizasyon potansiyelini güçlendirilebilecek çimento katkısının macun malzeme sızıntı suyunun pH ve Ec değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

Çalışma sahasından alınan Pb-Zn proses artıklarının fiziksel, kimyasal ve jeoteknik özellikleri laboratuvar ölçümleri ve analizleri yapılarak belirlenmiştir. Bu kapsamda, helyum piknometre analizine göre yoğunluk değeri 3'ün üzerinde çıkan artık malzeme, döküm için katı içeriği %65-75 arasında hazırlanan yerüstü macun malzemenin yoğunluğu ise yaklaşık 2,1 gr/cm^3 seviyelerine kadar düşmektedir.

Macun karışımlarının tane boyut dağılımlarında istenen 20 μm'dan daha ince tane oranı en az %15 olması gerekliliği, yapılan tane boyut dağılımı analizinin sonucuna göre %41,94 olarak belirlenmiştir. Artık malzemesinin tane boyut dağılımı TS 1500 standardına göre %8'i kil, %72'si silt ve geriye kalan %20'lik kısmı ince kum boyutlarından oluşmakta ve TS EN ISO 14688-2 standardına göre homojen bir dağılıma sahip "çoklu dağılım" sınıfına girmektedir. Modifiye proktor deney sonuçlarına göre belirlenen optimum su muhtevasındaki artığın permeabilite (hidrolik geçirgenliği) katsayısı 4,3x10^{-6} cm/sn olarak belirlenmiştir (Tüylü, 2016).

Söz konusu artık malzemenin XRD analiz sonuçlarına göre artıkların mineralojik kompozisyonu aşağıda yer alan minerallerden oluşmaktadır (Başçetin ve diğ., 2015);

1. Kalsit ($CaCO_3$)
2. Kuvars (SiO_2)
3. Feldspat grubu mineraller (Albite= $Na(AlSi_3O_8)$)
4. Pirit (FeS_2)
5. Kil grubu mineraller
6. Mika grubu mineraller olarak belirlenmiştir.

Artık malzemesinin ICP-MS cihazı ile yapılan elementel analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre artık malzeme içerisinde en fazla %36 değeri ile kuvars minerali bulunmaktadır. CaO ise, cevher zonunun yan kayacının kireçtaşı olması ve flotasyon işleminde şist ve piritin çöktürülmesinde ve pülpün pH değerini ayarlamada kireç kullanılmasından dolayı %23 değeri ile katı artığın içerdiği en yüksek değerlerden biri olarak gözükmektedir. Demirin ağırlıklı olarak piritten, alüminyumun albitten geldiği ifade edilebilmektedir. Kızdırma kaybı değerlerine (LoI) bakıldığında ise organik maddeler ve uçucu bileşiklerin artık malzemesinin yaklaşık

%12'sini oluşturduğu belirlenmiştir. Ağır metallerden olan Cu, Pb, Zn, As ve Cd değerlerinin EPA'da belirtilen maksimum değerleri (sırasıyla 110, 110, 270, 33 ve 4) aştığı tespit edilmiştir. Bu orandaki metallerin, çevresel açıdan toprak ve sular üzerinde önemli oranda toksisite oluşturması beklenir (Su kirliliği yönetmeliği, 2004; Simşek ve diğ., 2012).

Çizelge 1. Pb-Zn katı proses artığının elementel analizi.

Temel Oksitler (%)										
SiO_2	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**MgO**	**CaO**	**Na_2O**	**K_2O**	**TiO_2**	**P_2O_5**	**MnO**	**Cr_2O_3**
36,19	8,08	13,58	2,54	23,26	0,20	2,45	0,29	0,08	0,38	0,010
Baz ve Değerli Metaller (ppm)										
Mo	**Cu**	**Pb**	**Zn**	**Ni**	**As**	**Cd**	**Sb**	**Bi**	**Ag**	**Au**
5,7	217,2	1500,1	1548	29,4	601,8	8,2	23,6	26,5	3,7	0,055
Ba	**Co**	**Rb**	**Sn**	**Sr**	**V**	**W**	**Zr**	**Hg**		
404	15,7	76,4	11	191,3	62	44,6	76,8	0,37		
Diğer Değerler (%)										
							TOT/C	**TOT/S**	**LOI**	**Sum**
							3,16	7,49	12,4	99,48

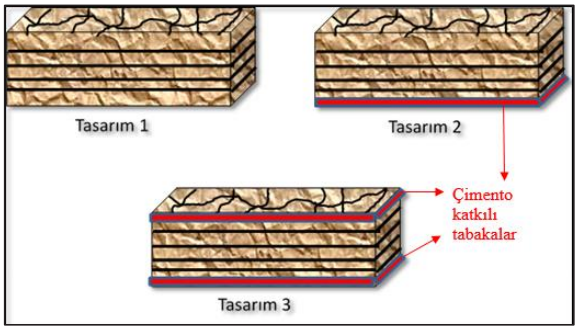
ICP-MS analizizden elde edilen %7,49 S değeri ile artık numunelerinin asit potansiyeli (AP) modifiye asit baz hesaplama (Acid Base Accounting-ABA) yöntemi kullanılarak 234,0625 kg $CaCO_3$/t belirlenmiştir. Ayrıca, mineralojik ve kimyasal analiz sonuçlarına göre, numunedeki nötralizasyon potansiyeli (NP)'nin kaynağının Ca ve Mg içeren mineraller olduğu düşünülmektedir. Bu kapsamda NP, her iki mineralin yüzdeleri Eşitlik 1'de kullanılmak suretiyle yaklaşık 0,9921 hesaplanmıştır.

$$NP\ (Ca + Mg) = (\%Ca / 25{,}00) + (\%Mg / 41{,}15) \quad (1)$$

Net nötralizasyon potansiyeli (NNP) değeri, NP/AP = < 1 ve NP-AP = < -20 kg/t $CaCO_3$ olduğu hesaplanmış ve artık malzemenin bu sonuçlara göre asit üretebileceği belirlenmiştir (Tüylü, 2016).

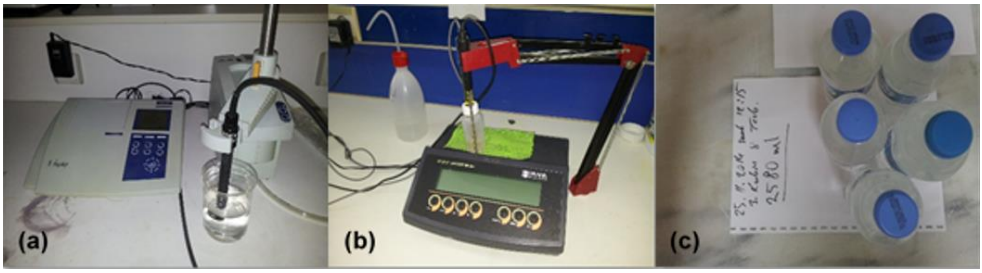
2.2. Yöntem

Farklı yerüstü macun depolama tasarımlarına sahip 200*70*50 cm boyutlarındaki deney kabinlerine her bir tabakanın kalınlığı 4 cm olan macun malzeme toplamda 11 tabaka halinde dökülmüştür. Tasarım 1'de bağlayıcı malzeme kullanılmadan tabakalar üst üste dökülmüştür. Tasarım 2'de sadece en alt tabaka katı malzemenin ağırlıkça %2'sini oluşturacak şekilde çimento katkılı olarak dökülmüş ve Tasarım 3'te ise en alt ve en üst tabaka çimentolu macun malzemeden dökülerek oluşturulmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. Farklı konfigürasyonların yer aldığı test kabin tasarımları (Tüylü, 2016)

Depolanan macun malzeme içerisinden süzülerek drene olan sular, kabinin alt bölgesinde bulunan çıkıştan toplanmıştır. Bu sızıntı suları dönemsel olarak gruplandırılıp etiketlenerek miktarları, pH ve Ec değerleri ölçülmüştür (Şekil 2).

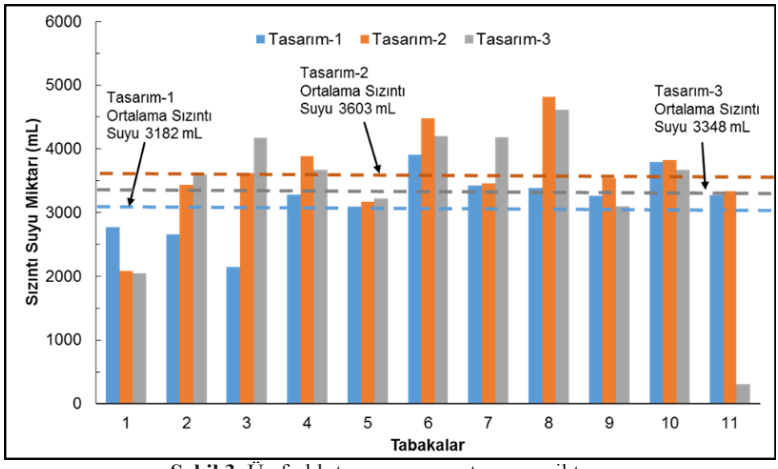


Şekil 2. Sızıntı suyu örneklerinin Ec (a) ve pH (b) cihazları ile ölçümü (Tüylü, 2016).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

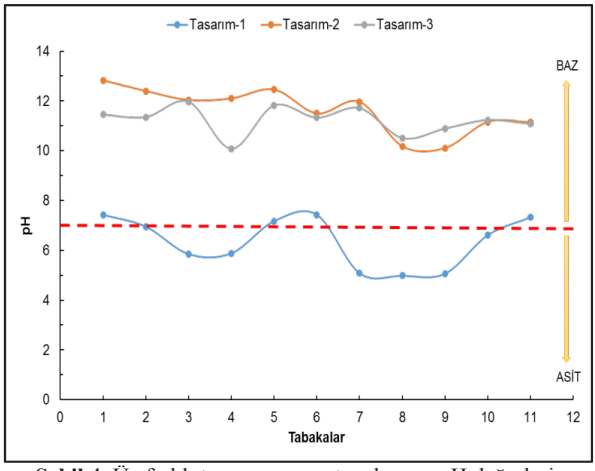
Tabaka döküm sürecinde ölçümü yapılan diğer önemli bir parametre ise sızıntı suyudur. Bu kapsamda her bir tabaka dökümünden sonra laboratuvar ölçekli kabinin alt tarafından toplanan sızıntı suyu miktarı ve pH-Ec değerleri yaklaşık 24 saat içinde ölçülmüştür. Üç farklı tasarıma ait sızıntı suyu miktarları Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3'te görüldüğü üzere üç farklı tasarımın sızıntı suyu miktarlarının ortalaması 3000 mL'nin üzerinde gerçekleşmiş ve birbirine yakın değerler ölçülmüştür. Ancak Tasarım 3'deki 11. tabakanın sızıntı suyu miktarı ~350 mL olarak gerçekleşmiştir. Bu tabakanın çimento katkılı olmasından dolayı kuruma ile beraber tabaka yapısında kılcal çatlakların oluştuğu görülmüştür. Bu çatlaklar, aynı tabakanın altında yer alan 10. tabakanın kılcal emme basıncı artmasında etkili olmuştur. Bu etki kendini kapiler kuvvet olarak göstermiş ve sızıntı suyunun büyük bir kısmının üst tabakada kalarak buharlaşma yoluyla ortamdan uzaklaşmasını sağladığı düşünülmektedir. Böylece en üst tabakadaki

kuruma süresi yavaşlamış ve çatlakların genişlemesinin önüne geçilmiştir. Bu durum Tüylü (2016) doktora tezinde yapılan çatlak analizinde açıkça görülmektedir.

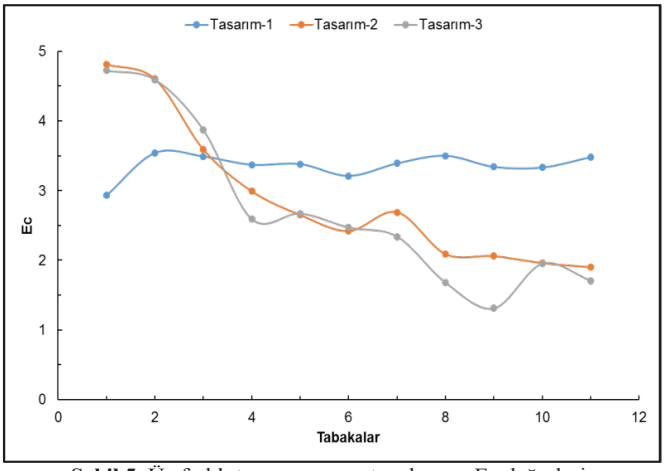


Şekil 3. Üç farklı tasarımın sızıntı suyu miktarı.

Her bir tabaka dökümünden sonra toplanan sızıntı sularının pH ve Ec değerleri ölçülmüş, pH değerleri Şekil 4'te ve Ec değerleri Şekil 5'te verilmiştir. Tasarım 1'in pH değerlerinin çoğunlukla 7'nin altına düştüğü Şekil 4'te gösterilmektedir. Buna karşın Tasarım 2 ve 3'ün en alt tabakalarının çimento katkılı olması, tabaka içerisinde alkali silis reaksiyonları oluşturmuş, sonrasında alkali mineralleri çözdürdükleri ve bir bariyer görevi üstlenerek pH değerlerinin 10'un altına düşmesine izin vermedikleri anlaşılmaktadır.



Şekil 4. Üç farklı tasarımın sızıntı sularının pH değerleri.



Şekil 5. Üç farklı tasarımın sızıntı sularının Ec değerleri.

Şekil 5'te ise Tasarım 1'in Ec değerlerinin ilk dökümden sonra 3'ün üzerinde kaldığı ve sonraki her dökümde birbirine yakın değerlerde devam ettiği görülmektedir. Tasarım 2 ve 3'te ilk tabakadan sonra Ec değerlerinin bir düşüş eğilimine girdiği ve Tasarım 1'e göre iyon çözünmesinin azaldığı belirlenmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, öncelikle artığın elementel içeriğindeki sülfür miktarından yararlanılarak ABA yöntemi ile artığın asit üretebilme potansiyeli ortaya konulmuş ve özellikle AMD açısısından macun malzemelerin sızıntı sularındaki pH-Ec değerleri takip edilmiştir. İlk olarak referans kabini yani Tasarım 1'deki tabakaların sızıntı suyu pH değerleri ölçülmüş ve tabaka döküm süresince 5-7,5 arasında değişimler olduğu belirlenmiştir. 7.,8. ve 9. tabaka sızıntı sularında pH değeri 5'e kadar düşerek Ec değerlerinin yükselmesine yani çözünmüş iyon varlığının artmasına neden olmuştur. Bu da ortamdaki ağır metal mobilizasyonu ve AMD riskinin yer yer arttığını işaret etmektedir. Ancak son iki tabaka dökümünden sonra alınan sızıntı suyu pH değerlerinin 7 ve üzerinde olduğu ölçülmüştür. Tasarım 1'in aksine çimentolu tabakası olan Tasarım 2 ve Tasarım 3'teki pH değerleri 10'un üzerinde değerler almış ve alkali bir su deşarjı gerçekleştirmişlerdir. Aynı zamanda tabaka döküm sürecinin sonuna doğru Ec değerleri 2000 µS/cm'nin altına düşmüştür. Ayrıca ıslanma-kuruma testlerinde oluşan sızıntı suyu Ec değerleri 3000 µS/cm'yi geçmemiş ve pH değerleri ~7 seviyelerinde ölçülmüştür. Sızıntı suyunun yüksek pH değeri, içersinde pek çok ağır metal ve eser

elementin çözünmesine ve buna bağlı olarak bir ağır metal kirliliğinin oluşmasına engelleyici bir değer olarak ifade edilebilmektedir. Şimşek ve arkadaşlarının 2012 senesinde yapmış oldukları bölgedeki çalışmada ölçülen asidik maden suyunun elektriksel iletkenlik (Ec) değerleri 10200-14530 µS/cm ve pH değerleri 1,91-2,27 arasında ölçülmüştür. Aynı çalışmada Ec değerleri yüzey ve yer altı sularında 437-2603 µS/cm arası değerler olarak belirtilmiştir. Bu çalışmada ise ölçülen en yüksek Ec değeri 4810 µS/cm olup AMD riskinin çok altında olduğu görünmektedir. Dolayısıyla McGregor ve Blowes (2002) tarafından çimento kullanımının, sülfit taşıyan maden artıklarının depolanmasında çevresel açıdan oluşabilecek jeokimyasal zararları azaltıcı bir etkiye sahip olduğu ifadesi bu çalışmada da görülmüştür. Bu çalışmada özellikle Tasarım 3'ün hem en alt ve hem en üst tabakalarının çimentolu olması, bu tasarımın AMD ve ağır metal mobilizasyonunu engelleyici olabilmesi açısından daha ön plana çıkmasını sağlamıştır.

Sonuç olarak çimento katkısı, sızıntı suyunun pH değerlerini bazik ortamda tutmuş, düşük pH değerlerinde oluşabilecek AMD ve ağır metal mobilizasyonu risklerini minimize ettiği anlaşılmaktadır. Bunun yanı sıra çimentolu tasarımlarda Ec değerlerinin ya da çözünen iyon miktarlarının azalması bu tezi desteklediği söylenebilmektedir.

KAYNAKLAR

Başçetin A., Tüylü S., Adigüzel D., Akkaya U.G., 2015b, "The Study Of Optimum Tailing Storing Conditions For Surface Paste Disposal Method", *SME Annual Meeting & Exhibit*, Denver, ABD, 15-18 Şubat 2015, vol.15-019, pp.1-5.

Benzaazoua, M. Bussiere, B., Kongolo, M., McLaughlin, J., Marion, P., 2000, "Environmental desulphurization of four Canadian mine tailings using froth flotation", *Int. J. Miner. Process.* 60 (2000), 57–74.

Çetiner, E.G., Ünver, B. ve Hindistan, M.A., 2006, "Maden Atıkları İle İlgili Mevzuat: Avrupa Birliği ve Türkiye", *Madencilik*, Cilt 45, Sayı 1, s. 23-34.

Dagenais A., Aubertin M., Bussière, B., Martin V., 2005, "Large Scale Applications Of Covers With Capillary Barrier Effects To Control The Production Of Acid Mine Drainage", *Post-Mining 2005*, November 16-17, Nancy, France.

Dinçer, S., 2014, "*Çanakçı Deresi Su Kalitesi ve Kirlilik Düzeyinin Belirlenmesi*" Yüksek Lisans Tezi, Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı.

Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., 2001, ''Metallerin Çevresel Etkileri-I'' İTÜ, Metalürji ve Malzeme Müh. Bölümü, *Metalurji Dergisi*.136, İstanbul (2001) 47-53.

Karadeniz, M., 2008, "*Sülfürlü madenlerin sorunu asit maden drenajı ve çözümü*", TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Fersa Matbaacılık, Ankara, syf: 231, ISBN: 978-9944-89-600-9.

McGregor, R.G. and Blowes, D.W., 2002, "The physical, chemical and mineralogical properties of three cemented layers within sulfide-bearing mine tailings", *Journal of Geochemical Exploration*, 76, pp.195–207.

Meggyes, T. and Debreczeni, A., 2006, "Paste technology for tailings management", *Land Contamination& Reclamation,* 14 (4), 2006 EPP Publications Ltd.

Simşek, C., Gündüz, O. ve Elçi, A., 2012, "Terkedilmiş Balya (Balıkesir) Pb-Zn Maden Atıklarının Ağır Metal ve Doğal Radyoaktivite İçeriği ve Çevre Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi", *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, Cilt:2, Sayı:1, s:43-55.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 2004, Resmi Gazete Tarihi: 31.12.2004 Resmi Gazete Sayısı: 25687.

Topçu, A., 2013, "*Su Kalite Özellikleri*", www.agri.ankara.edu.tr/**su**/1326_**SU**_BB_3.ppt, [Ziyaret tarihi: 05.06.2015].,

TS 1500, 2000, "*İnşaat mühendisliğinde zeminlerin- Sınıflandırılması*", Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN ISO 14688-2, 2004, "*Jeoteknik Araştırmalar ve Deneyler - Zeminlerin Tanımlanması ve Sınıflandırılması - Bölüm 2: Sınıflandırma İlkeleri*", Türk Standartları Enstitüsü.

Tüylü, S., (2016), "*Maden Tesis Atıklarının Yerüstünde Depolanmasında En Uygun Tasarım Koşullarının Belirlenmesi*", Danışman: Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN, II. Danışman: Prof. Dr. Mostafa BENZAAZOUA, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Ocak 2016, 195 Sayfa.

BİR DOĞAL TAŞ-MERMER OCAĞINDA BİRİKMİŞ ATIKLARIN ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE DEĞERLENDİRİLMESİ: SÖĞÜT ÖRNEĞİ

THE USE OF REMOVABLE WASTES IN A MARBLE QUARRY IN THE CEMENT SECTOR: A CASE STUDY OF SOGUT

Murat YURDAKUL[1*], Hürriyet AKDAŞ[2]

1: Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, TÜRKİYE

2: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Böl., Eskişehir, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: murat.yurdakul@bilecik.edu.tr

ÖZET: Geçmişten günümüze doğal taşlar hem yapı hem de kaplama taşı olarak yaygın olarak kullanılırlar. Doğal taş üretiminin ilk aşaması; klasik açık ocak işletmeciliğinden, gelişen teknoloji ile yeraltı üretimine kadar farklı yöntemlerle başlar. Blok üretimi başta olmak üzere, bloklardan levha ve plaka elde edilmesi ile ebatlı fayans üretimi dâhil her aşamada doğal taş atık miktarının oldukça fazla olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada Bilecik ili Söğüt ilçesi sınırları içerisinde yer alan bir doğal taş ocağına ait ocak ömrü boyunca birikmiş ve yaklaşık 5.000.000 ton kütleye sahip ve ebatları 2 mm'den 2-3 m^3'e kadar değişen düzenli/düzensiz yığınlar halinde bulunan atıkların seyyar bir kırıcı yardımıyla boyutlandırılarak, ocağa 23 km mesafede bulunan bir çimento üretim işletmesine beslenmesi örneği açıklanmıştır. Söz konusu proje gerçekleşme aşamasında olup ön anlaşması yapılmıştır. Planlanan proje ile yıllık 350.000 ton malzemenin çimento üretim tesisine, beyaz çimento üretimi için verilmesi planlanmaktadır. Bu anlamda ocak içerisine yerleştirilecek seyyar bir kırıcı üretim aşamasında olup, kırıcı üretici firma tarafından getirilen demo makine ile pilot üretimler gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mermer atığı, Beyaz çimento, Atık kullanımı

ABSTRACT: *In the past, daily natural stone is widely used both as a building and as a covering stone. The first stage of natural stone production; Starting with classical open pit mine operation, developing technology and underground production. It is known that the amount of natural stone waste is considerably higher at each stage including the production of tiles with size, by obtaining plate and plate from blocks, especially the*

block production. In this study, a natural stone quarry located within the boundaries of the Söğüt district of Bilecik province has accumulated over the life of the quarry and there are wastes in the form of regular / irregular masses with a mass of about 5,000,000 tons and sizes ranging from 2 mm to 2-3 m^3. These wastes will be slaughtered with a mobile crusher and fed to a cement production operation which is 23 km away. This project is in the realization phase and preliminary agreement has been made. With the planned project, 350.000 tons of material is planned to be given to cement production operation and white cement production. In this sense, a mobile crusher to be placed in the stone quarry is at the production stage and pilot production is carried out with the demo machine brought by the crusher manufacturer.

Keywords: *Marble waste, White cement, Usage of waste*

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze doğal taş kullanımının popülerliği neredeyse hiç değişmemiş, artan talebi karşılamak için üretim yöntemleri değişim ve gelişim göstermiştir. İlkelden moderne doğal taş üretim metotlarında en önemli sorunlardan bir tanesi de üretim yöntemi ne olursa olsun doğal taşın yapısı gereği atık ya da artık denilen malzemenin varlığıdır. Hem doğal taş ocaklarında hem de işleme tesislerinde üretimin bir sonucu olarak ortaya çıkan artıklar, üretim anlamında birçok zorluğu da beraberinde getirir. Artıklar ocak üretim maliyetini artırırken, çevresel kirliliğe de neden olmaktadır (Çelik ve Emrullahoğlu, 1999). Son yıllarda hem yasal düzenlemelerle hem de artan çevre duyarlılığı ile mermer artıklarının bölgesel olarak değerlendirilmesi anlamında pek çok çalışma yapılmıştır. Gürtegin ve Ünlü (2013), çalışmalarında Elazığ ili mermer işletmeciliğinde katı atık yönetimini incelemiş ve atık yönetimi sistemi ile doğal kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanmasına vurgu yapmışlardır. Çelik ve Tur (2012) yaptıkları çalışmalarında, mermer işleme tesislerinin yoğun olarak yer aldığı organize sanayi bölgesinde incelemelerde bulunmuş ve Afyonkarahisar organize sanayi bölgesi doğal taş atık depolama sahasındaki mermer atıklarının özelliklerini ele almışlardır. Söz konusu çalışmada yıllık 455500 ton katı atığın Afyon Çimento T.A.Ş.'nde kullanıldığına vurgu yapılmıştır. Bilgin ve Koç (2013), mermer atıklarının görsel kirlilik oluşturduğuna da vurgu yapmış ve söz konusu atıkların oluşturduğu kirliliğin kısa veya uzun vadede kabul edilebilecek sınırlara indirgenebilecek özellikte olduğunu

belirtmişlerdir. Aynı çalışmada yazarlar mermer ocaklarında ortalama olarak üretimin %40-60'ının atık olarak atıldığına da dikkat çekmişlerdir. Bu çalışmalardan da görüldüğü gibi mermer ocaklarındaki üretimin büyük bir bölümü artığa dönüşmekte söz konusu artıklar da hem çevresel hem de ekonomik olarak kayıplara neden olmaktadır.

Atık sorununun ortaya konulmasından ziyade mevcut atıklarla neler yapılabileceğine dair de literatürde pek çok çalışma mevcuttur. Uğur ve Gündüz çalışmalarında mermer atıkları ile katkılı porland çimentosunu karıştırarak elde ettikleri betonun kür sürelerini ve elde edilen ürünün fiziksel ve mekanik özelliklerini irdelemişlerdir (Uğur ve Gündüz, 1995). Büyüksağiş mermer toz atıklarının kullanımı ve ticari olarak değerlendirilebilmesi ile ilgili bir çalışma yapmıştır (Büyüksağiş, 1995). Zorluer ve Usta (2003) yaptıkları çalışmada zeminlerin atık mermer tozu ile iyileştirilmesini hedeflemişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre atık mermer tozunun, zemin iyileştirilmesinde, Meşelik kili ile birlikte başarıyla kullanılabileceği ortaya konulmuştur. Mermer tozu katkısının kilin şişme potansiyelini etkilediği ve katkı miktarının etkili olduğu oranın %5 olduğu sonucuna varılmıştır. Doğal taş atıklarının kullanım alanlarından biri de hayvan yemi katkı maddesidir. Bu konuda da Sabah ve Çelik'in (Sabah ve Çelik, 2001) çalışmaları mevcuttur. Akbulut ve Gürer (2003) mermer atıklarının yol katmanlarında tekrar kullanımı incelemişler ve Afyon bölgesinden çıkan artık miktarı ile Afyon Belediyesi'nin yol yapımında tükettiği agrega miktarının kolayca karşılanabileceği sonucuna varmışlardır.

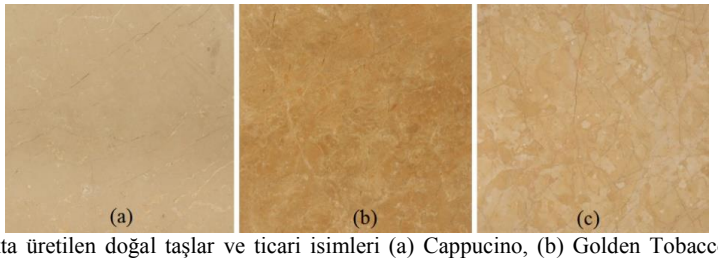
Bu çalışmada, Bilecik ili Söğüt ilçesi sınırları içerisinde yer alan ve 1987 yılından beri faaliyet gösteren ve yıllık üretimi yaklaşık 50.000 ton olan bir doğal taş açık işletmesindeki birikmiş atıkların çimento sektöründe değerlendirilmesi örnek olayı ele alınmıştır. Bu birikmiş atıkların, açık işletmeye 23 km mesafede bulunan bir çimento üretim tesisinin istediği boyuta getirilmesi için, söz konusu açık işletmede yapılan çalışmaları kapsamaktadır. Bu anlamda açık işletmede konumlandırılan bir demo seyyar kırıcı ile atık malzemenin çimento tesisine uygun boyuta getirilmesi için pilot üretim denemeleri yapılmıştır. Pilot çalışmalarının olumlu sonuçlanması üzerine, ön anlaşma yapılmış olup, yeni bir seyyar kırıcı makine için yatırım planlanmıştır. Planlanan bu projeye ve anlaşmaya göre yıllık 350.000 ton uygun boyutlu atık malzemenin çimento tesisine beyaz çimento üretimi için sevkiyatı planlanmaktadır.

2. OCAĞIN GENEL DURUMU VE MERMER ARTIKLARINA AİT BULGULAR

Yaklaşık 30 yılıdır doğal taş üretim faaliyetlerini sürdüren bu açık işletme ve çevresinde önemli miktarda atık malzeme birikmiştir. Blok üretim esnasında oluşan bu atıklar, açık işletme üretim faaliyetlerini kısıtladığı, çevre kirliliğine neden olduğu gibi, yeni üretim alanlarının yaratılmasını da engellemektedir.

Ortalama 300 gün çalışma takvimine sahip doğal taş işletmesi 7 kademeden oluşmakta olup, aynı anda 5 kademede üretim yapılmaktadır. Kademe yükseklikleri yaklaşık 8 metredir. Yıllık yaklaşık 50.000 ton üretim kapasitesine sahip açık işletmede, sezona göre değişmekle birlikte 60 kişi çalışmaktadır. Söz konusu ocağa ait genel bir görünüm Şekil 1'de verilmektedir. Ocak üretiminde jeolojik yapı farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle 3 farklı ticari isimle toplam 10 farklı seleksiyonda doğal taş üretimi gerçekleştirilmektedir. Şekil 2'de doğal taşların ticari isimleri ve her gruba ait taş örnekleri görülmektedir.

Şekil 1. Çalışılan ocağa ait genel bir görünüm.



Şekil 2. Ocakta üretilen doğal taşlar ve ticari isimleri (a) Cappucino, (b) Golden Tobacco, (c) Golden Primrose

2.1 Ocaktan Alınan Numuneler Ait Fiziko-Mekanik Ve Kimyasal Özellikler

Her üç doğal taşa ait fiziko-mekanik özellikler Çizelge 1'de sunulmaktadır. Çizelgede σ_c: Tek eksenli basınç dayanımı, BTS; Brazilian çekme dayanımı, PLI; nokta yük dayanımı, SH; Shore sertliği, A_b; atmosfer basıncında su emme, ρ_b; görünür yoğunluk, ρ_0; açık gözeneklilik değerlerini ifade etmektedir (Yurdakul, 2010). Ocaktan alınan numunelere ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2'de sunulmaktadır.

Çizelge 1. Doğal taş örneklerine ait fiziko-mekanik özellikler

Taşın Ticari İsmi	σ_c (MPa)	BTS (MPa)	PLI (MPa	BS (MPa)	SH (MPa)	A_b (%)	ρ_b (g/mm^3)	ρ_0 (%)
Cappucino	143.53 (±30.06)	6.18 (±1.38)	7.88 (±2.19)	15.68 (±3.93)	64.7 (±2.90)	0.17 (±0.04)	2.70 (±0.003)	0.45 (±0.10)
Golden Tobacco	184.48 (±24.96)	8.06 (±0.64)	9.74 (±1.86)	16.72 (±4.21)	61.15 (±2.82)	0.69 (±0.11)	2.73 (±0.012)	1.88 (±0.29)
Golden Primrose	116.25 (±17.83)	6.02 (±0.56)	8.14 (±1.92)	18.88 (±1.44)	50.00 (±4.22)	1.02 (±0.11)	2.66 (±0.021)	2.72 (±0.28)

Çizelge 2. Ocaktan alınan numunelere ait kimyasal analiz sonuçları (%)

SiO_2	Al_2O_3	Fe_20_3	CaO	MgO	P_2O_5	K_2O	Na_2O	SO_3	Kızdırma Kaybı
0.65	0.24	0.04	52.41	3.83	0.00	0.03	0.020	0.010	45.37

Numunelerini mineralojik analiz sonuçlarına göre söz konusu bölgede Söğüt beji olarak anılan ve 3 farklı ticari isimle pazarlanan örneklerden Cappucino'nun; intraklastik dolomitik kireçtaşı, Golden tobacco ticari isimle anılan taşın dolomit, Golden Primrose'un ise dolomitik kireçtaşı olduğu belirlenmiştir (Yurdakul, 2010). İlgili analizler yapıldıktan sonra ocakta yapılan bir diğer çalışma da artıkların ocak içerisinde yerleşimleri ve artıkların kullanım amacına göre kırma, gevşetme ve nakliye planlarının hazırlanması işlemleri yapılmıştır.

2.2 Artıkların Ocak İçerisinde Yerleşimi ve Genel Durum

Ocak içerisinde yığınlar halinde bulunan artıklar yıllar içerisinde üretim faaliyetleri sonucu ortaya çıkmış, hacimsel olarak yaklaşık 5.000.000 ton kütleye sahiptir. Artık ebatları 2 mm'den 2-3 m^3'e kadar değişmektedir (Şekil 3). İlgili analizler yapıldıktan ve ocak içerisindeki artık yerleşim planı çıkarıldıktan sonra düzenli/düzensiz yığınlar halinde bulunan kırıklı ve ebatlı doğal taş mermer plaka ya da levhasına dönüştürülemez nitelikte mermer atıklarının çimento fabrikasında değerlendirilebileceği kanaati oluşmuş ve görüşmeler başlatılmıştır.

3. ÇİMENTO FABRİKASI İLE GÖRÜŞME SÜRECİ VE ÖN ANLAŞMA

Ocak içerisindeki yığın atıkların çimento fabrikasında, çimento üretiminde kullanılabilir hale gelebilmesi için yapılan ön görüşmeler sonucunda tane boyutunun 50 mm'nin altında olması gerektiği bildirilmiştir.

Şekil 3. Artıkların ocak içerisinde yerleşimine ait genel görüntü.

Yapılan ön görüşmelerde atık sahası ile çimento fabrikası arasındaki mesafe ölçülmüş ve söz konusu mesafe 23 km olarak belirlenmiştir. Bu tür yığın malzemenin naklinde en önemli sorun nakliye maliyeti olduğu bilinmektedir. Çimento fabrikası ile yapılan ön anlaşmada; firma protokol metninde "Yetkililerin ilgili sahadan almış oldukları numuneler kimyasal analize tabi tutulmuş ve analiz sonuçlarına göre kimyasal açıdan mermer pasalarının ve artıklarının çimento üretim süreçlerinde teorik olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir" ibaresi yer almaktadır. Bu tespitlerden ve ön protokolden sonra çimento fabrikası firmadan 20.000 ton deneme amaçlı malzeme talep etmiştir. Talep edilen deneme malzemesinden sonra revize edilen protokol metninde çimento fabrikası yıllık 250.000-300.000 ton malzeme alabileceğini taahhüt etmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi istenilen malzemenin 50 mm'nin altında olması gerektiğine vurgu yapılmıştır.

4. KIRICININ SEÇİMİ VE İLK KIRMA İŞLEMLERİ

Çimento fabrikası ile ilk protokol anlaşmasının yapılması ile birlikte 20.000 ton deneme malzemesinin nakli gündeme gelmiştir. Bu nedenle uygun kırıcının seçilmesi ve deneme üretimlerinin gerçekleştirilmesi planlanmıştır.

4.1 Kırıcının Seçimi

20.000 ton deneme malzemesinin üretimi için ocak içerisinde mermer artıklarının istenilen boyuta indirilebilmesi dolayısıyla bir kırma tesisinin gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu aşamadan sonra kırıcının seyyar mı yoksa sabit mi olacağı hususu ele alınmıştır. Sabit kırıcılarda çevre mevzuatının uygulanıyor olması, sabit kırıcıyla ocak içi nakliye maliyetlerinin de sürece katılacağı düşünülerek seyyar bir kırıcı alınması sonucuna ulaşılmıştır. Seyyar kırıcı ile ocak içerisinde farklı bölgelerde yer alan artıkların bertarafı mümkün olacak, bunun yanında büyük ebatlı artıkların çıkacağı sahalarda artığın hemen yerinde, kırıcıya beslenerek çimento fabrikasının istediği ebatlara getirilmesi planlanmıştır. Ön anlaşma metninde belirtilen talebi karşılayabilmek için 1 vardiyalık üretim periyodunda, atık halindeki yaklaşık 250 m^3 malzeme kırılarak yaklaşık 600 ton nihai ürüne dönüştürülecek bir kırıcı seçimi yapılması planlanmıştır. Söz konusu kırıcının ocak içerisinde rahat hareket edebilmesi için paletli, enerji maliyetlerini azaltmak için de dizel-elektrik tahrikli seçilmesine karar verilmiştir. Orta ve uzun vadede, satın alınacak seyyar kırıcının başka ocaklara da nakli ve kiralanması ile başka ocakların da atıklarının yol kaplama malzemesi, çimento sanayi girdi hammaddesi gibi atıkların hem yol düzenleme malzemesi (mıcır) olarak kullanılması planlanmıştır.

Elektrikli taş kırma makinesi, diğer hidrolik sistemli makinelere göre işletme maliyeti çok düşük makinadır. Elektrikli makinalara alternatif olan dizel yakıtlı hidrolik sistemli makinelerin hem çalışırken 1 saatte tükettikleri dizel yakıt miktarı çok yüksektir hem de sistemin kendisinden kaynaklanan nedenlerden dolayı işletme maliyetleri çok yüksektir. Bu da üretimdeki birim maliyeti doğrudan etkilemektedir. Yapılan görüşmeler sonucunda seçilen elektrikli mobil kırıcı, çalışacağı şantiyede trafo var ise direkt elektrikle çalışabilmektedir. Trafonun olmadığı işletmelerde ise üzerindeki jeneratör ile elektrik üretip çalışmaktadır. Tüketeceği elektiriği üretirken saatte sadece 25/28 lt arası yakıt tükenmektedir. Bu tüketim hidrolik makinelerde ortalama 40/45 lt'dir. Yapılan görüşmeler sonucunda çalışma ağırlığı 42.000 kg, çene açıklığı 110 cm, saatlik kapasitesi ortalama 250 ton/saat olan, üzerindeki jeneratörün gücü 330 kW olan ve alternatör ise gücü 400 kW'lık, paletli tip hidrolik yürüyüşün uzunluğu 4 m olan seyyar bir kırıcı seçilmiştir. Tüm bu çalışmların sonucunda ocağa deneme amaçlı ve

yukarıda belirtilen özelliklerde seyyar bir kırıcı getirilerek deneme kırımlarının yapılmasına başlanmıştır.

4.2 İlk Kırma İşlemleri

Tedarikçi firmadan sağlanan ve yukarıda özellikleri tanımlanmış kırıcı ile ocak içerisinde kırma planı dahilinde ilk pilot denemeler gerçekleştirilmiştir. İlk kırma işlemleri aktif çalışan kademe yakınında yapılmış olup, elmas tel kesme işlemleri sonucu oluşan artığın kırılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Kırılan malzeme, üretim yapılmayan bir alt kademeye aktarılmış, böylece yeni stok sahası oluşturulmamıştır. Bunun yanında kırıcıya malzeme beslemek amacıyla bir adet ekskavatör, kırıcı ile birlikte çalıştırılmıştır (Şekil 4). İlk kırma işlemleri ile elek seçimi ve bunkere besleme şekli hakkında fikir edinilmiştir. Şekil 5'de ocak içerisinde kırıcının çalışmasına ait bir görüntü verilmektedir. İlk kırma işlemlerinde dikkat edilen bir diğer husus da kırıcı bunkerine beslenecek malzemede tıkanma olmasını engellemek amacıyla parça boyutunun kontrol edilebilir olmasını sağlamaktır. Bu nedenle yine kırıcıyla birlikte bir hidrolik kırıcı ataçmanı yapılmış bir ekskavatörün de kullanılması gerektiği de tespit edilmiştir. Kırıcının çalıştırılması sonucu elde edilen ürünlere ait resimler Şekil 6'da verilmektedir.

Şekil 4. Kırıcıya beslenen malzeme genel görünümü.

5. KIRMA PLANI VE NİHAİ ÜRETİM DENEMELERİ

Yapılan ilk kırma denemeleri sonucunda, ocaktan 6 farklı bölgeden toplam 20.000 ton malzemenin çimento üretim tesisine nakli sağlanmıştır. Ocakta mevcut ocak yollarının genişletilmesi, ocak genişleme sahasının açılması, aynada üretim yapılan kademede yeni atık birikmesini engellemek amacıyla 6 farklı bölge seçilmiştir. İlk olarak kırıcının

ocak içerisinde ilerlemesinin kolay olduğu üretim kademesinde kırma denemeleri yapılmıştır. Burada sayalama işlemleri sonucu moloz olarak tabir edilen ve blok kesicilerde işletilmesi mümkün olmayan parçalar bir hidrolik kırıcı vasıtasıyla ebatlanarak 60 cm'nin altına indirilmiş ve kırıcıya beslenmiştir. Söz konusu artıklar bir alt kademede yığın halinde nakliyeye hazırlanmıştır. Bir diğer üretim bölgesi de ocak yollarında biriken, yıllar içerisinde biriken ve işletilemez ebattaki bloklardır. Bu bloklar da yine bir hidrolik kırıcı vasıtasıyla parçalanarak kırıcıya beslenmesi sağlanmıştır. Bu parçalar ocak içerisinde ocak yollarının zemin kaplamasında örtü malzemesi olarak kullanılmıştır. Seçilen diğer üretim bölgesi de ocak genişleme alanında yıllar içerisinde biriken, sıkışmış yığınlardır. Bu yığınlardan üretim yapılırken bir ekskavatör yardımıyla önce gevşetme yapılmış, uygun malzeme kırıcıya beslenmiş ve görece büyük ebatlılar ise yine bir hidrolik kırıcı vasıtasıyla parçalandıktan sonra kırıcıya beslenebilecek uygun ebatın üretimi sağlanmıştır (Şekil 7).

Şekil 5. Seyyar kırıcının ocak içerisinde yerleşimi ve ilk kırma işlemleri.

Şekil 6. İlk kırma işlemleri sonucu elde edilen malzemeler.

Tüm bu deneme üretimlerden sonra demo olarak kullanılan kırıcının bir takım iyileştirmelerden sonra üretimde kullanılabileceği kararı alınmıştır. Bu durumda kullanılacak nihai kırıcı; demo kırıcıdaki özelliklerle yaklaşık aynı özelliklere sahiptir. Nihai kırıcı elektrikle çalışan, çene açıklığı daha büyük ebatlı malzemelerin de

kırılmasını sağlayan ve kırıcı bunkerindeki tıkanmaları engellemek amacıyla da 130 cm olarak revize edilmiştir. Bu kırıcının saatlik kapasitesi ortalama 300 ton olması arzu edilmiştir. Mevcut kırıcı üzerinde kırıcı besleme bunkerinin büyük parçaları da alabilmesi ve ekskavatörün kırıcı başında daha fazla yükleme yapabilmesi için büyütülmesine karar verilmiştir. Bunun yanında kırıcı çarpma plakalarının da hem sağlamlaştırılması hem de yedeklerinin de bulundurulması sonucuna varılmıştır.

Şekil 7. Ocakta biriken yığınlarda gevşetme işlemi.

5 farklı bölgeden alınan numuneler çimento retim tesisine gönderilmiş ve çimento tesisinin kendi laboratuarlarında gönderilen malzemenin analizinin yapılması sağlanmıştır. Bunun nedeni, özellikle yığın halinde bekleyen artıkların toprak içeriyor olması ve bunun da çimento üretiminde doğurabileceği sakıncaların önceden bilinmesini sağlamaktır. Bu anlamda 5 farklı bölgeden alınan örneklere ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3'te sunulmaktadır. Çizelgeden elde edilen ve çimento üretim tesisinden alınan raporlara göre numunelerin tamamı ister tek tek olsun isterse harmanlaşmış halde olsun, çimento üretim prosesinde kullanılabilir nitelikte olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 3. Ocaktan farklı bölgelerden alınan numunelere ait kimyasal analiz sonuçları

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_20_3	CaO	MgO	P_2O_5	K_2O	Na_2O	SO_3	Kızdırma Kaybı
Blok kırığı	0,14	0,15	0,02	49,12	4,29	0,00	0,03	0,02	0,04	45,64
Pasa yığını	0,32	0,17	0,02	54,35	0,93	0,00	0,01	0,02	0,00	44,15
Patlatmadan gelen artık	0,31	0,30	0,15	46,36	6,64	0,00	0,01	0,01	0,01	46,03
Sayalama artığı	1,86	0,82	0,26	48,40	4,24	0,00	0,07	0,02	0,04	44,28
Eski yığından gelen	0,78	0,26	0,07	54,25	0,51	0,00	0,04	0,02	0,01	43,64

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Doğal taş üretimi yapan işletmelerde en büyük sorunlardan birisi de artıkların yarattığı sorunlardır. Zaman içerisinde yığınlar halinde biriken artıklar hem ocak içerinde genişleme sorunlarına neden olmakta hem de çevresel anlamda sorunlara yol açmaktadır. Bu çalışmada Bilecik ili Söğüt İlçesi'nde yer alan bir doğal taş işletmesinde oluşan artıkların, çimento üretim prosesinde kullanılabilirliğini sağlamak için alınacak seyyar kırıcıya ait genel bilgiler sunulmaktadır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, CaO oranı yüksek mermer atıkları çimento üretim proseslerinde istenilen ebata getirildikten sonra kullanılabilmektedir. Burada en önemli faktör uygun kırıcının seçilerek istenilen parça boyutunun sağlanması ve ocak içerisinde yıllar içerisinde birikmiş yığınların ve yeni oluşan artıkların ocak genişleme planına uygun bir şekilde kırılmasını sağlamaktır. Bir diğer önemli husus da artıkların, tüketim yerine olan uzaklığıdır. Bunun nedeni artan nakliye giderleridir. Bu çalışmada ocak döküm sahası ile çimento üretim tesisi arasındaki mesafenin 23 km olduğu unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

Akbulut, H., Gürer, C. 2003. Mermer Atıklarının Çevresel Etkileri ve Yol Katmanlarında Tekrar Kullanım imkanları, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 18-19 Aralık 2003, Afyon.

Bilgin, Ö., Koç, E., 2013. Mermer madenciliğinde çevresel etkiler. Madencilik Türkiye. 68-79.

Büyüksağiş, İ.S. 1995. Mermer işleme tesisleri atık sularının arıtım yöntemleri ve ekonomikliklerinin incelenmesi. Türkiye I. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı. 69–76.

Çelik, M.Y., Emrullahoğlu, F.Ö., 1999. Mermer atıklarından polyester bağlayıcılı suni mermer blok ve levha üretiminin araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 1(1).

Çelik M.Y., Tur, Ş., 2012. Afyonkarahisar organize sanayi bölgesi doğal taş atık depolama sahasındaki mermer atıklarının özelliklerinin incelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi (12): 9-15.

Gündüz L., Uğur İ. 1995. Mermer atıklarının değerlendirilebilirliği. Türkiye I. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 61–67, Ankara.

Gürtekin, E., Ünlü, A., 2013. Mermer işletmeciliğinde katı atık yönetimi: Elazığ İli örneği. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 4(1): 20-24.

Sabah, E., Çelik, M Y. 2001. İscehisar (Afyon) mermer atıklarının hayvan yemi katkı maddesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. Türkiye III Mermer Sempozyumu. Afyon, s.309-316.

Yurdakul, M. 2010. Karbonat Kökenli Doğal Taşların Yapay Sinir Ağları ile Kesilebilirlik Tayini. Yayımlanmamış Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Zorluer İ., Usta, M. 2003. Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2003) Bildiriler Kitabı 18-19 Aralık 2003.

DOĞALTAŞ ATIKLARININ HAFİF BETON İMALATINDA KULLANIMI

NATURAL STONE WASTE USAGE IN LIGHTWEIGHT CONCRETE PRODUCTION

Kemal DOĞAN*, Mehmet Kemal GÖKAY

Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: kdogan@selcuk.edu.tr

ÖZET: Doğal taşlar, doğadan çıkarıldıktan sonra inşaat sektöründe yaygın olarak kullanım alanı bulan malzemelerdir. Binalarda kullanım sonrası hem görsellik hem de dayanıklılık sağlamaktadır. Doğal taşlar inşaat sektörünün yanı sıra heykelcilik, mezar taşı yapımı, mıcır, porselen ve cam sanayi, optik sanayi ve süs eşyası yapımında da yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Doğal taş sektörü, son dönemde yeni üreticilerin de pazara girmesiyle ivme kazanan; hem ülkemiz hem de dünya ticareti için önem arz eden sektörler arasındadır. Bütün bu kullanım alanlarına sunulan paketlenmiş doğal taş satışlarından sonra, sektöre sunulamayacak durumda olan atıkların geri kazanılması hem ekonomik katkı hem de çevresel açıdan iyileştirmeler sağlayacaktır. Ocak ve fabrika boyutunda oluşan atıkların, özellikle inşaat sektöründe kullanılan yapı malzemesi üretiminde, hammadde olarak kullanılması bu konuda önerilebilecek en etkili çözümlerden birisi olacaktır. Burada sunulan çalışma kapsamında, doğal taş atıklarının değerlendirilmesi konusunda laboratuvar ölçekli ön çalışmalar yapılmış ve farklı ürünler elde edilmesi konusunda başarılı sonuçlar alınmıştır. Bu bildiride; doğaltaş üretimi sonrası oluşan atık malzemelerin hafif beton ve ısı izolasyon beton bloğu imalinde kullanımları araştırılarak sonuçlar raporlanmıştır. İlgili beton blok imalinde kullanılacak olan doğaltaş atıkları, belirli bir traverten ocağından gelen traverten bloklarının kesim işlemleri sonucu artan atıklardan seçilmiştir. Bu traverten parçalarının kırılması sonucu elde edilen ince tane boyutlu malzeme, hedeflenen beton bloklar için hammadde olarak kullanılmıştır. Bu imalat sırasında ilgili doğal taş kesim fabrikasının şlam boyutlu atıkların toplandığı atık havuz çamurundan da ek hammadde alımı yapılmıştır. Öncelikli olarak mevcut çamurun ve hazırlanan ince taneli kırılmış agreganın içerisindeki tane

yapısı, tane boyu analizleri yapılarak araştırılmış, hazırlanacak olan karışım reçetesi için uygunluğu incelenmiştir. Uygunluğu belirlenen atık & atık malzeme karışımı daha sonra belirli bir çimento, su ve köpük oluşturma kimyasallarıyla karıştırılarak özel beton blok harcı elde edilmiştir. Bu harçtan dökülen ısı izolasyon beton blokları bu çalışma içinde örneklenerek, mühendislik özellikleri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mermer tozu, Hafif beton, Köpük beton

ABSTRACT: *Natural stones are materials that have been widely used in the construction industry. They provide additional features to constructions in their appearance and durability. Natural stones are used extensively in construction industry and they are also used as; decorative materials, sculpture materials, tombstone, building stone, porcelain-glass industry raw materials, optical industry and aggregate industry raw materials. The natural stone production sectors, which recently gained momentum, with new producers entering the market, are among the sectors that are important both for our country and world trade. Following the sale of packaged natural stones to all these areas of usage, recycling these natural stone mines' wastes and residual materials that can not be offered to these sectors will provide both economic contribution and environmental improvements. The use of quarry and factory-scale residues of natural stones as raw materials, especially in building materials and products used in the construction sector, will be one of the most effective solutions to this issue. Within the scope of the study presented here, laboratory-scale preliminary studies were carried out on the assessment of natural stone wastes and successful results were obtained in obtaining different products. In this report; The use of residual materials obtained from natural stone cutting plant for the production of lightweight concrete and heat insulation concrete blocks were investigated and the results were reported. The natural stone residues to be used in the production of the concrete block are selected from residuals that left as waste materials after the cutting operations of the travertine blocks, materials were obtained from a travertine cutting plant. The fine grain size travertine waste materials produced during travertine cuttings were used as raw material for targeted concrete blocks. During this manufacturing, additional raw materials were also added and they were obtained from the waste mud-pool of the relevant natural stone cutting plant. Firstly, the grain structure in the existing slurry and prepared fine-grained crushed agglomerate were analyzed by conducting grain size*

tests and their suitability for the prepared mixture were examined. The determined waste material mixture is then mixed with a specific cement, water and foam forming chemicals to obtain concrete block mortar. The thermal insulation concrete blocks casted from this mortar are then tested and their engineering properties are evaluated.
Keywords: *Marble dust, Light concrete, Foam concrete*

1. GİRİŞ

Günümüzde doğaltaş üretimi oldukça hızlı bir ilerleme göstermektedir. Bu sebeple üretim sonucu oluşan atıkların miktarı büyük ölçekte artmıştır. Bu atıklar başta çevreye olmak üzere, üretim yapan firmalara ek yükler getirmektedir. Oluşan bu atıkların bertarafı için farklı çalışmalar yürütülmektedir. Bu atıklardan elde edilen yeni ticari ürünler her alanda kullanılabilir bir hal almaktadır. Bu atıkların en yoğun kullanım alanı inşaat sektörü olarak dikkat çekmektedir. Elde edilen birçok yeni ürün, inşaatlarda hem yapı elemanı olarak hem de dekoratif ürün olarak kullanılmaktadır. Binaların konforunu düşündüğümüzde karşımıza çıkan en büyük sorun ısı ve ses izolasyonu problemidir. Son yıllarda, özellikle ısı yalıtım özelliği ve birim ağırlık özelliği açısından normal betona göre avantajlara sahip olan köpük betonlar, gittikçe artan bir eğilimle kullanım alanı bulmaya başlamışlardır. Köpük betonların hafifliğinin yanında, bu ürünlerin doğal malzemelerden yapılması, ısı izolasyon konforlarının iyi olması gibi şartların sağlanmasıyla mühendislik açısından daha kullanışlı şartlar sağlamaktadır. Son yıllarda ülkemiz inşaat sektöründe, izolasyon özelliği yüksek malzemelerin teknik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla yapılan araştırmalara giderek önem verilmektedir. Bu bildiri kapsamında, daha önce atıkları köpük beton yapımında kullanılmayan bir mermer ocağı atığı, özel olarak hazırlanan köpük beton blokları içerisinde dolgu (filler) malzeme olarak kullanılmıştır. Araştırma sırasında özel karışım oranlarıyla hazırlanan köpük beton numuneleri üzerinde mekanik dayanım testleri yapılarak sonuçlar ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

2. HAFİF BETON

Beton içerisinde çeşitli yollarla boşluklar oluşturularak veya birim hacim ağırlığı normal agregaya kıyasla daha düşük olan agregalar kullanılarak betonun birim hacim ağırlığı düşürülebilmektedir. Bu yollardan herhangi biri ile üretilen ve birim hacim

ağırlığı 2200 kg/m^3'ten düşük olan betonlara hafif beton denilmektedir. Yapısal hafif beton üretiminde dikkate alınması gereken ilk husus, "dayanım" özelliği değil, "düşük birim hacim *ağırlık*" özeliğidir. Amaç, maksimum birim hacim ağırlık limitlerini aşmadan, minimum dayanım limitlerinin altına düşmeyen beton üretmektir.

Hafif betonların birim hacim ağırlığı genellikle 300-1800 kg/m^3 arasında değişir. Birim hacim ağırlığı 800 kg/m^3'ten düşük olan betonlar da çok hafif beton olarak adlandırılır. Bu betonların yapım koşulları, yapım yöntemleri, kullanım koşulları ve kullanım alanları hafif betonlardan farklıdır, (Bekaroğlu, 2012).

2.1 Hafif Betonun Üretim Şekline Göre Sınıflandırılması

Günümüzde inşaat sektörü hızlı bir şekilde gelişmektedir. Mevcut arazilere yeni modern binaların inşaası ve büyükşehirlerdeki kentsel dönüşüm projeleri hafif beton gereksinimini ön plana çıkarmıştır. Hafif betonlar üretim yöntemine göre; hafif agrega ile üretilen hafif betonlar (bims, tüf gibi hafif agregalardan), ince malzemesi olmayan betonlar, kimyasal katkı kullanımıyla üretilen hafif betonlar, köpük beton ve gaz beton olarak sınıflandırılmaktadır (Chandra & Berntsson, 2002).

2.2 Köpük Beton

Köpük yapma makineleriyle (jeneratörüyle) elde edilen binlerce küçük kararlı (dayanıklı, hemen sönmeyen) köpükcüğün beton harcının içerisine homojen bir şekilde karıştırılmasıyla üretilen gözenekli hafif bir beton cinsi olan köpük beton, hafif agrega kullanılarak elde edilen betonlarla karıştırılmamalıdır. Köpük betonlarda kullanılan köpük oluşturma kimyasalı (ajanı), köpük yapma makinesinde kullanılarak köpükcükler oluşturulur. Bu köpükcüklerin beton harcına karıştırılmaları dökümü yapılan beton yapı elemanlarının birim hacim ağırlığını düşürecek etkiyi oluştururlar. Köpük betonların üretim süreci içinde çimento hidratasyonu dışında kimyasal hiçbir reaksiyon oluşmaz. Köpük beton harçları sıva, şap, blok harcı veya betonarme betonu olarak kullanılabilir. Bünyesinde kum, kül ve eps gibi bir katkı malzemesi ve çimento dışında hiçbir malzeme yoktur. Harç içine karıştırılan köpükcüklerin ana oluşturma maddesi olan köpük ajanları tamamen doğal malzemelerden üretildiği için, insan sağlığına zararı bulunmamaktadır, (Okb, 2017).

Kararlı köpükcüklerin karıştıtırlmasıyla üretilen betonlar, ”hafif beton” olarak veya ”köpük beton” olarak adlandırılır. Harç yapımı sırasında muhteviyatına karıştırılan köpük miktarına bağlı olarak bu betonda bulunan boşluk miktarı yogunluk değeri üzerinde direkt etkili olmaktadır. Düşük yoğunluklu köpük beton, yüksek ısı izolasyonu ve düşük mukavemet değerleri verirken, yüksek yoğunluklu köpük beton, göreceli olarak daha düşük ısı izolasyonu ve yüksek mukavemet değerleri verir. Köpük betonun özellikleri; boşluk oluşum sekline, dağılımına ve düzenliliğine bağlıdır. Köpük betonların yoğunluğu 400-1800 kg/m^3 arasında değişmektedir. Bunların en önemli özelliği, ısı ve ses izolasyonu sağlayan köpükcüklerin, beton içinde hava boşluklu bir yapı oluşturmasıdır. Bu yapının kapalı hücreciklerden oluşması köpük betona su izolasyon özelliği kazandırmaktadır. Bu nedenle köpük betonların su emme değerleri son derece düşüktür. Köpük betonun ömrü normal betonlarla aynıdır ve bu betonun yangın dayanımı da son derece yüksektir, (Hbm, 2017).

2.3 Köpük Betonun Kullanım Alanları ve Avantajları

Köpük beton; yoğunluğuna bağlı olarak; blok, prekast panel, mevcut karkas yerinde dökme duvar, taşıyıcı karkas oluşturarak yerinde dökme duvar, şap, sıva, süs elemanları imalatlarında kullanılabilir. Genel olarak yoğunluklarına göre sınıflandırıldığında köpük beton kullanım alanları (Art, 2017) aşağıdaki gibidir;

a) 400 -600 kg/m^3 yoğunluklu: Isı ve ses yalıtımı (tavan ve yer döşeme),

b) 600-900 kg/m^3 yoğunluklu: Blok ve panel üretimi,

c) 900-1200 kg/m^3 yoğunluklu: Dış ve ara duvar, blok ve panel,

d) 1200-1600 kg/m^3 yoğunluklu: Taşıyıcı özellikli duvar, blok ve panel.

Madencilik faaliyetleri sonrasında doğaltaş maden ocaklarında oluşan atıklar, hem işletmelere mali bir yük getirmektedir, hem de çevresel bir problem halindedir. Mevcut atıklardan yeni ürünlerin elde edilmesi bu iki olumsuz etkenide ortadan büyük ölçekte kaldırmaktadır. Köpük beton uygulamarının maden atıklarının bertarafında etkili olacağı beklenmektedir. Özellikle mermer toz atıklarından üretilecek olan köpük betonun bilinen bazı avantajları vardır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir, (Çimsa,2017);

- Çok uzun ömürlü bir yapı malzemesidir.
- Çok iyi ısı ve ses yalıtımı sağlar, ayrıca izolasyon gerektirmez.

- Blok duvar örülmesi, prekast panel üretim ve montajı veya yerinde dokum şeklinde yapılan uygulamaları son derece basit olarak yapılabilmektedir.
- Ürün olarak veya imalat süreci içinde doğaya zararlı hiçbir atık ortaya çıkarmaz.
- İşlenebilirliği son derece yüksektir, kendinden yerleşme özelliği vardır.
- Mamul olarak ucuz olmasının yanı sıra, bina yüklerinde ciddi azalma sağladığı için, düşey yükler ve deprem yüklerindeki azalmalar nedeniyle de dolaylı maliyet azalmaları sağlar.
- Yangın dayanımı son derece yüksektir, özellikle yangın dayanımı gereken yapılarda kullanılması uygundur.
- Donma-çözülme dayanımı son derece yüksektir.
- Su emmesi son derece düşüktür.
- Tamamen çimento esaslı bir malzeme olduğu için, çimento esaslı malzemelerle uyumu son derece yüksektir, (duvar harcı, sıva harcı, şap, betonarme betonu).

3. MATERYAL METOD

İnşaat sektöründe kullanımı yeni yeni artmakta olan köpük beton karışımında farklı karışımlar denenerek bunların köpük beton dayanımına etkisinin araştırıldığı bu çalışmada özellikle doğaltaş ocaklarının atıklarının kullanılması ön plana çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla hazırlanan 10 farklı köpük beton karışımı için hazırlanan deney numuneleri (Şekil 1) üzerinde yapılan mukavemet deney sonuçları Çizelge 2'de verilmektedir. Mukavemet deneylerinde özellikle üzerinde durulan konu, karışımı önceden hazırlanan köpük betonun standartlara uygun sonuçlar verip vermediğidir. Numune hazırlanması esnasında 200 mikron tane boyu altındaki mermer tozu, CEM-I-42-5R portland çimento, su ve köpük ajanı kullanılmıştır. Deneylerin yürütülebilmesi için Selçuk Üniversitesi BAP (Bilimsel Araştırma Projeleri) tarafından desteklenen bu inceleme çalışmasında temin edilen köpük beton üretim ünitesi kullanılmıştır.

Şekil 1. Köpük beton deney numuneleri

Genellikle kireçtaşı olarak da bilinen kalsiyum karbonat birçok sektörde kullanım yeri bulmaktadır. Hammadde kaynaklarının sınırlı olması ve azalmaya başlaması sonucunda var olan kaynakların daha ekonomik biçimde kullanılması önem kazanmıştır. Önemli bir kalsiyum karbonat kaynağı olan kireçtaşı veya mermer tozunun madencilik sektöründen kaynaklanan atık veya artık sahalarından tekrar geri kazanılması yoluyla elde edilmesi bu araştırmada özellikle üzerinde durulan bir konudur. Kireçtaşı, kalsit veya mermer tozları farklı sanayi dallarında katkı ve dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır, bu araştırmada da bu malzemelerin köpük beton imalinde kullanımının uygunluğu incelenmiştir. Mermer tozları mermer atıklarının en küçük hale getirilmiş son durumudur, büyük çoğunluğu -300 mikron altındadır. Bu çalışmada kullanılan mikronize kireçtaşı (toz boyutu), Konya civarında faaliyet gösteren bir beton blok üreticisinden alınmıştır. Bu şirket iri boyutlu kireçtaşı agregası kullanan ve eleme sonucu kullanmadığı -100 mikron altındaki boyutdaki kireçtaşı tozlarını atık sahasına gönderen bir şirkettir. Kullanılan bu malzeme Konya bölgesinde beton briket imalatında dolgu malzemesi olarak kullanılan ve elde edildiği tesislerde hiçbir farklı kullanım alanı olmayan atıklardır. Konya bölgesinde yaklaşık 250-300 ton/gün civarında bir kireçtaşı-mermer tozu oluştuğu düşünülmektedir. Bu hammaddenin yanında. Bu çalışmada Konya Çimento Fabrikası tarafından üretilen CEM-I-42-5R portland çimentosu bağlayıcı olarak kullanılmıştır.

3.1 Yöntem

Kireçtaşı agregasının nihai ürün haline dönüştükten sonra oluşan mikronize boyutlu tozlarının hızlı ve ekonomik bir değere sahip olacak şekilde geri kazanımı için bu çalışma yürütülmüştür. Yukarıda bahsi geçen hammaddeler belirli bir sıra ile köpük beton harç karışımına eklenerek köpük beton elde edilmiştir. Öncelikle hammadde olarak sağlanan mikronize boyutlu kireçtaşı&mermer tozu ön bir eleme işlemine tabi tutulmuştur. Bunun sebebi içerisinde elde edildiği tesislerden karışabilecek iri boyutlu malzemelerin uzaklaştırılmasıdır. İri boyutlu malzemeler karışım içerisine girdiği zaman elde edilen köpük betonda süreksizlikler ve yapısal sorunlar meydana getirmektedir. Köpük betonun üretim prensibi karışım içerisindeki çimento ve katkı malzemesini prizlenme işlemi gerçekleşinceye kadar stabil halde tutabilmektir. Betonun frizlenme aşamasında iri boyutlu malzemeler harç içinde dibe çökmekte veye

oluşturulan köpücüklerin erken sönümlenmesine sebebiyet vermektedir. Eleme işlemi sonrası mevcut elenmiş toz malzemenin nem tayini yapılmaktadır. Üretilecek olan köpük betondaki bütün malzemelerin kuru haldeki yoğunluk değerleri dikkate alınarak hacim hesabı yapıldığı için bu nem tayini işlemi önemlidir. Nemli bir malzemenin bünyesindeki su karışım suyu miktarını etkilemekte ve sonuçta elde edilen köpük betonun yoğunluğunu değiştirmektedir. Bu sektörde çalışan firmaların karşılaştığı problemlerden birisi olan bu durum, bu araştırmada üzerinde hassasiyetle durulan bir konu olmuştur. Kireştaşı-mermer tozu hammadde hazırlama işleminden sonra, harç karışım işlemine başlanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında çimento ve kireçtaşı&mermer tozu malzemesi belirli yüzdelik oranlarda karışıma eklenerek elde edilen ürünlerin yoğunlukları belirlenmiştir.

Köpük beton üretiminde kullanılacak olan köpük ajanı musluk suyu ile % 2,0-2,5 oranında seyreltilerek nihai köpük ajanı elde edilmektedir. Elde edilen köpük ajanının köpük halindeki litre ağırlığı 80-100 gr arasında değişim göstermektedir. Elde edilen köpük ağırlığına göre harç karışımına girecek olan köpük miktarı belirlenmiştir. Köpük beton yapma makinesi olarak kullanılan (test amaçlı) ekipman Şekil 2'de gösterilmektedir. Bu makinenin yatay pozisyondaki karışım haznesine, beton için gerekli hammaddeler sırası ile eklenmektedir. Öncelikle harç içerisine eklenecek olan suyun (kullanılan kireçtaşı atığının su emme oranı dikkate alınarak her türlü malzeme için değişim göstermektedir) % 70'i harç makinesine eklenmekte ve üzerine gerekli miktardaki kireçtaşı&mermer tozu hammaddesi ilave edilmektedir. Mevcut karışım homojen bir kıvama gelinceye kadar karıştırılmaktadır. Daha sonra bu karışım üzerine gereken miktardaki çimento eklenerek harç karıştırılmaya devam edilmektedir. Geriye kalan % 30'luk su bu işlemlerden sonra karıştırma haznesine eklenerek, harç makinesindeki karışım yaklaşık 2,5-3 dakika civarında homojen bir kıvam oluşuncaya kadar karıştırılmaktadır. Elde edilen bu homojen harç karışımının üzerine, hacimsel olarak miktarı ayarlanan köpük ajanı, köpük jeneratöründen geçirilmekte, oluşan köpükçükler harç karışımının içerine ilave edilmektedir. Harç makinesinde karıştırılmaya devam edilen karışım köpük ilavesinden sonra yaklaşık 1,5 dakika kadar daha karıştırılmaktadır. Sonuçta köpüklerin harç içinde homojen bir dağılımı elde edilince karıştırma işlemi durdurulmaktadır. Karışım süresinin istenenden daha fazla olması harç içindeki köpükcüklerin sönmelerine sebep olduğu için karışımı olumsuz

etkilemektedir. Hazılanan köpük beton harç karışımı istenilen ebatlarda hazırlanan kalıplar içerisine boşaltılarak kalıplama işlemi sonlandırılmaktadır.

Şekil 2. Köpük beton üretiminde kullanılan, HBM marka özel köpük beton harç makinesi

3.2 Dayanım Deneylerinin Yapılması; Deneysel Çalışmalar

Köpük beton üretimi ile ilgili yapılan bu çalışmada 10 farklı hammadde karışımı için köpük beton deney numuneleri elde edilmiştir (Şekil 1). Deney numunelerinin köpük beton harçları Selçuk Üniversitesi BAP (Bilimsel Araştırma Projeleri) tarafından desteklenen bir proje kapsamında alınan köpük beton harç makinesinde hazırlanmıştır (Şekil 2). Bu araştırmada köpük beton numunesi olarak elde edilen numunelerin harç karışımında yer alan hammaddelerin miktarı, dağılım olarak Çizelge 1'de verilmiştir. Köpük beton üretiminin amacı hafif, mukavemetli, yangına karşı dirençli, ısı ve ses izolasyonu yüksek ürünlerin elde edilmesidir. Piyasa üretilen ürünlerin birçoğunda bazı özellikleri sağlayabilmek için bazı köpük beton özellikleri gözardı edilebilmektedir. Özellikle hafif olması için uğraşılan köpük beton imalatlarında, elde edilen köpük beton yapı elemanlarının (özellikle taşıyıcı özelliği olmayanlarında) mukavemet özellikleri çok dikkate alınmayabilmektedir. Aynı mantıkla, elde edilen köpük beton ürününde hafiflik yanında ses ve ısı izolasyonunun da sağlanması hedeflenmişse elde edilen ürünün mukavemet değerleri standartlardaki minimum seviyelerde bulunabilmektedir.

Bu çalışmadaki farklılık, köpük beton yapı elemanı üretiminde, elde edilen beton ürünün dayanım özelliklerini bozmadan, (normal şartlara yakın değerlerde tutarak) diğer istenen köpük beton özelliklerini de yakalayabilmektir. Bu kapsamda farklı karışımlarla üretilen köpük beton numuneleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen ürünlere ait tek eksenli basınç dayanım değerleri,

kapiler su emme, ses ve ısıl iletkenlik değerleri yangına direnç analizi ve nihai ürün haline gelen numunelerin yoğunluk değerleri Çizelge 2'de verildiği gibidir.

Çizelge 1. Köpük beton test çalışmalarında, köpük beton numune harçları içindeki hammadde dağılımları (ağırlıkça) ve numune içindeki köpük miktarı

N. No	Çimento (%)	Kireçtaşı & Mermer Tozu (%)	Su (%)	Köpük (g)
1	25	55	20	350
2	30	45	25	350
3	32,5	42,5	25	350
4	35	40	25	350
5	37,5	37,5	25	350
6	40	35	25	350
7	42,5	32,5	25	350
8	45	30	25	350
9	47,5	27,5	25	350
10	50	25	25	350

Bu araştırmada hazırlanan köpük beton numune yoğunlukları incelenirse, bu değerlerin 0,8 gr/cm^3 seviyesinin altına kaldığı gözlenmiştir. Bu yoğunluk seviyesinden dolayı bütün test numuneleri "çok hafif beton" sınıfına girmektedir. Hazırlanan deney numunelerinde, köpük beton harcına konulan çimento miktarının (oranının) artması ve mermer tozunun yüzdelik miktarının azalması ile numunelerin tek eksenli basınç dayanım sonuçlarında düşüş olduğu gözlenmiştir. Tek eksenli basma dayanımı köpül beton içerisine eklenen mermer tozu miktarının artması ile yükselişe geçmektedir. Tek eksenli basma dayanımının artışı hem yoğunluk hem de izolasyon değerleri konusunda ürünler üzerinde olumsuz bir etki oluşturmaktadır. Bununla birlikte tek eksenli basınç dayanımı değerinin en düşük olduğu 10 numaralı numunede bile dayanımın 3,94 MPa seviyesine ulaştığı belirlenmiştir. Bu değer "taşıyıcı duvar" olmayan yerlerde köpük beton yapı elemanlarının kullanımı için oldukça iyi sayılabilecek bir değer olarak karşımıza çıkmıştır. Köpük beton ürünlerini gaz beton ürünlerine alternatif olarak değerlendirirsek, gaz betondan yapılan beton ürünlerin, benzer yoğunluk seviyesine sahip olanlarının tek eksenli basınç dayanımı yaklaşık 2 MPa (köpük beton değerinden düşük) civarındadır. Bunun yanında numunelerin kapiler su emme değeri yok denecek kadar az bulunurken, bütün köpük beton numunelerinin yangına direnç analizi sonucu; A1 sınıfıdır. Bunun anlamı köpük beton ürünleri yangında yanmazdır.

Yapılan bütün deneysel çalışmalar TSE standartlarına göre yürütülmüştür. Deney için Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği bölüm laboratuvarı ve İnşaat Mühendisliği bölüm laboratuvarlarındaki cihazlar kullanılmıştır.

Deneylerin yapılışı sırasında kullanılan standartlar tek eksenli basınç dayanımı için TS EN 1926, kapiler su emme için TS EN 772-11, ısıl iletkenlik değeri için TS EN 1745 ve yoğunluk belirlemek için ise TS EN 678 standartlarından faydalanılmıştır.

Çizelge 2a. Köpük beton numuneleri üzerinde yapılan deney sonuçları.

N.No	Tek Eksenli Basma (Mpa)	Kapiler Su Emme Cw,s(gr/m^{2}sn)	Ağırlaştırılmış Ses Geçiş Kaybı (db)
1	7,62	1,18	50
2	7,06	1,18	50
3	6,54	1,17	50
4	6,03	1,17	50
5	5,68	1,16	50
6	5,52	1,16	50
7	5,13	1,16	50
8	4,87	1,15	50
9	4,25	1,15	50
10	3,94	1,14	50

Çizelge 2b. Köpük beton numuneleri üzerinde yapılan deney sonuçları.

N.No	Isıl İletkenlik Değeri w/ mk	Yangına Direnç Analizi	Kuru Yoğunluk (gr/cm^3)
1	0,18	A1	0,78
2	0,17	A1	0,74
3	0,16	A1	0,71
4	0,15	A1	0,68
5	0,14	A1	0,64
6	0,14	A1	0,60
7	0,13	A1	0,57
8	0,13	A1	0,55
9	0,12	A1	0,52
10	0,11	A1	0,49

5. SONUÇLAR

Doğaltaş üretimi sonucu oluşan atıkların azaltılması için, bu atıklardan yeni ürün geliştirmek amacı ile yapılan bu çalışmadan olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Hafif beton prensibinde; düşük "yoğunluk & mukavemet" deyimi genellikle ısı yalıtımının yüksek olduğu ürünler anlamına gelmektedir. Burada hafifliğin ve düşük dayanımın nedeni, hafif beton bloklar içerisinde oluşturulan boşluklardır. Beton içinde boşluk oluşturmak için, hava kabarcıklarının beton harcı içerisine sürüklenmesi gerekecektir. Bu amaçla kullanılan kararlı köpüklerden başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Gaz beton üretimindeki amaç boşluklu beton blokların üretilmesidir. Gaz beton üretim sisteminde beton içerisine hava sürüklenme işlemi" kimyasal reaksiyon ile gerçekleşmektedir. Ayrıca elde edile ürünün mukavemetinin yükselmesi için otoklav gibi yüksek maliyetli

teknolojilere gereksinim vardır. Bunların yanında gaz beton sadece silis içeriği yüksek mikronize toz malzemelerin kullanılmasıyla hazırlanmaktadır. Bunun yanında köpük beton her türlü toz boyutundaki doğaltaş artığı ile uygun karışım formülasyonları uygulanırsa kullanılabilmektedir. Bütün numunelerdeki kapiler su emme değeri oldukça düşüktür. Bunun sebebi oluşan hiçbir boşluğun birbiri ile bağlantısı olmamasıdır. Gaz betonda ise su emme oranı oldukça yüksektir. Bütün bu artı özellikleri sayesinde köpük beton; gaz betona alternatif bir ürün olmaktan çıkmış, kendi özelliklerinden dolayı aranan özel bir ürün halini almıştır. Ülkemizde köpük beton ile ilgili çalışmalar 01 Aralık 2014 tarihinde yürürlüğe giren TSEK 314 numaralı "Köpük betondan mamül yerinde döküm, taşıyıcı olmayan duvar elemanları" başlıklı standart ile başlamıştır. 02 Nisan 2015 tarihinde yürürlüğe giren TSE 13655 numaralı "Kağir birimler –özellikler – köpük beton kâgir birimler" başlıklı standart ile köpük beton kullanım uygulamalarına hız verilmiştir. Mevcut standartlardan sonra üretim sürecinde büyük yenilikler yaşanmıştır. Köpük beton üretimi yapan firmaların hepsi ya kendi atığını (kireçtaşı & mermer tozu, perlit, strafor ve termik santral külü v.b) kullanmakta ya da kendi bölgelerindeki en yakın atığı ürün haline dönüştürmek için denemeler yürütmektedir. Elde edilen ürünlerdeki ilk problem çimento ve dolgu malzemesinin birbirleri ile olan uyumları ve karışıma eklenecek olan köpük miktarının dozajı olarak görünmektedir. Köpük beton harç malzemelerinde herhangi bir uyumsuzluk olduğu taktirde üretilen ürünlerde çatlamalar meydana gelebilmektedir. Ayrıca elde edilen ürünlerin mukavemet değerleri sınır değerlerde kalmakta ve üründe uygulama sorunları ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle köpük beton üretimi öncesi, karışımda kullanılacak olan bütün hammaddelerin, malzemelerin, yapısı tam anlamı ile tanınmalı ve nihai ürün için uygunluğu araştırıldıktan sonra üretim sürecine karar verilmelidir.

6. KAYNAKLAR

Art, 2017, Artra İnşaat internet sitesi, http://www.artrainsaat.com/genfil%20tr.html, İnternet sitesi ziyaret tarihi: Mart 2017.

Bekaroğlu M., 2012, Kompozit yapıda pomza agregası içeren köpük betonun özellikleri ve teknik parametrelerinin irdelenmesi ,Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, Isparta.

Chandra ve Berntsson, 2002,"Lightweight aggregate concrete: Science, technology and applications", William Andrew Publishing, Norwich, 136- 138, New York, US.

Çimsa,2017, Çimsa köpük beton internet sitesi, https://www.cimsa.com.tr/ca/docs/4FE58AA58E3A4B7B85FA9E4EE011A8/9621E3A3C5CA4B46B2E9DB8C86F482D2.pdf, İnternet sitesi ziyaret tarihi: Haziran 2017.

Hbm,2017, Hafif beton makina internet sitesi http://www.hafifbetonmakina.com/ Default .aspx , İnternet sitesi ziyaret tarihi: Haziran 2017.

Okb, 2017, Organik köpük beton internet sitesi, http://www.organikkopukbeton.com), İnternet sitesi ziyaret tarihi: Mart 2017.

METALURJİK YAKIT HAZIRLAMA PROSESİNDE ATIK YÖNETİMİ: KOK ÜRETİM TESİSİ ÖRNEĞİ

WASTE MANAGEMENT IN METALLURGICAL FUEL PREPARATION PROCESS: A CASE STUDY ON COKE PRODUCTION PLANT

Cenk AKSOY, Bilge ÖZBAY*, Didem Nedret İNCEOĞLU, İsmail ÖZBAY

Kocaeli Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, TÜRKİYE

*: bilge.alyuz@kocaeli.edu.tr, bilgealyuz@yahoo.com

ÖZET: Kok kömürü, demir ve demir dışı metallerin üretiminde yüksek fırınlarda kullanılan önemli bir yakıttır. Taş kömürünün oksijensiz ortamda bütün uçucu bileşenlerinin giderildiği yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılmasıyla elde edilen kok kömürü yüksek enerji içeriğine sahiptir. Çelik üretimi için gerekli ısıyı sağlama ve kısmi yanmayla oluşan CO ile demiroksit minerallerinin indirgeme özelliklerine bağlı olarak demir- çelik endüstrisinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Ayrıca üretilen demir içerisinde bulunan karbonun temel kaynağı da kok kömürüdür. Entegre demir-çelik endüstrisinde yüksek fırınların metalurjik kok ihtiyaçlarını karşılamak üzere kömür manüpilasyon, kok bataryaları ve yan ürünler birimlerinden oluşan kok üretim tesisleri kurulmaktadır. Kömür hazırlama ve manüpilasyon, kömürlerin stoklandığı ve kok fırınlarına şarj öncesi stoklanan kömürlerin harmanlandığı birimdir. Ayrıca fırınlarda üretilen kokun kırılması, elenmesi bu birimde gerçekleştirilerek elde edilen kok ve kok tozu ilgili birimlere iletilmektedir. Kok bataryaları ise çok sayıda kok fırınından oluşan kömürün hava ile temasının kesilerek 1100-1200 oC'ye kadar ısıtıldığı birimlerdir. 17-19 saatlik bir işlem ile kok haline getirilen kömür söndürüldükten sonra yüksek fırınlarda kullanılabilir hale getirilmektedir. Yan ürünler birimi ise koklaşma esnasında açığa çıkan gazın kimyasal prosesler ile istenmeyen maddelerden arındırılarak kok gazının elde edildiği ünitedir. Elde edilen bu gaz gerek kok fabrikasında gerekse diğer ünitelerde enerji kaynağı olarak kullanılabilmektedir. Kok üretim tesislerinde oluşan katran, amonyum sülfat (tarım gübresi) ve benzol de ekonomik değere sahip diğer yan

ürünlerdir. Yapılan bu çalışmada kok üretiminde oluşabilecek atıklar ve bu atıkların yönetimi ile ilgili bilgiler sunulmuştur. Çalışmada ayrıca ilgili proseste atık üretiminde minimizasyonu sağlayabilecek öneriler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kok kömürü, Atık yönetimi, Geri kazanım, Yakma

ABSTRACT: *For iron or other metal production, coking coal is an important fuel which is used in blast furnace. It is a product of pyrolysis of hard coal at high temperatures. While it loses volatile matter its calorific value becomes higher. It has several functions in blast furnace such as reduction of iron oxides, carrier and fuel. Additionally the carbon in the steel content is also supplied from coking coal. In the integrated steel industry, in order to produce metallurgical coke which is used in blast furnace; coal manipulation, coke oven and by-product facilities are performed. Coal preparation and manipulation facilities are including stocking and preparation of coal blending before charging into the coke ovens. After coking process, crushing and sieving of coke is included in these facilities. While the coke is transported to blast furnace the coke dust is transferred to the related department. Coke battery is the combination of several stationary pyrolysis ovens where the inner temperature is 1100-1200°C and the coking time is 17-19 hours. By-product plant is the division where the coke gas is collected and cleaned from unwanted components. Cleaned gas is used as a fuel in the coke battery and in other facilities. The other by-products such as tar, ammonium sulfate (agriculture fertilizer), and benzene have economical values. In this study, the wastes of a coke production and management of these wastes were presented. The suggestions about minimizing the wastes were also mentioned.*

Keywords: *Coking coal, Waste management, Recycling, Combustion*

1. GİRİŞ

Ülkelerdeki sanayileşme ve buna bağlı olarak gelişmişlik düzeylerinin önemli göstergelerinden biri de demir-çelik sektörü olmaktadır. Kişi başı ham çelik tüketimi yıllardır ulusların kalkınma düzeylerinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Doğaka, 2014). Dünya Çelik Birliği 2016 yılı verilerine göre dünyada ham çelik üretimi 1.630 milyon ton olurken, Türkiye 33,2 milyon ton üretim ile dünya sıralamasında 8. sırada yer almıştır. Ülkemizdeki kişi başı nihai çelik tüketimi ise 428 kg olmuştur (WSA, 2017). Bu durum çelik endüstrisini Türkiye'nin önemli

sektörlerinden biri haline getirirken beraberinde yönetilmesi gereken çevresel sorunları da ortaya çıkarmıştır. Dünyada en çok enerji tüketen sanayilerden biri olan demir-çelik sektörü CO_2 salınımlarından dolayı küresel ısınmaya etkisi de fazla olan sektörlerden biridir. (Kayır, 2016).

Çelik üretim tesislerindeki yüksek enerji ihtiyacını karşılamak üzere yüksek fırınlarda yakıt olarak kok kullanılmaktadır. TUİK verilerine göre Mart 2017 taş kömürü kokunun satılabilir üretim miktarı yaklaşık 387.400 ton olduğu görülmektedir. Üretimin teslimatları karşılama oranı ise % 4,4 olmuştur (TUİK, 2017). Dolayısıyla memleketimizde üretilen taş kömürü metalurjik kok gereksinimini karşılayamamaktadır. Entegre demir-çelik tesislerinde cevherden mai çelik eldesi yüksek fırın prosesinde gerçekleşmektedir. Karbon yüksek fırın içerisinde hem indirgeyici madde olarak kullanılmakta hem de taşıyıcı rolü oynamaktadır. Bu nedenle kokun kimyasal kompozisyonunun yanı sıra fiziksel özellikleri de büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle demir-çelik endüstrileri sürdürülebilir üretim sağlayabilmek amacıyla yüksek fırınlarının yakıt ihtiyacını karşılaşamak amacıyla kok üretim tesisleri kurmaktadırlar.

İhtiyaç duyulan yakıt kok fırınlarında kömürden kok üretim yöntemi ile elde edilmektedir. Yüksek fırına verilecek kokun üretilmesi için harmanlanacak kömürlerin seçiminde maksimum stabilite, kabul edilebilir reaktivite ve uygun kimyasal bileşime ilave olarak rekabet edilebilir düzeyde hammadde maliyeti gözönünde bulundurulmaktadır. Koklaşma prosesinde kül ve uçucu maddelerin oranı ürün kalitesini etkilerken, stabilite, ısıl değer ve reaktivite indeksi gibi parametreler ise kullanılan kömür miktarını belirlemektedir (İnceoğlu ve Durmuşoğlu, 2014). Bu tesislerde kok ve kok fırın gazı da dâhil olmak üzere kok yan ürünleri uygun saflıktaki kömürün prolizi ile elde edilmektedir.

Bu tesislerde ayrıca elde edilen gazın fırınlarda ısıtma amaçlı kullanılabilmesi için katran, amonyak, fenol, naftalin, hafif yağ ve sülfür giderme işlemlerine tabi tutulmaktadır (Barik, 2010). Kok üretim tesisleri incelendiğinde 3 temel üniteden oluştuğu görülmektedir. Bunlar sırasıyla kömürün depolandığı ve kok üretimi için harmanlandığı kömür hazırlama ve manipülasyon ünitesi, manipülasyon tesislerinden gelen koklaşabilir nitelikteki kömürün kok bataryalarında pirolizinin gerçekleştirildiği fırın üniteleri ve koklaşma esnasında açığa çıkan gazın çeşitli kimyasal proseslerden

geçirilerek istenmeyen maddelerden arındırıldığı kok gazı ve yan ürünler üretim ünitelerinden oluşmaktadır.

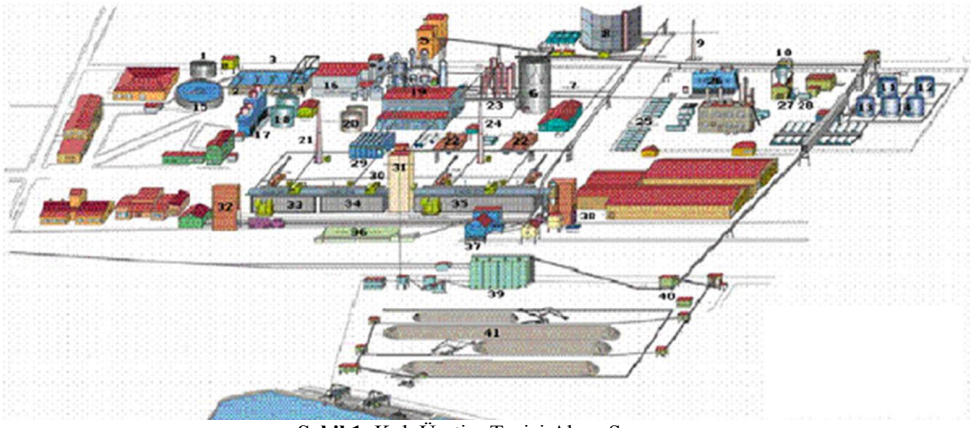
Çevresel açıdan birçok kimyasal reaksiyonun gerçekleştirildiği böyle tesislerde atık yönetimi, tesisin işletilmesi kadar önemli konulardan birisidir. Bu proses sırasında sera gazları, asidifikasyon maddeleri, amonyak, poli aromatik hidrokarbon (PAH) gibi organik maddeler ve daha fazlası emisyon olarak oluşabilmektedir (Alexandersson, 2007). Atık su oluşumları ise kok fırınlarının soğutulmasından ve amonyak, katran, naftalin, fenol ile hafif yağın işlenmesinden kaynaklanmaktadır. Kok üretim tesislerinde kok küllerinin dışında proses (kömür katranı geri kazanımı, katran dekantörü, hafif yağ işleme, arıtma çamurları vb.) katı atıkları da oluşabilmektedir. Yapılan bu çalışmada demir çelik endüstrilerinde ihtiyacı karşılamaya yönelik kurulan kok üretim tesislerinde oluşan atıklar ile bu atıkların minimizasyonuna yönelik yönetim yaklaşımları incelenmiştir.

2. KOK ÜRETİM TESİSLERİNDE ÇEVRESEL SORUNLAR

Şekil 1'de demir-çelik endüstrisine ait yıllık kapasitesi brüt 1.000.000 ton olan kok üretim tesisinin genel şeması verilmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi son derece kompleks bir yapıya sahip kok üretim tesisleri kömür harmanlama, kok üretim ve yan ürün üretim üniteleri ile atık su arıtma tesisi ünitelerinden oluşmaktadır. Bu ünitelerin her birinde gerçekleştirilen işlemler sırasında ortaya çıkan çeşitli emisyonlar, atık sular ve katı atıklar iyi yönetilmedikleri takdirde önemli çevre sorunlarına sebep olabilmektedir. Bu sorunları önlemeye veya minimize etmeye yönelik gerçekleştirilen arıtma veya nihai bertaraf işlemleri de tesisler için önemli maliyet giderleri arasında yer almaktadır. Dolayısıyla bu tesislerin çevresel etkilerini azaltmak ve maliyet giderlerini optimum düzeylere getirmek için etkin bir entegre atık yönetimi uygulanması gerekmektedir.

Kok Üretim Tesisi Akım Şeması'ndaki yapılar şu şekildedir (Şekil 1): Atık su arıtma tesisi ve ilgili havuzlar (1-4), Kömür enjeksiyon, kok gazı, kok gazı gazometresi, kok gazı, yüksek fırın gazometresi (5-8), Kok gazı fambası, yıkama kabı (9-10), Benzol, toluol, hafif yağ tankları, durultucu havuzu (11-15), Gübre ambarı, soğutma kulesi, atık su deposu (16-18), Katran elektro filtreleri, katran deposu (19-20), Emisyon bacaları, katran dekanter, benzol kolonları (21-24), Soğutucu ve soğutma kuleleri, asit-kostik

tankları, şarj arabası (25-30), Batarya siloları ve bataryalar, söndürme kuleleri, kok kırma ve eleme sistemi (31-38), Kömür karıştırma siloları, kırıcı, kömür stok alanları (39-41).



Şekil 1. Kok Üretim Tesisi Akım Şeması

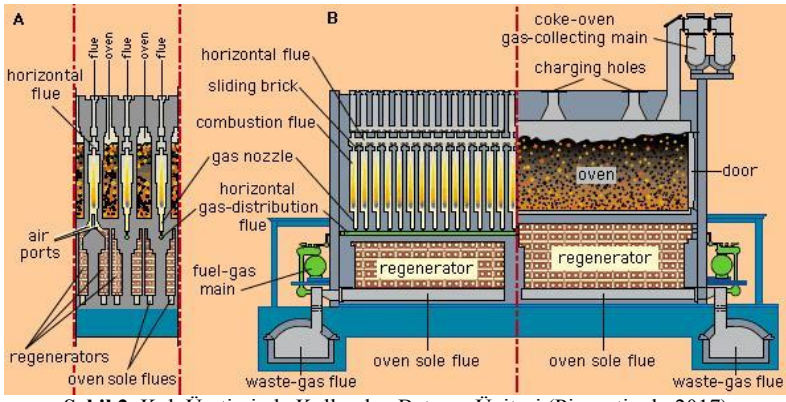
2.1 Kömür Hazırlama ve Manipülasyon Ünitesi

Kömür hazırlama ve manüpilasyon sistemi içerisinde kömürlerin stoklanması ve harmanlanarak kok fırınlarına sevkiyatı ile kok fırınlarında üretilen kokun kırılması, elenmesi ve elde edilen kok ve kok tozunun ilgili birimlere sevk edilmesi işlemleri gerçekleştirilmektedir. Böyle bir sistem içerisinde en önemli çevresel sorun kömür tozu emisyonları olmaktadır. Kömürün boşaltılması esnasında, büyük kömür depolama alanlarında rüzgar etkisiyle ve kömür hazırlama ve harmanlama işlemleri sırasında toz emisyonları oluşabilmektedir. Kömür taşıma işlemleri tesislerde meydana gelen partikül yükünün yaklaşık %10'unu oluşturabilmektedir (World Bank, 1998). Karıştırma işlemlerinde katran gibi malzemelerin eklenmesi durumunda uçucu madde emisyonları da gerçekleşebilmektedir.

2.2 Kok Fırın Ünitesi

Koklaşma 1100-1200˚C'de oksijensiz ortamda metalürjik kömürün karbonizasyon işlemidir. Şekil 2'de batarya kesiti verilen kok fırın ünitesinde ~ 1200 °C sıcaklıkta 18 saat koklaşma süresinde ortalama %25 oranında uçucu maddeler kok bataryalarından boru hatlarında su ile taşınarak yan ürünler prosesine gönderilmektedir. Uygun saflıktaki kömürün pirolizinin gerçekleştirilerek kok fırın gazını da içeren kok ve kok

yan ürünlerinin üretildiği kok fırınlarından salınan emisyonlar önemli hava kirliliği kaynaklarından birisidir. Koklaştırma proseslerinde partikül madde (PM), uçucu organik bileşenler (VOC), poliaromatik hidrokarbonlar (PAH), metan, amonyak, karbonmonoksit, hidrojen sülfür, hidrojen siyanür ve kükürt oksit gibi emisyonlar oluşabilmektedir (DÇÜD, 2007). Buhar geri kazanım sistemi olmayan bir sistemde bir ton kok üretiminden yaklaşık 0,7-7,4 kg PM, 2,9 kg SO_x, 1,4 kg NO_x , 0,1 kg amonyak ve 3 kg VOC atmosfere salınabilmektedir (World Bank, 1998).



Şekil 2. Kok Üretiminde Kullanılan Batarya Ünitesi (Pisupati vd., 2017)

2.3 Kok Gazı ve Yan Ürün Üretim Ünitesi

Yan ürünler bölümü, koklaşma esnasında açığa çıkan gazın, bir takım kimyasal proseslerden geçirilerek, istenmeyen maddelerden arındırıldığı yerdir. Çakır (2006) yaptığı çalışmada kok bataryalarından çıkan ham kok gazının bileşenlerini 250-450 gr/m^3 su buharı, 110-125 g/m^3 katran buharı, 35-42 g/m^3 aromatik hidrokarbonlar, 8-14 g/m^3 amonyak, 6-25 g/m^3 hidrojen sülfür ve 0,5-1,5 g/m^3 naftalin olarak belirlemiştir. Arıtılan kok gazı ise %56-60 hidrojen gazı, %18-20 metan içeriğine sahip olmaktadır (Çakır, 2006). Koklaştırma prosesi sırasında uzaklaştırılan uçucu organikler yan ürünler adı verilen gaz yıkama sistemi ile katran, benzol türevi yağlar ve kok gazı olarak ayrıştırılırlar. Kok gazı yüksek hidrojen oranı nedeniyle 4000-4500 kcal/m^3 ısıl değere sahip bir proses gazıdır ve kok bataryalarının ısıtılmasında karışım gazı olarak yakılarak değerlendirilir. Ön soğutuculardaki gaz sıcaklığı 80 °C'ye düştüğünde ilk olarak katran çökerek uzaklaşmaktadır. Bu aşamada katran dekanterinde tortu kısmı alındıktan sonra akışkan katran depolara gönderilmektedir. Dekanterde tutulan ve çok düşük akışkanlıktaki kok tozu ile kısmen katılaşmış kısım "katran dekanter tortu"su olarak

adlandırılmaktadır. Depolara aktarılan katranın dinlenme sırasında depo dibinde kalan kısım ise "katran depo tortusu" olarak adlandırılmaktadır. Su ile katran arasında oluşan bu maddenin kalorifik değeri ve akışkanlığı katrana nazaran düşüktür. Yıkama yağı yardımıyla sudan alınan benzol türevi hafif yağlar dekanterlerde dinlendirilir ve ham benzol yan ürün niteliğindedir. Yıkama yağlarının su ile ayrıştırılması için dinlendirildiği dekanterde oluşan tortu da "benzol yağ tortusu" olarak adlandırılmaktadır. Benzol türevleri ve katran, bu ürünleri kullanma izni bulunan tesislere satılırken, dekanter tortusu ise değerlendirilemeyen bir atık olarak bertaraf edilmektedir (İnceoğlu ve Durmuşoğlu, 2015).

Yan Ürünler bölümünde istenmeyen maddelerden arındırılarak elde edilen kok gazı kok üretim tesisi olmak üzere demir-çelik üretim tesisinin diğer ünitelerinde çeşitli amaçlarla kullanılabilmektedir. Bu süreçte ortaya çıkan ve geri kazanılan katran, amonyum sülfat tarım gübresi, benzol gibi yan ürünler ise tesise ekonomik fayda sağlamaktadır. Yan ürün geri kazanım tesislerinden de önemli miktarda VOC salınabilmektedir.

Kok üretim tesislerinde kok süprüntülerinin dışında 1 ton ürün başına ortalama 1 kg proses katı atıkları da oluşmaktadır. Bu proses katı atıkları bünyelerinde benzen ve PAH gibi yapılar içerdiğinden tehlikeli niteliktedir. Bir ton kok üretimi başına yaklaşık olarak 0,1 kg kömür katranı geri kazanımı proses atığı, 0,2 kg katran dekantör torkusu, 0,4 kg katran depo torkusu, 0,2 kg hafif yağ işleme atığı, 0,1 kg atık su arıtımı atığı, 0,02 kg naftalin toplanması ve geri kazanımı atıkları, 0,01 kg katran destilasyon atığı oluşmaktadır (World Bank, 1998).

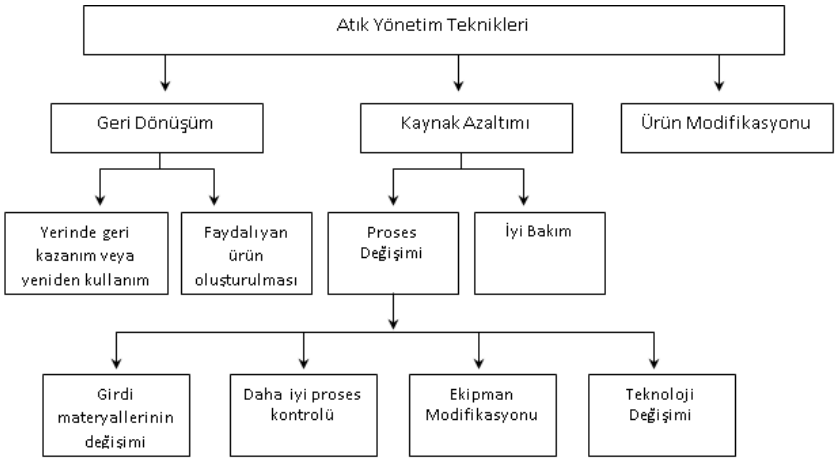
2.4 Atık Su Arıtma Tesisi

İşlenmiş 1 ton kok başına ortalama 0,3-4,0 m^3 atık su oluşabilmektedir. Temel atık su akımları kok fırın gazının soğutulmasından, amonyak, katran, naftalin, fenol ve hafif yağ proseslerinden kaynaklanmaktadır. Proses atık suları 10 mg/L benzen, 1000 mg/L biyolojik oksijen ihtiyacı (BOI), 1500-6000 mg/L arasında kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI), 200 mg/L askıda katı madde (AKM), 150-2000 mg/L fenol içerebilmektedir. Ayrıca bu atık sular 30 mg/L üzerinde PAH, amonyak ve siyanür içerebilmektedir (World Bank, 1998). Atık suların arıtımından kaynaklanan çamurlar da önemli katı atık kaynağı olmaktadır.

3. ENDÜSTRİYEL PROSESLERDE ATIK YÖNETİMİ

Atık yönetiminde iki temel yaklaşım vardır. Bunlardan birincisi kirlilik önleme diğeri ise kirlilik kontrolü yaklaşımdır. Kirlilik kontrolü yaklaşımda üretim sonucu ortaya çıkan atıklara mevcut yönetmelikleri sağlayacak şekilde çözüm getirilmeye çalışılmaktadır. Atık önleme yaklaşımında ise henüz atık daha oluşmadan meydana gelebilecek çevresel sorunlara çözüm getirilmeye çalışılmaktadır. Mevcut uygulamalarda daha çok kirlilik kontrolü yaklaşımlara odaklanılsa da, kaynağında endüstriyel atıkların minimize edilmesi için kirlilik önleme yöntemleri de araştırılmalıdır. Şekil 3'de kirlilik önleme tekniklerinin ön planda tutulduğu atık yönetim düzeni verilmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi atık yönetiminde gözönünde bulundurulacak 3 temel konu, kaynak azaltımı, geri dönüşüm ve ürün modifikasyonudur.

a) Kaynak azaltımı: Bir çok atık oluşumu, önleyici bakım çizelgeleri ve rutin ekipman muayeneleri ile engellenerek, sızıntı ve döküntülerden kaynaklanacak atıklar azaltılabilir. Ayrıca iyi bir şekilde yazılmış çalışma talimatları, denetim ve düzenli çalışan eğitimleri gibi basit uygulamalarda atık minimizasyonuna önemli katkı sağlayacaktır. Proses değişimi kapsamında ise girdi hammaddesi olarak daha çevre dostu girdilerin göz önünde bulundurulması ile düzenli envanter kullanımı değerlendirilirken, daha iyi proses kontrolünde ise daha az atık ve emisyon ile daha yüksek verimde işletilecek şekilde çalışma prosedürlerinin modifiye edilmesi araştırılır. Ekipman modifikasyonunda mevcut ekipmanlara çeşitli ölçüm ve kontrol ekipmanları ilave edilerek atık ve emisyon oluşumları kontrol altına alınabilmektedir. Teknoloji değişimi olarak da üretim sırasında atık ve emisyon oluşumunu en aza indirgemek için teknolojinin, işleme sırasının ve/veya sentez yolunun değiştirilmesine yönelik araştırmalar gerçekleştirilir.
b) Geri dönüşüm: Aynı proses içerisinde atığın yeniden kullanılması veya geri kazanılması yada değerli bir yan ürün elde edilerek piyasaya sürülmesi şeklinde yapılabilmektedir.
c) Ürün modifikasyonuna yönelik ise çevresel etkilerini minimize edecek şekilde üretilecek ürünün özelliklerinin değiştirilmesi araştırılmalıdır.



Şekil 3. Kirlilik Önleme Temelli Atık Yönetimi

3.1. Kok Fırın Atıkları ve Yan Ürünlerin Etkin Yönetimi

Kok üretiminde kirlilik önleme yaklaşımında ilk yapılacak araştırmalardan biri çevresel sorunlara sebep olan kok üretim tesisine olan ihtiyacı azaltmaktır. Teknoloji değişimi kapsamında koksuz demir çelik teknolojilerini araştırmak ve kok üretimine olan ihtiyacı ortadan kaldırmak ilk çalışma alanlarından biri olmalıdır.

Proses değiştirilmediği takdirde kükürt oksit ve diğer emisyonların azaltılması için girdi hammaddelerine yönelik değişimler araştırılmalıdır. İstenilen kalitede kok üretmek ve emisyonların azaltılması için kaliteli kömür kullanımı ve harmanlama işlemleri kullanılmalıdır.

Ekipman modifikasyonuna yönelik yapılacak işlemlere örnek olarak, kömür ve kok işleme proseslerinde kapalı konveyörler ve elekler tercih edilmesi ve toz oluşumunu önlemek için su püskürtücüler ve plastik emülsiyonların kullanımı örnek olarak verilebilir. Partiküller atmosfere salınımından önce bez filtrelerde de tutulabilir. Mümkün olduğu yerlerde rüzgâr kırıcı perde duvarlar kurulmalıdır. Depo malzemeleri kapalı bunkerlerde veya ambarlarda depolanabilir ve toz kalkmasını önlemek için düşme mesafeleri azaltılabilir.

Kok üretim tesislerindeki önemli emisyon salınımları kömür besleme ve kok itme işlemlerinde oluşabilmektedir. Bir turda alınan kömür miktarını arttırmak ve yükleme ile itme sayısını azaltmak için büyük fırınlar tercih edilebilir. Böylelikle ilgili emisyonlar düşürülerek, sıcaklıkta dâhil olmak üzere koklaşma koşullarındaki dalgalanmalar azaltılabilir. Kok itme işlemlerinde kapalı araba veya sundurmalar

kullanılarak ve açığa çıkan gazlar arıtılarak ve bez filtrelerden geçirilerek kirlilik kontrolü de sağlanabilmektedir.

Mevcut prosesin işletme koşullarının optimizasyonu da önemli bir atık azaltım yöntemidir. Koklaşma süresini azaltmak, üretim miktarını arttırmak, yakıt tüketimini azaltmak ve ateşe dayanıklı tuğlaların termal şokunu minimize etmek için yüksek kaliteli kömür kullanımı ve önceden ısıtma gibi işlemler araştırılmalıdır. Kok bataryalarının uzun ömürlü ve çevresel etkileri azaltacak şekilde işletilebilmesi için refrakter yapılarının bozulmadan korunması, ısı kayıplarının önlenmesi gerekmektedir. Refrakter yapısı bozulmuş bataryaların kullanılması baca gazlarının ve toz emisyonlarının sınır değerleri aşılmasına ve üretilen kok başına harcanan enerji miktarlarının artmasına neden olmaktadır (Poyraz vd., 2014). Etkin koklaşma süreleri sağlanarak kok itme işlemlerinden kaynaklanan emisyonlar azaltılabilmektedir. Böylelikle yeşil kok oluşumunun önüne geçilerek, benzenle çözünen organik maddelerin ve diğer organiklerin önemli miktarlarda oluşması önlenebilir.

Söndürme işlemlerinde ıslak su verme yerine kuru söndürme tercih edilebilir. Kuru söndürme ünitesinden çıkan tüm gazlar filtrelenir. Islak söndürme tercih edilirse kaba tozları gidermek için engelleyici (akım saptırıcı) kullanılmalıdır. Söndürme işlemi için atık su kullanılabilir.

Çok büyük maliyetler harcamadan atık azaltımının temel yöntemi düzenli bakım çalışmalarıdır. Kok fırını açıklıkları temizlenerek ve kapatılarak emisyonlar minimize edilebilir. Gaz sızdırmaz contalı kapı, mekanik temizlemeli kapı çerçeveleri ve delik kapaklar kullanılmalıdır.

Kok üretim tesislerinde geri kazanım ürünleri ise kok gazı ve diğer yan ürünlerdir. Hafif yağ işleme, katran işleme, naftalin işleme, fenol ve amonyak geri kazanım süreçlerinden kaynaklanan hava emisyonlarını önlemek için buhar geri kazanım sistemleri kullanılmalıdır. Kostik soda ve buhar sıyırma kullanılarak amonyak çözeltisindeki sabit amonyak içeriği düşürülebilmektedir. Katran dekantör çamuru içeren tüm proses katı atıkları ise kok fırınına alınarak geri dönüştürülebilir.

Kok üretim tesislerinde sınır değerlerin sağlanabilmesi için kirlilik kontrolü yaklaşım ile atık yönetimi yapıldığında, hava emisyon kontrol teknolojileri olarak ıslak yıkayıcılar, torba filtreler ve elektrostatik çöktürücüler kullanılmaktadır. Torba filtreler yüksek giderim etkinliklerinden dolayı yükleme ve itme işlemlerinden kaynaklanan

partikül madde emisyonlarını kontrol etmek için venturi yıkayıcılara kıyasla daha çok tercih edilmektedir. Elektrostatik filtreler ise kok fırın gazından nihai katran gideriminde etkilidirler.

Atık su arıtma sistemleri ise toplam askıda katı madde, yağ ve katran giderimi için ızgara ve çöktürme tankı, amonyak, hidrojen sülfür ve hidrojen siyanür giderimi için buharla sıyırma, biyolojik arıtma ve nihai filtrasyon ünitlerinden oluşmaktadır.

Katı atık kontrolü açısından kok tozları hariç tüm proses tehlikeli atıkları kok fırınlarına geri döndürülmelidir. Atık su arıtma çamurları susuzlaştırılmalı ve susuzlaştırılmış çamurlar toksik organikler içeriyorsa kok fırınlarına yüklenmeli veya düzenli depolama tesislerinde depolanarak bertaraf edilmelidir.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Demir-çelik endüstrilerinde yüksek fırınların yakıt ihtiyacını karşılamak üzere kurulan kok üretim tesislerinin çevresel etkilerinin kontrolü en önemli sorunlardan biri olmaktadır. Kömür hazırlama ve manüpilasyon ünitelerinde kömür tozu ve VOC emisyonları, kok fırın ünitesinde PM, VOC, PAH, CH_4, NH_3, CO, H_2S, HCN ve SO_x emisyonları ve kok gazı ve yan ürün ünitesinde tehlikeli nitelikte proses katı atıkları (dekanter torkusu, hafif yağ işleme atığı, katran destilasyon atığı) ve atık su arıtma çamurları yönetilmesi gereken önemli çevresel sorunlardır. Bu tür tesislerde kirlilik kontrolü yerine kirlilik önleme yaklaşımıyla atık yönetim planlamaları yapılarak bütünsel önleyici çevre stratejileri oluşturulmalıdır. Kısa vadede kirlilik kaynağını azaltmaya yönelik basit önlemler (düzenli envanter kontrolü, önleyici bakım çizelgeleri, sızıntı ve döküntülerin kontrolü, çalışan eğitimleri) ve çeşitli ölçüm ve kontrol ekipmanları ile kirletici emisyonları azaltmaya yönelik çalışmalar gerçekleştirilirken, orta vadede çevre dostu hammadde girdilerinin araştırılması ve daha az atık oluşturacak yüksek verimli üretim koşullarını belirlemek için çalışma prosedürlerine yönelik optimizasyon çalışmaları sürdürülmelidir. Uzun vadede ise çevre dostu yeni üretim teknolojileri ile ürün modifikasyonuna yönelik araştırmalar gerçekleştirilmelidir. Bu uygulama ile mevcut prosesin insan ve çevre üzerindeki riskleri en aza indirilirken, mevcut tesisler ileri de sınır değerlerde yapılabilecek değişikliklerden da daha az etkilenecektir.

KAYNAKLAR

Alexandersson, G., 2007. Treatment of waste waterfrom coke production, Master of science thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm.

Barik, A., 2010. Effective managementof coke oven solid waste and by-products in steel plant. Proceedings of the XI. International Seminar on Mineral ProcessingTechnolgy, 1084-1093.

Çakır, A.M., 2006. Kok Fırın Gazı Prosesleri ve Ek Tesisleri, Atatürk Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Tezi.

DÇÜD-Demir Çelik Üretim Derneği, 2007. Demir ve Çelik Üretiminde En İyi Teknolojiler Referans Dökümanı, Ankara.

Doğaka-T.C. Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı, 2014. Demir Çelik Sektör Raporu, www.dogaka.gov.tr.

İnceoğlu D., Durmuşoğlu E., 2015 Organik bazlı demir çelik atıklarının karakterizasyonu, Ulusal Katı Atık Yönetim Kongresi (UKAY 2015), 14-16 Ekim, Gaziantep.

İnceoğlu, D., Durmuşoğlu, E., 2014. Petrokokun koklaşma prosesinde kullanımı yolu ile değerlendirilmesi. Ulusal Katı Atık Yönetim Kongresi (UKAY 2014), 1-4 Eylül, Van.

Kayır, Y.Z., 2016. Dünyada ve Türkiye'de Demir Çelik Üretimi. 18. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı, 889-892.

Pisupati, S.V.L.N., Morley, R.J., Scaroni, A.W., 2017. Coal Utilization. Encyclopedia Britannica, https://www.britannica.com/topic/coal-utilization-122944#ref623865, Ziyaret tarihi: Mayıs 2017.

Poyraz, H.B., Kanca, E., Demir, M., 2014. Kok bataryalarının devreye alınması, işletilmesi ve asgari çalışma şartlarının araştırılması, ISITES 2014, Karabük Üniversitesi, 18-20 Haziran.

TUİK-Türkiye İstatistik Kurumu, 2017. Katı Yakıtlar Haber Bülteni-Mart 2017, www. tuik.gov.tr.

World Bank, 1998. Coke Manufacturing, Pollution prevention and Abatement Hand Book, 286-290.

WSA-World Steeel Assocition, 2017. World Steel In Figures 2017, www.worldsteel.org.

ÇEŞİTLİ MADENSEL ATIKLARIN SERAMİK BÜNYELERDE DEĞERLENDİRİLEBİLME OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF POSSIBILITIES OF EVALUATING VARIOUS MINING WASTE IN CERAMICS STRUCTURES

Meryem GÖKTAŞ

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Makine/Metal Teknolojileri, Metalurji Programı, Bilecik, TÜRKİYE

meryem.goktas@bilecik.edu.tr

ÖZET: Türkiye'de Seramik sanayi katma değeri yüksek ürünlerinin %50'sini ihraç eden önemli sektörlerin başında gelmektedir. Ülkemizde Seramik sanayinde kullanılan hammaddeler, hammadde rezervleri bakımından zengin ve iyi niteliğe sahip olması Dünya seramik üretiminde ilk sıralarda yer almamızı sağlamıştır. Ancak her sektörde olduğu gibi Seramik sanayinde de kullanılan hammadde kaynaklarının sınırlı olması ve artan ihtiyaçlar, alternatif malzemelere yönelik çalışmaları gerekli kılmıştır. Bu doğrultuda miktarı gün geçtikçe artan ve seramik sanayinde kullanılan çeşitli maden atıklarının değerlendirilme olanakları üzerine yapılan araştırılmalar incelenmiştir. Yapılan çalışmayla maden atıklarının çevre ve insan sağlığına zararlı olmayan katma değeri yüksek ürüne dönüşüm aşamaları araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Seramik, Atık, Çevre, Maden

ABSTRACT: *Ceramic industry in Turkey is one of the most important sectors exporting 50% of high added value products. The fact that the raw materials used in the ceramics industry in our country have rich in reserves and good qualities have enabled us to take place in the first place in world ceramic production. However, as in every sector, the sources of raw materials used in the ceramics industry are limited, and the increasing needs, which have been requeired necessities for alternative materials. In line with this, the amount is growing by the day and researchs made on the assessment possibilitie of the mining waste of various used in ceramic industry, which were examined. The stages of conversion to high value added products which are not harmful to environmental and human health mine wastes was investigated by this research.*

Keywords: *Ceramic, Waste, Environment, Mining*

1. GİRİŞ

Madencilik faaliyetleri sırasında ortaya çıkan atıklar çok çeşitli olabilmektedir. Son yıllarda artan çevre bilinci madencilik alanında da gündeme gelmiştir. Dünya çapında madencilik faaliyetleri sonucunda oluşan atığın çevre ve insan sağlığına zarar vermeden bertaraf edilmesi ve endüstriye yönelik yeni ürün eldesinde kullanılabilmesi için çalışmalar artarak devam etmektedir.

Seramik üretiminde madencilik atıklarının alternatif hammadde olarak kullanım olanakların araştırılması her zaman gündemde olan bir konusu haline gelmiştir. Seramik üreticileri tarafından seramik ürün kalitesini yükseltmek ve üretim maliyetlerini azaltmak için atıkların kullanımı oldukça önem arzetmektedir. Bu nedenle seramik endüstrisinde de diğer endüstri dalları gibi atık ve alternatif malzeme kullanımında sürekli yatırımlar yapılmaktadır (Acchar vd., 2006). Seramik endüstrisinin bu konudaki çabası, son ürün olarak elde edilen fırınlanmış mamulün karakteristik özelliklerini ve kalitesini değiştirmeden, atık malzemeleri kullanarak maliyetlerini azaltma çabasıdır (Kurama vd., 2007). Bu alternatif malzemeler bölgesel hammaddeler olduğu gibi (Blanco García vd., 2005; Sousa ve Holanda, 2005), bir endüstri alanının atıkları da olabilmektedir (Acchar vd., 2006, Jordàn vd., 2005).

Bu çalışmanın amacı çeşitli madensel atıkların seramik bünyelerinde kullanılabilirliği üzerine yapılan çalışmaların araştırılmasıdır. Ayrıca mermer atıklarının seramik bünyelerde kullanımına yönelik alternatif bir çalışma yapılmış ve mermer atıklarından katmadeğeri yüksek yapay vollastonitin üretilerek seramik bünyelere katılmıştır. Böylece, bu konuda yapılan çalışmalar ile, farklı madencilik faaliyetlerinin geliştiği tesislerde proses atıkları içerisinde şu an işletmeciler açısından karlı olmayan ancak metal ve endüstriyel mineral fiyatlarındaki artışlar, cevher tenörlerinin daha azalması gibi teknolojik gelişmeler durumunda değerlendirilebilecek imkanlar sunulmaya çalışılmış olunacaktır.

1.1 Maden Atıkları

Dünya çapında endüstri kuruluşları atıklarının tehdit oluşturduğu düşüncesi 1930'lu yılların başında hakim olmaya başladı. II. Dünya Savaşı'nda artan endüstriyel üretim faaliyetleri ve savaş sonrası yaşanan gelişmeler sorunların önemli ölçüde artmasına neden oldu (Nemerow, 2006). Savaş boyunca, naylon, kauçuk ve çeşitli metaller gibi

ürünler geri dönüştürülmüş ve gerekli olan silah gibi diğer malzemeleri üretmek için tekrar kullanılmıştır. Bununla birlikte, savaştan sonra geri dönüşüm girişimlerinde belirgin bir azalma olmuştur (Miller, 2010).

Dünya nüfusu hızla artarken malzeme, enerji ve diğer sürdürülebilir doğal kaynaklar hızla azalmaktadır (Hester ve Harrison, 2009). Dünya çapında endüstriyel atıkların bertaraf edilmesi önemli bir sorundur. Buna ek olarak, bu atıkların biyolojik olarak parçalanamaz nitelikte oluşu sorunun ciddiyetini daha da arttırmaktadır.

Madencilik, uygarlığın gelişimi ve devamı için tarımın yanı sıra, insanoğlunun temelde en eski faaliyetlerinden birini temsil eder. Bilinen en eski arkeolojik kayıtlardaki maden, Svaziland'daki aslan mağarasında, 43.000 yaşındaki radyo karbondur. Dahası, ilkel toplumların maden ocağına bağımlılığı Taş Devri, Tunç Çağı ve Demir Çağı terimleri ile tasvir edilmiştir. Zamanla, minerallerin kullanım hacim ve çeşitlilik bakımından artmıştır. Topluluklar tarafından daha geniş bir amaç ve talep yelpazesini karşılamak amacıyla işlenen mineral çeşitliliği de artmıştır. Bugün gelişen toplum geçmişten daha da fazla mineral sanayiine bağımlı hale gelmiştir (Bell ve Donnelly, 2006). Madencilik endüstrisi yalnızca büyük miktarda işlenmiş malzeme değil, aynı zamanda büyük miktarda atık eldesine de neden olmuştur. Madensel atıklar diğer endüstriyel faaliyetler sonucu üretilen atığın büyük bir oranını temsil etmektedir. Yani, katı maden atığı miktarı, madencilik ve buna bağlı maden işleme ve zenginleştirme işlemleri sırasında oluşan atıklar yaklaşık olarak birkaç yılda bin milyon tonu bulmaktadır (Lottermoser, 2007).

1.2. Maden Atıklarının Çevresel Etkileri

Maden atığının çevresel etkisi, maden çıkarma metoduna, cevherin türüne ve cevherin işlenmesinde kullanılan teknolojilere göre değişen türüne ve bileşimine bağlıdır (Rankin, 2011). Örneğin, önemli miktarlarda sülfür mineralleri içeren atık kaya ve atıklar, bulunduğu yerlerde havaya ve suya maruz bırakıldığında asit kaya drenajı (ARD) meydana gelebilir (Rajaram ve Melchers, 2005). Sonuç olarak, her madenin kendi atık karakterizasyonu, tahmin etme, izleme ve kontrolü gerekir (Lottermoser, 2012). Birçok maden atığı çevre ve bitki örtüsü açısından zararsızdır ve yeryüzünün yeniden yapılandırılması, yol ve baraj inşaatı için kullanılabilir (Lottermoser, 2012).

Maden sahalarında atıkların bertaraf edilmesinden kaynaklanan başlıca çevresel etkiler iki kategoriye ayrılabilir: Bir atık depolama alanına dönüşmesinden sonra üretken arazilerin kaybedilmesi ve suyun çevre yüzeyine ve yeraltı sularına sızması, asitliğe ve diğer kirleticilerin girmesine neden olur (Rankin, 2011; Lottermoser, 2012).

1.3. Madensel Atıkların Seramik Sanayinde Kullanım Olanakları

Seramik en basit tanımı ile pişmiş toprak demektir. Doğadan elde edilen kil, kaolin, kuvars ve feldspat maddelerinin belirli oranlarda karıştırılarak çamur haline getirilir, kalıplanır ve 1000°Cnin üzerinde yüksek sıcaklıkta fırınlanır. Seramik, doğadan doğal yollarla elde edilen maddelerden yapıldığı için sağlıklıdır. Seramik çevreye zarar vermeyen ekolojik bir üründür.

Türk seramik sektörü ülkemizin önde gelen sektörlerinden birisidir. Seramik sektöründe de diğer sektörler gibi rekabet gücünü daha da arttırabilmek için hammadde, enerji ve nakliye de iyileştirici olanakların araştırılması gerekmektedir. Yapılan bazı çalışmalarda, madensel atıkların seramik sektöründe geri dönüşümü incelenmiştir ve öncelikle maden atıklarının çevre sorunu yaratan etkilerinin giderilmesi için seramik sanayinde kullanımında toplumsal kalkınmaya yönelik olarak yapılabilecek çalışmalar, bunun yanında yeniden ve sürdürülebilir madencilik gibi seçenekler tartışılmaktadır. Bunlardan bazılarına örnekler aşağıdaki gibidir:

Granit madenciliği ve işlenmesi sırasında büyük miktarlarda atık ortaya çıkmaktadır. Granit kesme sırasında oluşan atık; feldispat, kuvars ve mika gibi ana bileşenleri içerdiği gibi metalik toz ve kireç (aşındırıcı ve yağlayıcı olarak kullanım) gibi kalıntı malzemeleri de içerir. Bu malzemeler seramik sektöründe değerlendirilebilir. Yine bor minerallerinin yan kayacının çoğunlukla kil mineralleri içermesi, esas hammaddesi kil olan seramik sektöründe bor türevleri atıklarının değerlendirilebileceğini göstermektedir. Yine bor minerallerinin yan kayacının çoğunlukla kil mineralleri içermesi, esas hammaddesi kil olan seramik sektöründe bor türevleri atıklarının değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bor atıklarının seramik endüstrisinde kullanıldığı alanlar; firit ve sır hazırlanması, çini yapımı, döküm çamuru üretimi, yer karosu ve duvar karosu yapımı şeklinde sıralanabilir. Bor atıkları yüksek miktarda boroksit (B_2O_3) içerdiğinden seramik sanayinde sır bünyelerde kullanılma imkanı bulmaktadır (Yeşilkaya, 1989). Seramik sektöründe sır bünyelere boroksit

ilavesinin; viskoziteyi ve erime noktasını düşürdüğünü ve bünye yüzeylerine parlaklık verdiğini bilinmektedir (Lyday, 1996). Yine yapılan başka bir çalışmada, bor atık katkılı killerin seramik sektöründe frit, sir ve masse hazırlanmasında kullanılabilirliği kanıtlanmıştır (Sönmez vd., 1993). Çini, başlıca hammaddeleri kil, kaolin, kalsit veya dolomit olan çift pişirim yöntemiyle üretilen seramik bir malzemedir. Dolayısıyla çini yapımında bor içerikli kil atıklanmn kullanımı mümkündür. Yapılan çalışmalar ile, kuru-pişme ve toplam küçülme değerlerinin azaldığı, atık bünyesindeki B_2O_3 nedenleriyle sinterleşmenin arttığı ve böylece sağlam bir yapının oluştuğu, hammadde maliyetinin önemli oranda düştüğü gözlenmiştir. Sır bünyelere bor atıklan ilavesi; viskoziteyi düşürerek döküm çamurunun iyi kurumasını sağlamakta, erime noktasını düşürmekte ve seramik bünyelere parlaklık kazandırmaktadır (Köseoğlu ve Bayca, 2002). Yine bor atıklarının yer ve duvar karolarında kullanılabilirliğinin incelendiği bir çok çalışma mevcut olup bunlardan biride Karasu vd. (2002) tarafından, yer karosu firit reçetesine belli oranlarda (%13.5'a kadar) Kırka Boraks atığı ilave ederek, atığının yer karosu sırlarında kullanılabilirliği incelenmeye çalışılmıştır.

Atık kömür, geri dönüşümü teknolojisinde; tuğla yakma ve seramik üretimi için hammaddenin hazırlanması için kömür yakıtı üretiminde kullanılabilirliği üzerine çalışmalar yapılmıştır. Pnömatik atık sınıflandırmasının kömür kalıntılarının tuğla üretimi için elde edilecek dengeli bir seramik hammaddesi olarak tanımlanmıştır. Atık kömürden üretilen seramik duvar malzemelerinin işletme özelliklerinde artış gözlemlenmiştir. Yine yapılan çalışmada yüksek fiziksel ve mekanik özelliklere sahip seramik tuğlaların üretimi için kaynak hammadde elde edilmiştir. Atık kömür kullanımı seramik endüstrisinde sadece yapı malzemelerinin üretimi için hammadde sağlamamakta, aynı zamanda çevresel sorunları çözmeye ve endüstriyel bölgelerdeki çevresel durumu iyileştirmeye yardımcı olacaktır (Stolboushkin vd., 2016).

Abilio vd. (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada; Portekiz'in Beira İçişleri bölgesinden tungsten maden atığından (Panasqueira Mine) elde edilen, 800°C ile 1300°C arasında geniş bir termal aralıkta hazırlanan farklı tungstenli maden atıkları ve endüstriyel kaolin kompozisyonları mekanik testleri değerlendirilmiştir. Mekanik mukavemet değerlerinin daha "geleneksel" üretilen diğer seramiklere kıyaslandığı durumlarda, özellikle 1100°C'nin üzerinde iyi sıkıştırma ve uygun olduğunda vitrifikasyon sağladıkları görülmüştür. Yapılan deneyler sayesinde, asit, nötr ve bazik

oksitler içeren maden atığının özel kompozisyonundan dolayı mineral kil bulunmadan seramik materyal üretme yeteneği vurgulanmıştır. Bununla birlikte, 1100°C'nin üzerinde sinterleme yapan yüksek yoğun seramik ürünler, kırılma mekanizması baskın olduğu ve bazı teknik özelliklere sahip yeni seramik ürünlerin geliştirilmesine izin veren durumlarda ticari yapılara benzer mekanik mukavemeti gösterdiği gözlenmiştir.

Yapılan bu çalışmanın amacı, çeşitli mermer toz atıklarının inşaat, ziraat, ilaç vb. gibi sektörler dışında seramik sektöründe de kullanılabileceği ve katma değeri yüksek endüstriyel hammadde olan yapay vollastonit üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Elde edilen yapay vollastonit ile üretilen seramik ürünlerin özellikleri incelenmeye çalışılmıştır (Göktaş, 2013). Böylece, son yıllarda mermer mermer toz atıklarının yeniden ve farklı bir kullanım olanağı sunulmuştur.

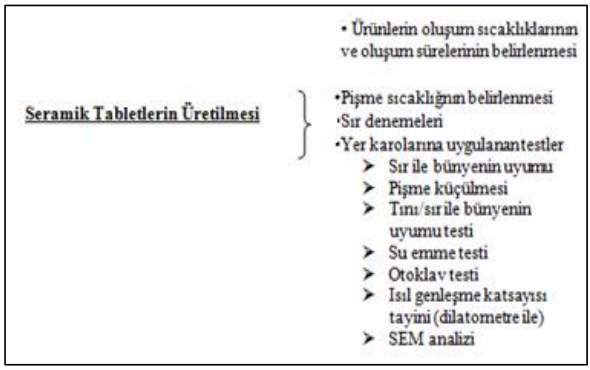
2. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmada; aşırı öğütülmüş kuvars kumu ve beyaz mermer tozu karışımları kullanılarak yapay kalsiyum silikatlardan olan ve seramik endüstrisinde kullanılan, katma değeri yüksek endüstriyel minerallerden yapay vollastonit elde edilmesi gerçekleştirilmiştir. Üretilen yapay vollastonitin geleneksel yer karosu seramiklerindeki davranışı ortaya çıkarılmaya çalışılmıltır. Tane boyu dağılım eğrileri incelendiğinde, öğütülmemiş karışımdaki tanelerin %10'unun -3 µm (d_{10} = -3 µm), %50'sinin -23 µm (d_{50} =-23 µm), %90'ının ise -71 µm (d_{90} = -71 µm) olduğu anlaşılmaktadır. 120 dakika öğütme süresine kadar değirmene beslenen numunenin %10'unun tane boyu -2 µm (d_{10} = -2 µm), %50'sinin tane boyu -16 µm (d_{50} = -16 µm), %90'ının tane boyu ise -62 µm (d_{90} = -62 µm) bulunmuştur.

Ancak 180 dakikadan daha uzun sürelerdeki öğütme işlemlerinde örneğin 180 dakika öğütülen karışımın %10'unun tane boyunun -1,7 µm, %50'sinin tane boyunun -23,3 µm, %90'ının tane boyunun ise -94,2 µm bulunmasıyla daha kısa sürelerdeki öğütmelerde bulunan d_{10}, d_{50} ve d_{90} değerlerinden daha büyük tane boylarının ortaya çıktığı fark edilmiştir. Tane boyundaki artışın uzun süre öğütmelerde aglomerasyondan kaynaklandığı düşüncesini ortaya atmaktadır. 60' da değirmenden alınan malzeme miktarı CaO/SiO_2 oranı 1/1.1 olan ve Bilya: Karışım ağırlıkça oranı 20 olan mermer tozu ve kuvars tozundan hazırlanan karışımların 30' öğütülme süresinde maksimum düzeyde olduğundan mermer tozu ve kuvars kumu CaO/SiO_2 oranı 1/1.1 olan ve Bilya:

Karışım ağırlıkça oranı 20 olacak şekilde 30' öğütülerek 1000ºC de 30' kavrulmuştur. Elde edilen yapay vollastonit ürünler ile seramik tabletlerin üretilme koşulları belirlenmiştir.

Ağırlıkça %5-20 aralığında çeşitli miktarlarda yapay vollastonit eklenen Bilecik Bien Seramik tarafından temin edilen geleneksel yer karosu seramik massesi ile hazırlanan çamurlar 1000°-1200°C aralığında çeşitli sıcaklıklarda pişirilmiş; elde edilen seramiklere, su emme analizi, pişme küçülmesi analizi, renk değeri ölçümü, ısıl genleşme davranışı, mineralojik faz analizi, mikroyapı karakterizasyonu, otoklav testi ve asit ve baza dayanım testi gibi çok çeşitli testler uygulanmıştır. Üretilen yer karosu seramik tabletleri ayrıca sırlanarak yeniden pişirilmiş ve sır tutma özellikleri saptanmıştır. Böylece, üretilen yapay vollastonitin yer karolarının teknik özellikleri üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak ortaya çıkarılmıştır.



Şekil.1. Yapılan çalışmaların özeti

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapay vollastonit üretimi için, çeşitli oranlarda karıştırılmış mermer tozu ve kuvars tozu, jet değirmende 30, 60, 120, 180, 240 ve 300 dakika gibi değişik sürelerde öğütülmüştür. Daha sonra, Protherm marka HLF50 model kül fırınında 1000, 1100 ve 1200 °C'de 20' süreyle pişirilmiştir. Elde edilen tozların fiziksel, kimyasal ve fizikokimyasal özellikleri XRD, SEM, TGA gibi analiz yöntemleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde, CaO/SiO_2 mol/mol oranı 1/1.1 olacak şekilde hazırlanan mermer tozu-kuvars tozu karışımı bilya/karışım ağırlıkça oranı 20 olan öğütme koşullarında 30 dakika öğütülmüş (tane boyu dağılım eğrisi incelendiğinde d_{90}(µm): 90,898 olan) ve öğütülen bu karışım kavrulduğunda,

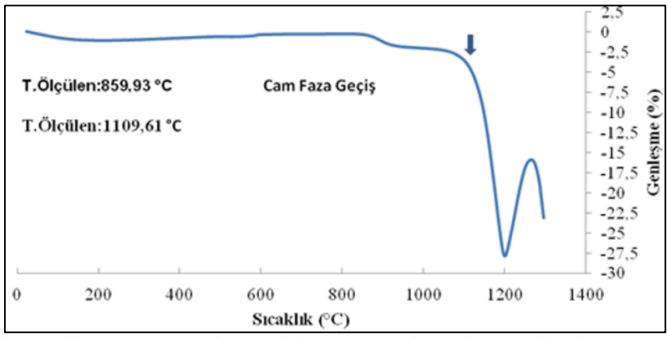
1000°C'de elde edilen üründe, aynı oranlarda malzemeler içeren öğütülmemiş karışımın kavrulmasıyla elde edilen üründe ise ancak 1200°C da ortaya çıkan, vollastonit izine rastlanmıştır. Böylece öğütülmüş karışım kullanılarak daha düşük sıcaklıklarda yapay vollastonit üretilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında mermer atık tozlarından üretilen yapay vollastonitin seramik bünyesine eklenerek kullanımı araştırılmıştır. Seramik tabletlerin üretilmesi için; elde edilen öğütülmüş ve kavrulmuş malzemelerle Bilecik Bien Seramik tarafından temin edilen yer karosu massesi ve elde edilen yapay vollastonit %0 (vollastonit katkısız), %5, %10, %15 ve %20 oranlarında hazırlanarak, Denver marka bilyalı değirmende ~ 30' süre ile karıştırılarak seramik tabletleri üretmek üzere seramik çamurları eldilmiş ve her bir oranda seramik tablet elde edilmiştir. Ayrıca, yapay vollastonitin katkısını ortaya çıkarmak üzere seramik yer karosu çamuruna ; tını/sır ile bünyenin uyumu testi, renk, asitlere dayanımı, pişme küçülmesi, su emme testi, ısıl genleşme katsayısı tayini (dilatometre ile), SEM ve XRD analizi testleri uygulanmıştır.

Pişme denemeleri bittikten sonra sır denemesi için bütün tabletlerin bir yüzleri sırlanarak 1200 °C'de 1 saat süre ile bekletilmiş ve tını/sır ile bünyenin uyumunun iyi olduğu gözlemlenmiştir. Sırın yüzeye yapışmasının iyi, kalın ve ince yerlerde çatlamaya rastlanmamış, beyazlığının iyi, 1200 °C'de pişen tabletlerin tını seslerinin oldukça ince ve porselenliğe oldukça yakın olduğu sonucuna varılmıştır. Farklı derecelerde pişen bütün malzemeler 1200 °C de pişirilen malzemelerle aynı özelliğe sahip olduğu bunun yanında camsı yapıya sahip olduğu görülmüştür. Kimyasal dayanım testi (hidroklorik asit ile) yapıldığında malzemelerin asitlere karşı dayanımlarının oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Yine pişme davranışları incelendiğinde elde edilen sonuçlara göre tane boyutu inceldikçe oluşturulan tabletlerin pişme sonrası küçülme değerleri artmış, su emme değerleri düşmüştür. Çalışmayı ilginç kılan durum ise; mermer atıklarıyla elde edilen vollastonit katkıları ve yer karosu massenin döküm yöntemiyle şekillendirilmesi sayesinde, fabrika şartlarına kıyasla yaklaşık 100 °C daha düşük sıcaklıkta sıfır su emmeye ulaşılmış olmasıdır. Yine bünyelerin göstermiş oldukları çekme davranışları pişme küçülmesi davranışlarını desteklediği görülmüştür.

Şekil 2'de Karışımda ağırlıkça %5 oranında CaO/SiO_2 oranı =1/1.1 olan ve Bilya/Karışım ağırlıkça oranı 20 olan öğütme ortamında 30' öğütülmüş ve 1000 °C'de 30' kavrulmuş malzeme bulunan çamurundan elde edilen seramik tablete ait dilatometre

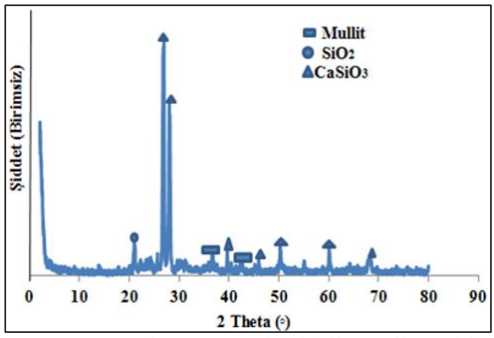
analizlerine bakıldığında tanα değerleri incelenmiş ve hangi malzemenin tanα değeri daha büyükse, o malzemenin gösterdiği genleşmenin o kadar büyük olduğu anlaşılmıştır.



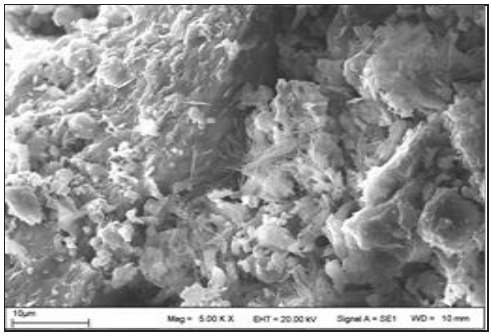
Şekil 2. Karışımda ağırlıkça %5 oranında CaO/SiO_2 oranı =1/1.1 olan ve Bilya/Karışım ağırlıkça oranı 20 olan öğütme ortamında 30' öğütülmüş ve 1000°C'de 30' kavrulmuş malzeme bulunan çamurundan elde edilen seramik tablete ait dilatometre analiz sonuçları

Şekil 2'de dilatometre analizi verilen numunenin sıcaklığa en dayanıklı numune olduğu sonucuna varılmaktadır. Özellikle 1000 ºC üstü sıcaklıklara dayanıklı olması sebebiyle bu numunenin seramik sanayinde dayanıklı sırlı granit üretimi için kullanılabileceği, bunun yanında diğer malzemelerin ise çift pişirimli duvar karolarında kullanılabilirliği sonucuna varılmış olup elde edilme şartları araştırılabilir. Şekil 3'de karışımda ağırlıkça %10 oranında 1000 °C'de pişirilen yapay vollastonitli seramik tabletlerinin XRD deseni ve Şekil 4'de %20 oranında 1000 °C'de pişirilen öğütülmüş vollastonitli seramik tabletinin SEM görüntüleri verilmiştir.

Şekil 3'de ve Şekil 4'de elde edilen SEM görüntüleri ve XRD sonuçlarında kılcal yapıdaki vollastonit ve mullit minerallerine rastlanmıştır. Alümina ve silika içeren seramik ürünlerde istenilen bir faz olan mullitin, Al'un sadece aşırı öğütmenin etkisi ile seramik astarlı değirmenden veya alümina bilyalardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durumda elde edilen XRD paternlerinde rastlanan mullitin ($3Al_2O_3.2SiO_2$) yer karolarında kullanım alanına sahip olmasının nedeni yüksek erime noktası, yüksek kimyasal dayanım, düşük termal genleşme katsayısı, düşük dielektrik sabiti, yüksek bükülme dayanımı, yüksek sürünme dayanımı ve yüksek sıcaklıklardan oda sıcaklığına inildiğinde gösterdiği iyi termal şok direnci ve korozyona karşı dayanımı gibi sahip olduğu üstün fiziksel özellikler olup, seramik malzemede pişme sonrası direnci arttırmaktadır (Göktaş ve Erdemoğlu, 2014).



Şekil 3. Karışımda ağırlıkça %10 oranında 1000 °C'de pişirilen vollastonitli seramik tabletlerinin XRD deseni



Şekil 4. %20 oranında 1000 °C'de pişirilen öğütülmüş vollastonitli seramik tabletinin SEM görüntüleri

4.SONUÇLAR

Mermer toz atıklarının farklı malzemeler üretiminde kullanılması konusunda bugüne kadar yapılan çalışmalara bir katkı sağlamak üzere yapay vollastonit katkılı yer karosu örnekleri üretilmiş ve örneklere çeşitli seramik testleri uygulanmıştır. Böylece yapay vollastonit için uygun üretim şartları belirlenmiştir. Üretilen yapay vollastonit ağırlıkça % 0-20 arasında değişen oranlarda seramik standart reçetesine eklenmiş ve seramik bünyeler alçı kalıplar yardımıyla şekillendirilmiş, 1000, 1100 ve 1200ºC sıcaklıklarda pişirilmiştir. Elde edilen seramik malzemelere çeşitli seramik testlerinin uygulanması sonucunda; öğütülmüş karışımlarla elde edilen yapay vollastonitin seramik malzemede camsı fazın oluşum sıcaklığını düşürdüğü belirlenmiştir.

Dilatometre analizleriyle elde edilen bulgulara göre, en üst cam faza geçiş sıcaklığı 700°C olmakla birlikte; öğütülmüş karışımın kavrulmasıyla elde edilen yapay vollastonitin ağırlıkça %5 olarak bulunduğu seramik ürünün sıcaklığa en dayanıklı malzeme olduğu belirlenmiştir. Buna göre, üretilen yapay vollastonitin örnek olarak,

çift pişirimli duvar karolarında ya da özellikle 1000ºC üstü sıcaklıklara dayanıklı olması sebebiyle sırlı granit üretimi için kullanılabileceği düşünülmektedir. Daha düşük sıcaklıklarda üretilen yapay vollastonit eldesinde camlaşma sıcaklığının düşük olması, endüstriyel yer karosu graniti üretimi sırasında enerji maliyetinin de düşük olacağı sonucunu ortaya çıkarmıştır. Başka bir deyişle, frit fırınında kullanılan doğalgaz tüketimi 1200°C'de pişirim için ~3 TL/m^2 iken; üretilen yapay vollastonitin seramik bünyelerde kullanılmasıyla elde edilen yer karosu granitinde 1000°C'de pişirim için bu değer ~2,5 TL/m^2 olmaktadır. Yani, aynı kalitede ürünü daha düşük sıcaklıklarda üretmek, doğal bir sonuç olarak, enerji tasarrufu sağlamıştır.

KAYNAKLAR

Abílio P. Silva, JM., Herrera, Jorge A., Durán Suárez, João P., 2016. Castro-Gomes, Ceramic Products Manufactured from Tungsten Mine Waste. Fracture of Grain and its Consequences on Applications. Conference: XV Portuguese Conference on Fracture, At Lisbon, Portugal.

Acchar, W., Vieira, F. A., Segadães, Ana M., 2006. Using ornamental stone cutting rejects as raw materials for red clay ceramic products: Properties and microstructure development, Materials Science and Engineering A,Volume 435-436, Pages 606-610.

Bell, F. G. & Donnelly, L. J. 2006. Mining and its Impact on the Environment, Taylor & Francis, ISBN10 0–203–96951–0, New York.

Blanco García,,M. Rodasa, C.J. Sánchez, M. Dondi, J., 2005. Alonso-Azcárate, Technological characterization and ceramic application of gravel pit by-products from middle-course Jarama river deposits (central Spain", Applied Clay Science, Volume 28, Pages 283-295.

Göktaş, M., 2013. Mermer Sanayi Atıklarından Yapay Kalsiyum Silikat Üretiminde Aşırı Öğütmenin Etkilerinin Seramik Malzemeler Üzerinde Araştırılması. Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.

Göktaş, M., Erdemoğlu, M., 2014. Aşırı Öğütmeyle Mekanik Olarak Aktifleştirilmiş Atık Mermer Tozları kullanılarak Yapay Vollastonit Üretimi ve Kullanımı. Madencilik Dergisi, Cilt 53, Sayı 1-2, sayfa 39-42.

Hester, R. E. & Harrison, R. R., 2009. Electronic Waste Management, Royal Society of Chemistry (RSC), ISBN 978-0-85404-112-1, Cambridge.

Jordàn, M.M., Almendro-Candela, M.B., Romerob, M., Rincón, J.Ma., 2005. Application of sewage sludge in the manufacturing of ceramic tile bodies, Applied Clay Science Volume 30, Pages 219-224.

Karasu, B., Gerede, E., Taşbaşı, Ş., 2002. 'Etibor Kırka Borax Konsantre Atıklarının Firitleştirilerek Yer Karosu Sırlarında Değerlendirilmesi' Bor Sempozyumu Özet Kitapçığı, Balıkesir.

Köseoğlu, K., Bayca, S.U., 2002. Döküm Çamuruna %10 ve %20 Kolemanit ve Üleksit
Atıkları İlavesinin Viskozite ve Mukavemet Özellikleri Üzerine Etkileri, I. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya, 207-212.

Kurama, S., Kara, A., Kurama, H., 2007. Investigation of borax waste behaviour in tile production, Journal of the European Ceramic Society, Volume 27, Pages 1715-1720.

Lottermoser, B. G. 2007. Mine Wastes Characterization, Treatment, Environmental Impacts, Second Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN-10 3-540-48629-1, New York.

Lottermoser, B., 2012. Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts, Springer: New York. p. 400.
Lyday, P.A., 1996. Boron, US Department Of The Interior , Bureau Of Mines, Washington D.C.

Miller, D. A. 2010. Garbage and Recycling, Lucent Books, ISBN 978-1-4205-0147-6,
Farmington Hills.

Nemerow, N. L. 2006. Industrial Waste Treatment: Contemporary Practice and Vision for the Future, Elsevier Science & Technology Books, ISBN 0123724937, Amsterdam.

Rajaram, R. and Melchers, R.E., 2005. Chapter 6: Waste Management, in Sustainable Mining Practices -- A Global Perspective, V. Rajaram and S. Dutta, Editors. A. A. Balkema Publishers, a member of Taylor & Francis Group: Leiden, The Netherlands. p. 193-230.

Rankin, W.J., 2011. Minerals, metals and sustainability : meeting future material needs, Collingwood, Vic.: CSIRO Pub.

Sousa, S.J.G, Holanda, J.N.F., 2005. Development of red wall tiles by the dry process using Brazilian raw materials, Ceramics International, Volume 31, Pages 215-222.

Sönmez, E., Özdağ, H., Özler, A., Sümer, G., 1993. Kırka Boraks İşletmesi Atık Killerinin Seramik Endüstrisinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Türkiye XIII. Madencilik Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İstanbul, 561-566.

Stolboushkin, A.Yu., Ivanova, A.I., Fominab, O.A., 2016. Use of Coal-Mining and Processing Wastes in Production of Bricks and Fuel for Their Burning, Procedia Engineering 150, 1496 – 1502.

Yeşilkaya, L., 1989. Kırka Boraks İşletmesi Tinkal Konsantratörü Atıklanndaki Kilin Flokülasyon İle Ayrıştırılması ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

REMOVAL OF IRON AND SULPHATES FROM SLUDGE BY ELECTROKINETIC REMEDIATION

ELEKTROKİNETİK ISLAH YÖNTEMİ İLE ÇAMURDAN DEMİR VE SÜLFATLARIN GİDERİMİ

Mohamed KECIR[1*], Mounir ZIATI[1], Nassima BENFERRAH[1], Jíři BOTULA[2]

1: M'hamed Bougara University, Boumerdes, ALGERIA

2: VSB-Technicka Univerzita Ostrava, CZECH REPUBLIC

*: Corresponding Author: medkecir@yahoo.fr

ABSTRACT: The objective of this study is the decontamination of sludge issues from the wastewater treatment station of Hassi R'mel (Algeria) by an electrokinetic process called electromigration. The test of removal of iron and sulphates from the sludge was carried out in a glass cell made up of three compartments: the central one contains the sludge to be treated and the two extreme compartments contain each one an electrode. The imposition of a potential of 10V with an acidic medium and a minimum residence time of 10 days with an ambient temperature, showed the effectiveness of the electromigration technique to recover the iron at the cathode and sulphates at the anode. The sulphates are more soluble and mobile than iron and have been moved to the anode.

Keywords: Iron, Sulphates, Sludge, Electromigration

ÖZET: *Bu çalışmanın amacı, elektrotaşınım olarak adlandırılan bir elektrokinetik yöntem ile Hassi R'mel (Cezayir) atık su arıtma tesisi çamurunun arıtılabilirliğinin incelenmesidir. Çamurdan demir ve sülfat uzaklaştırma testi, merkezde arıtılacak çamuru içeren bölme ve uçlarda elektrot içeren bölmeler olmak üzere üç bölmeli cam hücrede gerçekleştirilmiştir. Demiri katotta, sülfatları ise anotta kazanmak için asit ortamda oda sıcaklığından en az 10 gün şartlandırma durumunda elektrotaşınım yönteminin etkili olduğu görülmüştür. Sülfatlar demire oranla daha çözünür olduğundan anoda doğru yönelmiştir.*

Anahtar Kelimeler: *Demir, Sülfatlar, Çamur, Elektrotaşınım*

1. INTRODUCTION

The wastewater treatment generates urban, industrial and domestic sludges with mass and toxicity which are often contested. The present challenge is to find applications for these sludges (agriculture, energy) while limiting their toxicity to heavy metals and other polluting organic compounds.

The objective of this study is the characterization of the settled sludges of the sewage treatment and purification plant "STEP" (pH, conductivity, total organic carbon, determination of exchangeable cations, etc.) to assess its fitness for treatment, to estimate the pollution risks and finally to know its possibility of valorization. Then for more safety, the sludge must be adequately treated in the case of agricultural, poultry or other uses. Several sludge recovery methods have already been tested; they are chemical, thermal, leaching, etc. All these methods, if they are not expensive (heat treatment), risk producing a second chemical pollution (use of reagents). In general, the treatment of sludge has become an inevitable corollary of the water treatment and, in many cases, requires significant technical and financial resources.

In this work, will be examined an inexpensive recognized electrokinetic extraction process named electrodepollution or electroremediation; it uses an electric current that flows between two unattackable electrodes immersed in a soil or mud.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Characterization of The Sludges Taken From The Processing Line

2.1.1 Sludge sampling and recovery

The sludge studied is that resulting from a conventional treatment of urban wastewater clarification. The treatment station taken into account is that of Hassi Rmel. The pasty mud formed after drying bed is taken from a polyethylene bottle and transported to the laboratory immediately. Once recovered, this slurry is dried in an oven for at least 24 hours at 105°C and then placed in the desiccator until it is used.

2.1.2 Sludge analysis

As it was explained earlier, in order to evaluate the suitability of sludge for treatment, determine the treatment it has do undergo, estimate the risks of pollution and determine

the possibilities for reuse (agricultural, energy or other), it must obviously be characterized.

Generally the sludge is analyzed on physical criteria to better identify it and its treatment possibilities. The chemical analysis of sludge is intended to evaluate the risks of pollution to the environment and to know the substances useful in the context of recovery. Finally, the microbiological characteristics of sludge are mainly used to estimate their health risks for humans and animals when released into the natural environment or used for agricultural purposes (U.S. EPA, 1997; Shackelford and Daniel, 1991).

In our study and for practical reasons and multiplicity of parameters, it was opted for the analysis of some physicochemical parameters namely: pH, residual moisture, loss on ignition, electrical conductivity, determination of exchangeable cations and measurement of some metals.

pH determination

The pH of the sludge was measured as follows: to 100 g of dry sludge contained in an Erlenmeyer flask, it was charged with 250 ml of distilled water. The mixture was stirred for 2 minutes, then decanted for 30 minutes in the absence of air. After filtration, the pH of the filtrate is read on a "Grison 2000" pH meter.

Conductivity measurement

The conductivity measurement is carried out in the supernatant of 2 g of sludge, centrifuged after adding a volume of 10 ml of distilled water as recommended in (AFNOR, 1994). The measuring device is a "Metteler Toledo MC226" conductivity meter.

Measurement of chlorides

The chlorides are measured according to the principle of the Mohr method: to 100 ml of the filtrate (the solution which was used for the determination of the pH), 2 to 3 drops of potassium chromate ($K_2 CrO_4$) are added; the medium turns yellow. The test portion is then titrated with $Ag NO_3$ (0.1M) until the color change from yellow to brick red.

Determination of moisture

By convention, the residual moisture is the difference between the mass of the test portion of the sludge sample prepared for analysis and the mass of the test portion dried under defined conditions. These can be summarized as follows:

An open weighing vessel containing 2 g of sludge and its lid are carried in the pre-set oven at 105°C and left for at least 2 hours, until a constant mass (two consecutive weighings at about 1 hour interval should not differ by more than 2.5 mg). The weighing vessel is removed from the oven and cooled in a desiccator, and the sample is then weighed. The residual moisture (H) (expressed as a percentage) of the sludge sample prepared for analysis, is:

$$H = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \qquad (1)$$

where : m_0 is the test portion mass, in grams, before drying.

m_1 is the test portion mass, in grams, after drying.

Measurement of metals in mud (Al, Fe, Mn, CU, Zn, Cr, Pb, As, Cd, Se)

The content of certain metals in sewage sludge limits their use in agriculture (or their disposal by incineration) and it is therefore necessary to determine these concentrations precisely. Before the analysis of these metals by the usual and very sensitive methods of atomic or emission or plasma absorption, destruction of the organic matter must be carried out by treatment of the sample at 450 °C. in the presence of ammonium nitrate.

Determination of exchangeable cations Ca^{++}, Mg^{+}, K^{+}, Na^{+}

The term "extractable cation" includes those species which are also referred to as the "exchangeable base" and are as follows:

- the elements passing into solution as a result of an exchange reaction;
- the elements passing into solution as a result of the solubilisation of certain compounds, in particular: the so-called soluble salts and a fraction of carbonate compounds when the addition of ammonium acetate causes an acidification of the sample.

In order to determine, as rigorously as possible, the quantity of the extracted cations, we have retained the standardized method corresponding to the determination of the extractable cations by ammonium acetate (AFNOR X31C standard) (AFNOR, 1994). It is a matter of bringing into contact, with agitation, 2.5 g of dry sludge with an ammonium acetate solution (77.0 g of ammonium acetate in 100 ml of distilled water are brought into contact with stirring for one hour of time at 20 ° C. After filtration, the obtained filtrate is ready to be assayed by flame-emission spectrophotometer after a 5-fold dilution.

The determination of the cations Ca^{++}, K^{+}, Na^{+} carried out with a JENWAY PP7 flame emission spectrophotometer, is calibrated with a standard of 20 ppm for each element. The Mg^{++} assay is carried out with an PERKIN ELMER 3110 type atomic absorption spectrometer and calibrated with a standard of 0.3 ppm at a wavelength of 285.2 nm. The analysis of the solutions is carried out after calibration by intercalating with suction of distilled water after each measurement.

Sulphates analysis

The sulphates are soluble in aqueous solutions in acidic or basic medium. Leaching of sulfate ions or mobility in soil or sludge depends on this solubility. The distribution of the electrical charges at the surface of the ion explains its behavior with respect to water. The sulfates can be classified as soluble oxyanions because their ionic potential is large and their surface is highly charged. After mineralization of the sludge, the analysis of the sulphates was carried out by the gravimetric method. The value obtained shows a significant amount of sulphates per gram of sludge.

2.2 Test for the Removal of Iron and Sulphate Ions by the Electromigration Process

The pasty slurry is dried at 105 ° C. for at least 8 hours to constant weight. A mass of 75 g of this dry sludge is then saturated with 75 and 100 ml of acetic acid. The mixture is subjected to mechanical stirring and then placed in the central compartment of the electromigration cell (Figure 1).

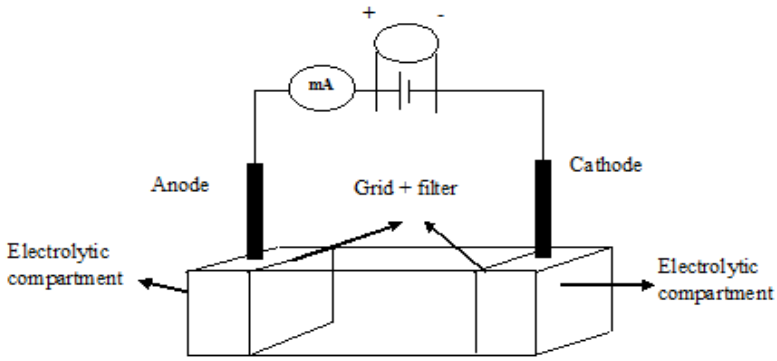


Figure 1. Electromigration experimental device

This experiment is carried out at ambient temperature and for 15 days. The two electrolytic compartments are filled with distilled or other water. At the central compartment filled with sludge saturated with acetic acid, a potential of 10 V is applied by means of a potentiostat; a milliammeter is connected in series with the experimental device to monitor the evolution of the electric current generated as a function of time. After the defined time (15 days), the manipulation is stopped and the sludge compartment is then cut into five portions which undergo mineralization tests to be analyzed and to determine the iron and sulphate contents.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 The Results of the Characterization of the Sludge

The pH of sludge is 6.9. This value is suitable; it does not require prior neutralization before any treatment of the sludge. The conductivity measurement is 1050 μs /cm. This value justifies a significant salinity of the sludge which would contain aluminum salts, iron salts, sulphates and other elements.

The concentration of chlorides obtained is 538.94 mg/l; this concentration is important when compared to the water standard of 250 mg/l. The application of equation (1) concerning the calculation of moisture yielded, for the case of our sludge, a residual moisture content of H = 22.7%. This high level is related to the microstructure of the sludge, which would already be assumed to have a grain size which is not well tightened and a macroporosity. For metal content, the results in Table I show that, with the exception of aluminum and iron, concentrations of other metallic elements show levels below regulatory thresholds (ORDIF, 1998).

The high Al and Fe content observed would have a negative environmental impact. Heil and Barbarick (1989) have shown that the phosphorus binding available to plants can only be inhibited if the aluminum sulfate contents are greater than 10 mg/g. From the results of Table I, it can be seen that the cations in the sludge are in sufficient amounts to effect exchanges or even reactions with any anion that is inserted into the structure or composition of the sludge. On the other hand, it can be assumed that the calcium would be exchanged more because it has the highest content.

As far as sulphates are concerned, the only standard we have for them is that of water and if a comparison could be made with the results obtained on the sludge it is

then 6 times more than the water standard, which is between 500 and 1000 mg/l depending on the country (some countries adopt a higher standard strictly at 250 mg/l).

Table 1: Summary results of physico-chemical characterization of the sludge

Parameters	Sludge	Standard
pH	6.9	-
Conductivity (µs\ cm)	**1050**	-
K^+ (mg/L)	19.33	0.16 %
Na^+ (mg/L)	43.66	-
Ca^{++} (mg/L)	116.66	-
Mg^{++} (mg/L)	0.42	-
Cl^- (mg/L)	538.94	-
Moisture (%)	**22.7**	-
Al (mg/L)	**40.9**	-
As (mg/L)	0.025	-
Zn (mg/L)	8.26	3000 ppm
Fe (mg/L)	**61.14**	-
Pb (mg/L)	0. 306	800 ppm
Cu (mg/L)	0.705	1000 ppm
Cd (mg/L)	1.41	20 ppm
Cr (mg/L)	0.224	1000 ppm
Ni (mg/L)	0.006	-
Se (mg/L)	0.046	-
SO_4^{-2} (mg/L)	6653.45	-

3.2 Results of Iron and Sulphate Recovery From Mud by Electromigration

The electrokinetic technique applied for the recovery of sulphates at the anode and iron at the cathode of wastewater slurry of the STEP, has proved its effectiveness (Figures 2 and 3).

The results of measurement of sulphates and iron in the five sludge portions after electrokinetic tests show that the iron recovery rate at the cathode is about 40% and that of the sulphates at the anode is 42%. Unrecovered iron and sulphate levels remained in the central compartment, either because the time was not sufficient for the species studied to move to the corresponding electrode, or precipitation of the species in a form other than analyzed. For example, iron could precipitate as $Fe(OH)_3$ at basic pH and the dissolved sulfates can be reduced to sulphides which volatilize in air as hydrogen sulphide, or they are precipitated in the form of an insoluble salt or incorporated into the living organisms (bacterial presence in the mud) (Delisle and Schmidt,1977).

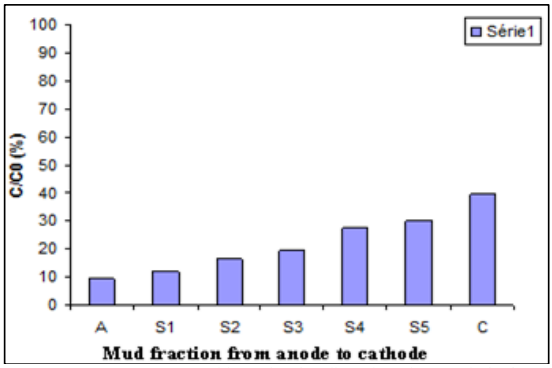


Figure 2. Recovery of iron in the five fractions of sludge

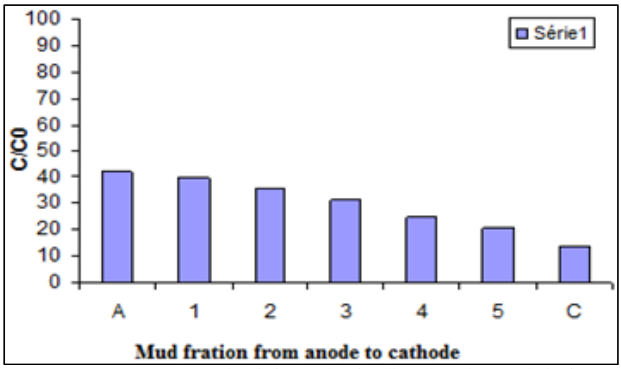


Figure 3. Recovery of sulphates in the five fractions of sludge

4. CONCLUSION

To identify the applications of the sludge and to measure its pollution and toxicity, its physicochemical characterization was carried out. In the first approach, this mud does not appear to be alarmingly toxic. The results obtained showed its undeniable richness in mineral elements which would predispose the liquid sludge to be used directly in soil amendment instead of being incinerated or landfilled, which would represent a high energy or maintenance cost.

The study carried out on electrokinetic treatment was satisfactory. The first results obtained in laboratory are encouraging because they highlight the transport of the species monitored. The iron recovery rate at the cathode is about 40% and that of the sulphates at the anode is 42%. Unrecovered iron and sulphate levels remained in the central compartment, either because precipitated in a different form than that analyzed, or the time was not sufficient for the species studied to move to the corresponding electrode. Finally, in order to optimize this technique for industrial purposes, it would

be necessary to study the influence of certain parameters, for example residence time, temperature, imposed potential, etc.

REFERENCES

U.S. Environmental Protection Agency, 1997. Recent developments for in situ treatment of metal contaminated soils, Technology innovation office, Washington D.C. 20460.

Shackelford C.D., Daniel D.E., 1991. Diffusion in saturated soil (I) : background, Journal of Environmental Engineering, ASCE N°18(1), p. 467-487, (1991).

Recueil des normes françaises (AFNOR), 1994. Qualité des sols.

Les sous-produits du cycle de l'eau en Ile-de-France, 1998. Analyse et propositions d'actions, ORDIF.

Heil D.M., Barbarick K.A., 1989. Water treatment sludge influence on the growth of sorghum-sudangrass, J. Environ. Qual., 18, pp. 292-298.

Delisle C.E. et Schmidt J.W., 1977. The effects on sulphur on water and aquatic life in Canada in : Sulphur and its inorganic derivatives in the Canadian environment, NRCC N°15015, Comité associé sur les critères scientifiques concernant l'état de l'environnement, Conseil National de Recherches du Canada, Ottawa.

CEVHER ZENGİNLEŞTİRME ATIKLARININ ÇEVRESEL KARAKTERİZASYONU

ENVIRONMENTAL CHARACTERISATION OF MINERAL PROCESSING TAILINGS

Fırat AHLATCI*, Elif YILMAZ, Ersin Y. YAZICI, Oktay CELEP, Hacı DEVECİ

Hydromet B&PM Araştırma Grubu, Cevher-Kömür Hazırlama Anabilim Dalı, Maden Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 61080, TRABZON, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: firatahlatci@ktu.edu.tr

ÖZET: Cevher zenginleştirme işlemlerinde önemli miktarda katı atık üretilmektedir. Atıkların çevresel karakterizasyonu, potansiyel çevresel etkilerinin değerlendirilmesi açısından önemlidir. Bu çalışmada, farklı tesis atıklarının metal salınımı açısından çevresel karakterizasyonu araştırılmıştır. Testlerde atık malzeme olarak piritik bir flotasyon atığı ve bir manyetik zenginleştirme tesis atığı kullanılmıştır. Atıkların çevresel karakterizasyonu için Toxic Characteristic Leaching Procedure (TCLP), Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP) ve European Standard Leaching Test (EN 12457-2) testleri uygulanmıştır. TCLP, katı atıkların "zararlı atık" sınıfına ait olup olmadığını belirlemek için tercih edilmektedir. SPLP testi, atıkların asidik yağmur suyuna maruz kaldığı durumda oluşacak metal salınımlarını kestirmek için geliştirilmiştir. EN 12457-2 testi atıkların inert/zararlı karakterini değerlendirilmesini sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, her iki atıktan metal salınımları TCLP testi sınır değerlerinin altında kaldığı ve dolayısıyla atıkların “zararlı olmayan atık” olarak sınıflandırılabileceği belirlenmiştir. SPLP sonuçlarına göre belirli metallerin salınımları su kirliliğine neden olabilir. EN 12457-2 testinde sadece piritik atıkta bakır ve çinko konsantrasyonun sınır değerleri aştığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık, Çevresel karakterizasyon, Metal salınımı, Çevre

ABSTRACT: *A large amount of solid tailings are generated within mineral processing operations. Environmental characterisation of tailings is essential for evaluation of potential environmental impact of such waste materials. In the current study,*

environmental characterisation of two different plant tailings with regard to leachability of metals was investigated. Tailings of a flotation plant and a magnetic separation plant were used in tests. Toxic Characteristic Leaching Procedure (TCLP), Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP) and European Standard Leaching Test (EN 1245-2) tests were applied for environmental characterisation of these waste materials. TCLP is used to determine whether a solid waste is "hazardous" in character. SPLP test is designed to simulate the release of metals when tailings are exposed to acidic rainfall in landfills. EN 12457-2 test also provides an evaluation of inert/hazardous character of tailings. The test results have indicated that the release of metals from both tailings was below the regulatory limits of TCLP suggesting that the tailings can be classified as a "non-hazardous waste". SPLP tests, however, showed that the release of certain metals could lead to water pollution. In EN 12457-2 test, high leachability of copper and zinc from pyritic tailings was recorded.

Keywords: *Tailings, Environmental characterisation, Metal leaching, Environment*

1. GİRİŞ

Cevher hazırlama-zenginleştirme prosesleri sonucunda düşük tenörlü ve mevcut koşullarda teknik/ekonomik açıdan değerlendirilmesi mümkün olmayan atık(lar) ortaya çıkmaktadır (Atalay ve Dinçer-Ateşok 2014; Yıldız, 2010). Bu tür atıklar katı veya pulp halinde bulunmaktadır. Atıklar, potansiyel çevresel etkilerinin engellenmesi amacıyla atık barajlarında depolanmaktadırlar. Ülkemizde, madencilik ve cevher hazırlama/zenginleştirme faaliyetleri sonucunda üretilen "maden atıkları"nın yönetimi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2015 yılında yayınlanan yönetmelik ile düzenlenmiştir (Resmî Gazete, 2015a). Bu yönetmeliğe göre, kil, kuvars, perlit, manyezit, pomza vb. madenler ile birlikte sülfür içeriği ve asit üretme potansiyeli belirli bir seviyeden düşük olan ve içerdiği metallerin (As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, F, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Th, U, V, Zn başta olmak üzere) çevresel risk oluşturmadığı atıklar, "inert" kabul edilmektedir (Resmî Gazete, 2015a,b). Bu tür atıkların depolanması için geçirimsiz bir atık barajı şartı bulunmamaktadır. Ancak, inert olmayan atıklar için yönetmeliğin öngördüğü geçirimsizlik sistemlerinin (kil tabakası, jeosentetik kil tabakası, HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) jeomembran) uygulanması gerekmektedir (Resmî Gazete, 2015a).

Kontrolsüz şekilde depolanan atıkların içerdiği metaller yağmur vb. doğal koşulların etkisiyle çözünerek toprak ve yeraltı/yerüstü sularının kirlenmesine neden olabilir (Aleksander-Kwaterczak ve Helios-Rybicka, 2009). Metal salınımı atığın tane boyutu, metal içeriği, ortam sıcaklığı ve yağmur suyunun asidikliği gibi koşullara bağlıdır (Atalay ve Dinçer-Ateşok, 2014). Özellikle ağır metaller, yüksek toksik etkileri nedeniyle düşük konsantrasyonlarda bile çevresel açıdan önemli bir risk oluşturabilmektedir (Hashim vd., 2011). Ağır metallere örnek olarak kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), çinko (Zn), civa (Hg), arsenik (As), gümüş (Ag), krom (Cr), demir (Fe) ve bakır (Cu) verilebilir (Duruibe vd., 2007). Gelişmiş ülkelerde ağır metal kaynaklı toprak kirliliğinin giderek arttığı bildirilmiştir (Li vd., 2014).

Katı atıkların potansiyel çevresel etkilerini belirlemek amacıyla farklı ülke/kurumlar tarafından çeşitli karakterizasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler çeşitli araştırmacılar tarafından farklı atıkların karakterizasyonu amacıyla kullanılmıştır (Chang vd., 2001; Guo vd., 2014; Yazıcı ve Deveci, 2015; Yazıcı vd., 2010). Bu karakterizasyon yöntemlerinin temel kullanım amaçları şöyle sıralanabilir (Townsend vd., 2003):

Bir atığın çevresel açıdan zararlı olup olmadığının belirlenmesi,

- ✓ Belirli koşullar altında atıktan inorganik (ağır metal vd.) ve/veya organik madde salınımının değerlendirilmesi,
- ✓ Özel bir durum için atığın maruz kaldığı ortamın benzetimi ile gerçek salınım değerlerinin belirlenmesi
- ✓ En uygun atık yönetimi senaryosunun ve çevre koşullarının belirlenmesi.

Atıkların çevresel karakterizasyonu amacıyla yaygın olarak kullanılan testler, geliştiren kurumlar ve testin amacı/simüle ettiği durum Tablo 1'de sunulmuştur. Test süreci genel olarak, belirli ekstraksiyon çözeltileri ile atığın liç işlemine tabi tutulması, katı/sıvı ayırımı sonrası berrak çözeltiden metal analizlerinin gerçekleştirilmesi, metal salınımlarının testin öngördüğü sınır değerler ile karşılaştırılması ve buna bağlı olarak atığın çevresel etkisinin değerlendirilmesi şeklinde ilerlemektedir.

Bu çalışmada, iki farklı cevher zenginleştirme proses atığının (piritik atık ve manyetik zenginleştirme atığı) Toxic Characteristic Leaching Procedure (TCLP), Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP) ve European Standard Leaching Test (EN 12457-2) yöntemleri kullanılarak çevresel açıdan karakterizasyonu

amaçlanmıştır. TCLP ve EN 12457-2 testleri atıkların sınıflandırılması amacıyla kullanılmıştır. SPLP testi ise asidik yağmur sularının atıklardan metal salınımına etkisini belirlemek için tercih edilmiştir.

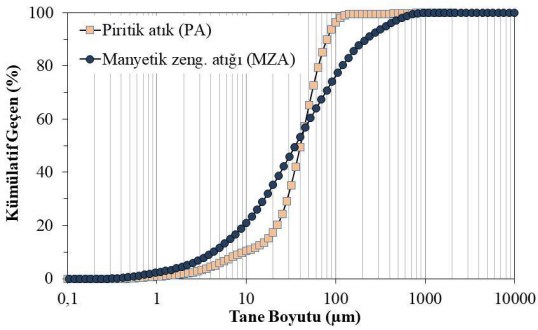
Tablo 1. Çevresel karakterizasyon için yaygın olarak kullanılan testler

Yöntemin adı	Geliştiren Kurum	Amacı/simüle ettiği durum	Kaynak
Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)	USEPA [b]	Atık karakterinin belirlenmesi (inert/zararlı)	(USEPA, 1992)
Extraction Procedure Toxicity (EP-Tox) [a]	USEPA [b]		(USEPA, 2004)
California Waste Extraction Test (WET)	California EPA [c]		(CalEPA, 2017)
European Standard Leaching Test (EN 12457)	Avrupa Komisyonu		(EC, 2003)
Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP)	USEPA	Atığın asidik yağmur suyuna maruz kalması durumundaki organik/inorganik madde salınımları	(USEPA, 1994)
Multible Extraction Procedure (MEP)	USEPA		(USEPA, 1986)
Shake Extraction of Solid Waste with Water (ASTM D3987-12)	American Society for Testing and Materials (ASTM)	Katı atığın çözeltinin pH'sını etkileyen en önemli parametre olduğu koşuldaki metal salınımları	(ASTM, 2012)

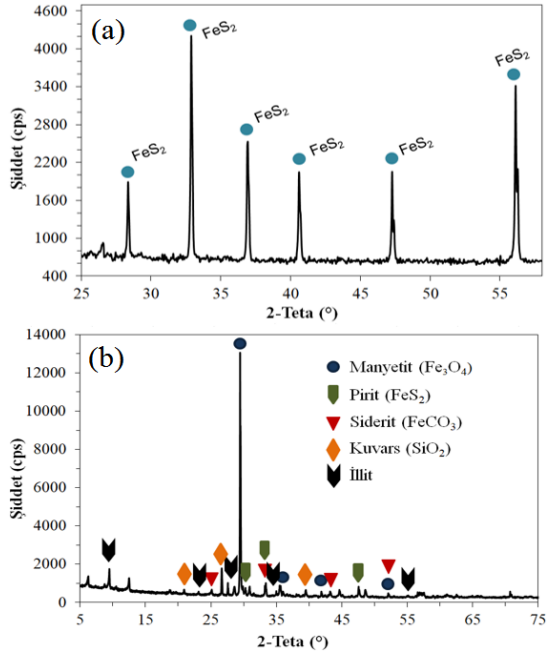
[a] TCLP yöntemine benzemektedir. TCLP geliştirildikten sonra bu yöntemin yerini almıştır.
[b] ABD Çevre Koruma Ajansı
[c] California Çevre Koruma Ajansı

2. MALZEME VE YÖNTEM

Karakterizasyon testlerinde bir flotasyon tesisinden çıkan piritik atık (PA) ve bir demir cevherinin manyetik zenginleştirme atıkları (MZA) kullanılmıştır. Atıkların tane boyut dağılımları Malvern Mastersize Hydro2000MU ile belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 1'de sunulmuştur. PA ve MZA'nın %80'inin geçtiği tane boyutu (d_{80}) sırasıyla 64 µm ve 120 µm'dur (Şekil 1). İki atığa ait XRD analizleri Şekil 2'de sunulmuştur. Atıkların kimyasal analizleri Tablo 2'de görülmektedir.



Şekil 1. Testlerde kullanılan atık malzemelerin tane boyut dağılımları



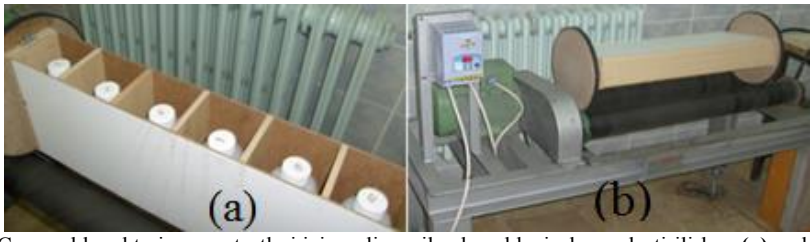
Şekil 2. Testlerde kullanılan piritik atığın **(a)** ve manyetik zenginleştirme atığının **(b)** XRD analizleri

Tablo 2. Testlerde kullanılan atık malzemelerin metal içerikleri

	(%)						g/ton								
	Cu	**Fe_2O_3**	**SiO_2**	**Cr_2O_3**	**Al_2O_3**	**Zn**	**As**	**Ba**	**Cd**	**Hg**	**Mo**	**Ni**	**Pb**	**Sb**	**Se**
PA[a]	0,36	61	1,7	0,005	0,21	0,17	339	3	3,7	13	17	32	79	7,8	0,21
MZA[b]	0,09	17	30,1	*	*	*	*	*	*	*	*	52	*	*	*

[a] Piritik Atık; [b] Manyetik Zenginleştirme Atığı; * Analiz edilmedi

Çevresel karakterizasyon testlerinde, özel olarak tasarlanmış altı bölmeli düzenek (ASTM 2012; USEPA 1992, 1994) kullanılmıştır (Şekil 3). Standart test prosedürlerin uygulanması sonucunda elde edilen berrak çözeltilerin metal analizleri akredite bir laboratuvarda (ARGETEST Cevher Zenginleştirme Ar-Ge ve Analizleri, Ankara/Türkiye) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Çevresel karakterizasyon testleri için polipropilen kapaklı şişeler yerleştirilirken **(a)** ve karıştırma işlemi sırasında deney düzeneği **(b)** (Yazici, 2012)

2.1. TCLP

TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure), USEPA (ABD Çevre Koruma Ajansı) tarafından geliştirilmiş bir testtir. Bu testte, atık malzemenin asidik koşullar içeren bir katı atık depolama sahasında birkaç yıl boyunca kaldığı koşullar esas alınmaktadır. Testin amacı, varsayılan koşullar altındaki bir atık malzemeden organik/inorganik madde salınımına bağlı olarak atığın zararlı (hazardous) karakterde olup olmadığının öngörülmesidir.

TCLP için malzeme boyutunun <9,5 mm olması gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan atık malzemelerin tane boyutları bu boyuttan ince olduğu için herhangi bir boyut küçültme işlemine ihtiyaç duyulmamıştır. TCLP testinde atık malzeme için kullanılabilecek iki farklı ekstraksiyon çözeltisi bulunmaktadır. Bu çözeltilerin hangisinin kullanılacağını belirlemek için ilk aşamada saf su kullanılarak belirli prosedürler uygulanmıştır. Atık malzeme (5 g) ve 96,5 mL saf su 500 mL hacimli beherlerde 5 dk. süreyle manyetik karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra pH ölçülmüş ve buna göre kullanılması gerekli ekstraksiyon çözeltisi belirlenmiştir (Bu aşamada PA ve MZA için pH'ların sırasıyla 2,34 ve 8,91 olarak bulunması nedeniyle PA için ekstraksiyon çözeltisi-1 kullanılmıştır). Eğer >pH 5 ise pulpe 3,5 mL 1 N HCl ilave edilerek 50°C'de üstü saat camı ile kapalı durumda 10 dk. bekletildikten sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Soğuduktan sonra <pH 5 ise ekstraksiyon çözeltisi-1, >pH 5 ise ekstraksiyon çözeltisi-2 kullanılmıştır (MZA için uygulanan bu işlem sonucunda pH 6,45 olarak belirlenmiş ve ekstraksiyon çözeltisi-2 kullanılmıştır).

Ekstraksiyon çözeltisi-1 (pH 4,93±0,05), 1 litreye saf su ile tamamlanmak üzere 5,7 mL asetik asit (CH_3CH_2OOH) ve 64,3 mL 1 N sodyum hidroksit (NaOH) ilave edilerek hazırlanmıştır. Ekstraksiyon çözeltisi-2 (pH 2,88±0,05), 5,7 mL asetik asit (CH_3CH_2OOH) ve kalanı saf su ile 1 litreye tamamlanarak hazırlanmıştır (Tablo 3). Testler sıvı:katı oranı 20:1 olacak şekilde 10 g katı malzeme ile 200 mL çözelti ile polipropilen (PP) kapaklı şişelerde gerçekleştirilmiştir. Şişeler, karıştırma düzeneğinde 30 dev/dk dönme hızında 18 saat karıştırmaya tabi tutulmuştur (USEPA, 1992a). Testler iki tekrarlı yapılmıştır. Karıştırma süresi sonunda pulp 0,8 μm selüloz nitrat filtrelerden (Whatman, Schleicher&Schuell) geçirilerek 50 mL hacimli jöjelere aktarıldıktan sonra 1 N HNO_3 çözeltisi ile <pH 2 olacak şekilde ayarlanmıştır. Çözeltiler metal analizlerinin

yapılacağı zamana kadar 4°C'de muhafaza edilmiştir. Gerçekleştirilen metal analizi sonuçları TCLP limit değerlerine göre değerlendirilmiştir (USEPA, 1992a).

Tablo 3. Uygulanan testler ve koşulları (ASTM 2012; USEPA 1992, 1994)

Yöntem	Ekstraksiyon çözeltisi	pH	Tane boyutu (mm)	Sıvı:Katı oranı
TCLP	1-Asetik asit + Sodyum hidroksit	4,93 ±0,05	<9,5 mm	20:1
	2-Asetik asit	2,88±0,05		
SPLP	Sülfürik + nitrik asit + saf su karışımı	4,20 ±0,05	<9,5 mm	20:1
EN 12457-2	Saf su	~ 7,0	<4 mm	10:1

2.2. SPLP

SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure), USEPA (ABD Çevre Koruma Ajansı) tarafından tasarlanmış bir testtir. Bu test, yüzeyin altında veya üstünde bulunan bir atık malzemenin hafif asidik özellikte yağmura maruz kaldığı durumu yansıtmaktadır. SPLP, varsayılan koşullar altında atık malzemeden çevreye organik/inorganik madde salınımının öngörülmesini hedeflemektedir.

Bu yöntemde kullanılan ekstraksiyon çözeltisi, ağırlıkça 60:40 oranında H_2SO_4:HNO_3 karışımının saf suya pH 4,20±0,05 olacak şekilde ilave edilmesiyle hazırlanmıştır (USEPA, 1994). Prosedür, TCLP'ye benzer şekilde aynı sıvı:katı oranı, karıştırma şartları ve filtrasyon/saklama işlemlerine tabi tutulmuştur (Tablo 3). Elde edilen sonuçlar, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde (Resmî Gazete, 2004) belirtilen su kalitesi sınıflarına göre değerlendirilmiştir.

2.3. EN 12457-2

EN 12457-2 (European Standard Leaching Test) için atığın tane boyutu <4 mm olması gerekmektedir (EC, 2003). Testlerde ekstraksiyon çözeltisi olarak saf su kullanılmıştır. Sıvı:katı oranı 10:1 olacak şekilde 20 g katı ile 200 mL saf su, polipropilen (PP) şişeler içerisinde hazırlanmıştır. Kapatılan şişeler 30 dev/dk dönme hızında 24 saat karıştırılmıştır (Tablo 3). Karıştırma sonunda uygulanan TCLP testindeki aynı filtrasyon/saklama prosedürleri uygulanmıştır. Sonuçlar EN 12457-2 sınır değerlerine göre değerlendirilmiştir (EC, 2003).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

TCLP testinin her iki atık türü için uygulanması sonucunda çözeltiden sekiz metalin (Ag, As, Ba, Cd, Cr, Hg, Pb ve Se) analizleri gerçekleştirilmiştir. Metal

konsantrasyonları ve sınır değerler Tablo 4'te sunulmuştur. Tüm atık türleri için sekiz metalin konsantrasyonunun sınır değerlerin altında (≤69 µg/L) olduğu belirlenmiştir (Tablo 4). Bu sonuçlara göre, her iki atığın da "zararlı atık" sınıfına girmediği görülmektedir. Böylece, bu atıkların, TCLP testinin temsil ettiği asidik koşullarda, atık depolama sahalarında depolanması durumunda çevresel açıdan zararlı bir etkisinin olmayacağı öngörülebilir.

Tablo 4. TCLP için metal salınım değerleri ve sınır seviyeler

Elementler	Konsantrasyon (µg/L)		Sınır değer (µg/L)
	PA	MZA	
Ag	*	*	5.000
As	*	*	5.000
Ba	*	*	100.000
Cd	*	*	1.000
Cr	*	*	5.000
Hg	*	65	200
Pb	*	*	5.000
Se	*	*	1.000

*<10 µg/L (Dedeksiyon limiti)

SPLP testinde, çözeltilerden on iki metalin (Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Co, Fe, Hg, Ni, Pb, Se) konsantrasyonları takip edilmiş ve sonuçlar Tablo 5'te sunulmuştur. PA'nın asidik yağmur suyuna maruz (pH 4,2) kalması durumunda Al, Cu ve Fe salınımlarının IV. kalite (çok kirlenmiş) su için dahi öngörülen sınır değerlerin çok üzerinde olduğu tespit edilmiştir (Tablo 5). MZA için de Al salınımının II. kalite su değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir. Aynı atıktan kaynaklanan yüksek Fe salınımına (3695 µg/L) göre çözeltinin demir yönünden III. kalite (kirlenmiş) su sınıfında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 5). Bu sonuçlara göre, her iki atığında yeraltında/yerüstünde kontrolsüz şekilde depolanması ve asidik yağmur sularına maruz kalması durumunda su kirliliğine sebebiyet verebileceği öngörülebilir.

EN 12457-2 testinden elde edilen çözeltilerden oniki metalin (As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se ve Zn) analizi gerçekleştirilmiştir. Metal salınım değerleri ve sınır seviyeler Tablo 6'da sunulmuştur. PA'dan Cu salınımının (274 mg/L) zararlı atıklar için belirlenmiş sınır değerden (100 mg/L) 2,7 kat yüksek olduğu bulunmuştur. Aynı atık için Zn salınımı 93 mg/L olarak belirlenmiştir. MZA için tüm metal salınımları 0,01 mg/L'den düşük bulunmuştur. MZA'nın inert karakterde bir artık olduğunu göstermektedir (Tablo 6).

Tablo 5. SPLP analiz sonuçları

Elementler	Konsantrasyon (µg/L)		Su Kalite Sınıfları			
	PA	MZA	I[a]	II[b]	III[c]	IV[d]
Al	**44185**	**745**	300	300	1000	>1000
As	*	*	20	50	100	>100
Ba	*	*	1000	2000	2000	>2000
Cd	*	*	3	5	10	>10
Cr	*	*	20	50	200	>200
Cu	**139500**	*	20	50	200	>200
Fe	**1255500**	**3695**	300	1000	5000	>5000
Hg	*	*	0,1	0,5	2	>2
Ni	*	*	20	50	200	>200
Pb	*	*	10	20	50	>50
Se	*	*	10	10	20	>20

*<10 µg/L (Dedeksiyon limiti); [a] Yüksek kaliteli su;
[b]Az kirlenmiş su; [c] Kirlenmiş su; [d] Çok kirlenmiş su

Tablo 6. EN 12457-2 testi sonuçları ve sınır değerler

Elementler	Konsantrasyon (mg/L)		Sınır değer (mg/L) [a]		
	PA	MZA	İnert	Zararlı değil	Zararlı
As	*	*	0,5	2	25
Ba	*	*	20	100	300
Cd	*	*	0,04	1	5
Cr_{Toplam}	*	*	0,5	10	70
Cu	**274**	*	2	50	100
Hg	*	*	0,01	0,2	2
Mo	*	*	0,5	10	30
Ni	*	*	0,4	10	40
Pb	*	*	0,5	10	50
Sb	*	*	0,06	0,7	5
Se	*	*	0,1	0,5	7
Zn	**93**	*	4	50	200

*<0,01 mg/L (Dedeksiyon limiti)

4. SONUÇLAR

Metalik cevherlerin zenginleştirme işlemlerine tabi tutulması sonucunda, yüksek miktarlarda ekonomik değeri düşük atık(lar) ortaya çıkmaktadır. Kontrolsüz şekilde depolanan atıklar içerisindeki metaller, yağmur vb. doğal koşulların da etkisiyle ekosisteme karışarak çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Atıkların karakterini (inert veya zararlı) ve belirli çevresel koşullar altında atıklardan hangi metalleri salınım göstererek çevresel risk oluşturabileceğini öngörmek amacıyla çeşitli karakterizasyon testleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, piritik atık ve manyetik zenginleştirme atıklarının potansiyel çevresel etkilerini öngörmek amacıyla farklı karakterizasyon testleri uygulanmıştır. Toxicity Characteristic Leaching Procedure

(TCLP) sonuçları her iki atığında "zararlı atık" sınıfında olmadığını göstermiştir. European Standard Leaching Test (EN 12457-2) piritik atığın Cu ve Zn salınımı göz önüne alındığında çevreye olumsuz etkileri olabileceğini göstermiştir. Aynı test manyetik zenginleştirme atığının ise inert karakterde olduğuna işaret etmiştir. Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP) sonuçları Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde belirtilen su kalitesi sınıflarına göre değerlendirilmiştir. Buna göre, atıkların asidik yağmura maruz kalması durumunda Al/Cu/Fe metallerinin yüksek salınımına bağlı olarak su kirlenmesine neden olabileceği görülmektedir. Elde edilen sonuçlar, yürürlükte olan Maden Atıkları Yönetmeliğine (2015) uygun olarak, maden atıklarının geçirimsiz tabanlı atık barajlarında depolanmasının teknik açıdan bir gereklilik olduğunu desteklemektedir.

KAYNAKLAR

Aleksander-Kwaterczak, U., Helios-Rybicka, E., 2009. Contaminated sediments as a potential source of Zn, Pb, and Cd for a river system in the historical metalliferous ore mining and smelting industry area of South Poland. Journal of Soil Sediment, 9 (1), 13-22.

Alp, İ., Deveci, H., Yazici, E.Y., Türk, T., Süngün, Y.H., 2009. Potential use of pyrite cinders as raw material in cement production: Results of industrial scale trial operations. Journal of Hazardous Materials, 166, 144–149.

ASTM, 2012. Standard practice for shake extraction of solid waste with water, ASTM Designation: D 3987-12, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, United States.

Atalay, Ü., Dinçer-Ateşok, H., 2014. Artıkların depolanması, artık barajları, tasarımı, yönetimi. Editor(ler): Önal, G., Ateşok, G., Perek, K.T., Cevher Hazırlama El Kitabı. Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı (YMGV), İstanbul, Türkiye, 463-472.

CalEPA, 2017. Waste Extraction Test (WET) Procedures, California Code of Regulations, Title 22, Chapter II, Article 3, California Environmental Protection Agency (CalEPA), https://govt.westlaw.com/calregs/Document/I07DBE58C0F8C446C9715168D2C88CC9E?viewType=FullText&originationContext=documenttoc&transitionType=CategoryPageItem&contextData=(sc.Default), Son erişim tarihi: 08 Haziran 2017

Chang, E.E., Chiang, P.C., Lu, P.H., Ko, Y.W., 2001. Comparisons of metal leachability for various wastes by extraction and leaching methods. Chemosphere, 45, 91-99.

Duruibe, J.O., Ogwuegbu, M.O.C., Egwurugwu, J.N., 2007. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. International Journal of Physical Sciences, 2 (5), 112-118.

EC, 2003. European Council decision establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills, 2003/33/EC, L 11/27.

Guo, X., Wang, K., He, M., Liu, Z., Yang, H, Li, S., 2014. Antimony smelting process generating solid wastes and dust: Characterization and leaching behaviors. Journal of Environmental Scıences, 26, 1549-1556.

Guo, X., Wang, K., He, M., Liu, Z., Yang, H., Li, S., 2014. Antimony smelting process generating solid wastes and dust: Characterization and leaching behaviors. Journal of Environmental Sciences 26, 1549-1556.

Hashim, M.A., Mukhopadhyay, S., Sahu, J.N., Sengupta, B., 2011. Remediation technologies for heavy metal contaminated groundwater. Journal of Environmental Management 92, 2355-2388.

Li, Z., Ma, Z., van der Kuijp, T.J., Yuan, Z., Huang, L., 2014. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment. Science of the Total Environment 468–469, 843–853.

Resmî Gazete, 2015a. Maden Atıkları Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 15.07.2015, Sayı: 29417.

Resmî Gazete, 2015b. Atık Yönetimi Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 02.04.2015, Sayı: 29314.

Townsend, T.G., Jang, Y-C, Tolaymat, T., 2003. A guide to to use of leaching tests in solid waste management decision making, The Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management, University of Florida, USA için hazırlanmış rapor, 03-0 (A), 31 s.

USEPA, 1986. Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods (SW-846), Method 1320: Multiple Extraction Procedure, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington, USA, https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documen ts/1320. pdf, Son erişim tarihi: 08 Haziran 2017

USEPA, 1992. Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods (SW-846), Method 1311: Toxicity Characteristic Leaching Procedure, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington, USA https://www.epa.gov/sites/ production/files/2015-12/documents/1311.pdf, Son erişim tarihi: 08 Haziran 2017

USEPA, 1994. Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods (SW-846), Method 1312: Synthetic Precipitation Leaching Procedure, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington, USA https://www.epa.gov/sites/ production/files/2015-12/documents/1312.pdf, Son erişim tarihi: 08 Haziran 2017

USEPA, 2004. Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods (SW-846), Method 1310B: Extraction Procedure (EP) Toxicity Test Method and Structural Integrity Test. SW-846, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington, USA. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/131 0b.pdf, Son erişim tarihi: 08 Haziran 2017

Yazici, E.Y., 2012. Elektronik Atıklardan Metallerin Fiziksel ve Kimyasal Yöntemlerle Geri Kazanımı, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 210 s.

Yazıcı, E.Y., Deveci, H., 2015. Atık Baskılı Devre Kartlarının Ekonomik Potansiyeli ve Çevresel Karakterizasyonu. Editör(ler): Kılıç, M.G., Önel, Ö., Başarır, H., Karadeniz, M., Bilgiç, E.T., Proceedings of the 24th International Mining Congress and Exhibition of Turkey (IMCET), 14-17 Nisan, Antalya, Türkiye, Bildiriler Kitabı, 941-951.

Yazıcı, E.Y., Deveci, H., Alp, I., Akcil, A.U., Yazıcı, R., 2010. Characterisation of computer printed circuit boards for hazardous properties and beneficiation studies, Proceedings of the XXV. Int. Mineral Processing Congress (IMPC), 6-10 Eylül, Brisbane, Australya, Bildiriler Kitabı, 4009-4015.

Yıldız, N., 2010. Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme. Ekrem Basım Ltd. Şti., Ankara, Türkiye. 504 s.

EVALUATION OF NATURAL STONE TREATMENT ENTERPRISES WASTAGE

DOĞAL TAŞ İŞLEME TESİS ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Sunay BEYHAN[1*], Sergii BASHYNSKYI[2], Ievgenii DUBCHENKO[2]

1: Dumlupınar University, Department of Mining Engineering, Kütahya, TURKEY

2: Zhytomyr State Technological University, UKRAINE

*: Corresponding Author: sunay.beyhan@dpu.edu.tr

ABSTRACT: This study prepared for evaluation of natural stone factory wastes such as granite, gabbro and labradorite in Ukraine-Zhytomyr region. These rocks, which have high resistance to external factors, are mostly used for decorative purposes. Therefore, decorative natural stone processing facilities are more common. Stone mud is produced in a large amount in these facilities and this is a serious problem in terms of nature. For the evaluation, the sludge was dried and pulverized. It was then used in mortar instead of cement and sand at different concentrations. Compressive strength, bending and capillary water absorption tests were applied to samples prepared in 40x40x160 mm size molds. In addition, the samples were examined both mineralogically and chemically. When the results obtained are evaluated, it is considered that these wastes can be used within an average of about 15% mortar.

Keywords: Natural stone, Waste, Mortar

ÖZET: *Bu çalışma; Ukrayna-Zhytomyr bölgesinde bulunan granit, gabro ve labradorit gibi doğal taş fabrika atıklarının değerlendirilmesine yönelik olarak hazırlanmıştır. Dış etkenlere karşı yüksek dayanıma sahip olan bu kayaçlar daha çok dekoratif amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle dekoratif doğal taş işleme tesisleri daha yaygındır. Bu tesislerde oldukça fazla miktarlarda taş çamuru üretilmekte ve bu durum doğa açısından ciddi sorun oluşturmaktadır. Taş çamurunun değerlendirilmesi amacıyla, çamur kurutulmuş ve toz haline getirilmiştir. Daha sonra farklı konsantrasyonlarda çimento ve kum yerine harç içerisinde kullanılmıştır. 40x40x160 mm ebatlı kalıplarda hazırlanan numunelere basma ve eğilme, kapiler su emme deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca örnekler mineralojik ve kimyasal açıdan da incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar*

değerlendirildiğinde bu atıkların ortalama %15 civarında harç içerisinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Doğal taş, Atık, Harç*

1. INTRODUCTION

1.1 General Overview of Problem

Large supplies of high-strength natural stones, like granite, gabbro and labradorite are situated in the territory of Ukraine (Figure 1). The natural stone production volume is growing every year. The annual dynamic of the natural stone production is show on Figure 2. These data are based on reports of The State Statistics Service of Ukraine. Crushed stone, raw stone and block facing stone are being produced in these areas.

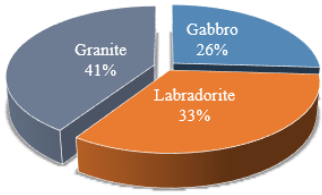


Figure 1. Types of the facing stone deposits in Zhytomyr region

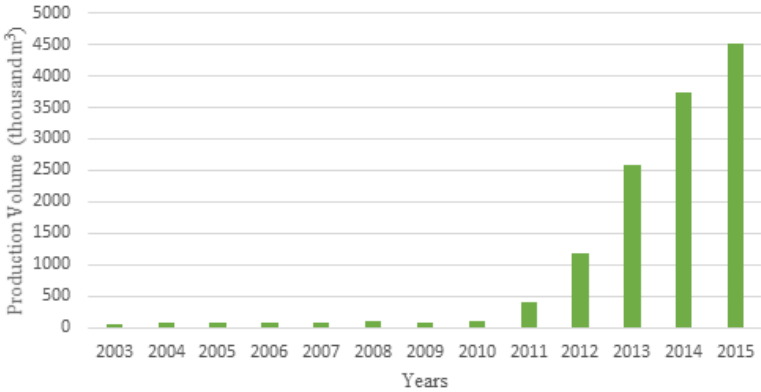


Figure 2. Distribution of production volume in recent years

At the territory of the Zhytomyr region, up to 70% of Ukraine's natural stone deposits are concentrated. On the territory of this region, a large number of enterprises takes place, which specialized on extraction and processing of minerals. In addition, on this territory situated a big number of natural stone processing enterprises. Big

concentration of stone processing enterprises at one area poses a great threat to the environment. Average properties of main type of rocks showed in Table 1.

Table 1. Average physical and mechanical properties of main type of rocks

Property	Granite	Gabbro
Density, kg/m^3	2600	2900
Water absorption, %	0.5	0.01
Porosity, %	2.5	1.2
Shading, g/cm^2	0.25	0.55
Compressive strength, MPa	252.6	164.9
Tensile strength, MPa	7.5	15.1

1.2 Natural Stone Processing Stages

The main types of products of stone processing enterprises are polished slabs with a thickness of up to 40 mm for decorative facing of facades of buildings and interior decoration, ritual staffs. The processing begins with the cutting of the block by using disk or diamond wire, to give it the correct geometric shape. At this stage, two types of wastes are formed which are, large-piece waste, and small pieces from cutting machine. The volume of waste at this stage is 5% - 20% of the block volume. Then follows the process of cutting the block into slabs. At this stage, waste is form as particles from cut channel. The size of these particles depends on the type of working tool. The amount of generated waste depends on the required thickness of the slab, and can reach to 15% - 30% of the total block volume. The final processing steps are polishing. First, starts with hard polishing to smooth out unevenness after sawing. Last procedure is fine polishing. Polishing gives the product a shine appearance, and closes the pores, which increases durability. At these stages, sludge is formed.

1.3 Types of Waste

There are two main types of waste which are large scale stone waste and sludge. Large scale stone waste does not pose a serious threat to the environment. They can be used again as building material like raw-stone and for repairing roads.

Sludge has no are of usage. But can be unintentionally discharged into reservoirs, rivers, fields and forests which leads to serious environmental problems (Figure 3). Therefore, it is necessary to pay attention for problem of recycling, and reuse of finely dispersed rock dust. The use of rock dust is complicate because of

heterogeneous mineralogical, chemical and granulometric compositions. The mineralogical and chemical composition of rock dust varies depending on the ratio of rock types used and technical operations. Since the whole sludge is accumulating in one hopper, the separation by fractions or specific mineral groups is impossible.

Figure 3. A view from environmental wastes

2. METODS AND MATERIALS

In this study, Portland cement and standard sand was used which was produced appropriate to Turkish Standards Institute (TSE).

2.1 Portland Cement

Commercial brand of Portland cement CIM SA, TS EN 197-1 CEM I 42.5 R was used. Chemical analysis results of Portland cement are given at Table 2.

Table 2. Chemical analysis of Portland cement CEM I 42.5 R

Minerals	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	SO_3	KK	Total
Volume %	18.90	5.15	3.36	1.57	63.59	0.40	0.77	2.65	3.59	99.98

2.2 Aggregate

Standard laboratory sand, with maximum 1.60 mm size of particles was used as aggregate. Granulometric analysis results are given at Figure 4.

2.3 Sludge (stone dust)

For objective results, samples of sludge were taken from three different enterprises. The sludge, which was used in experiments is sub product of natural high strength stone processing. This sludge consists of granite, gabbro and labradorite stone dust mix. Before tests, all sludge was dried in oven at 105 ˚C temperature, until all water was

removed. Dry sludge was grinded to -90µm particle size. Chemical analysis with XRF (X-Ray Fluorescence) method and mineralogical analysis with XRD (X-Ray Diffraction) method were performed in Dumlupınar University Advanced Technologies Center. Results of the analysis are given in Table 3 and Figure 5.

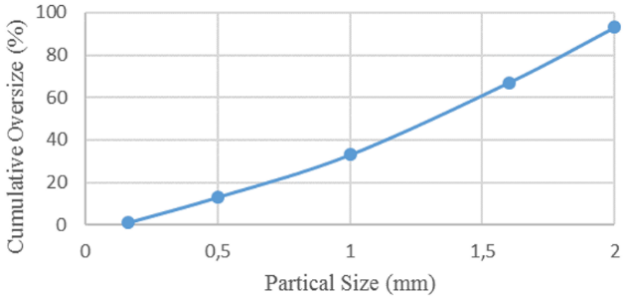


Figure 4. Granulometric analysis of standard sand

Table 3. Chemical analysis of sludge

Minerals	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	SO_3	TiO_2	P_2O_5	F
Volume %	55.26	16.56	9.66	3.44	7.36	3.52	2.40	0.27	0.90	0.38	0.28

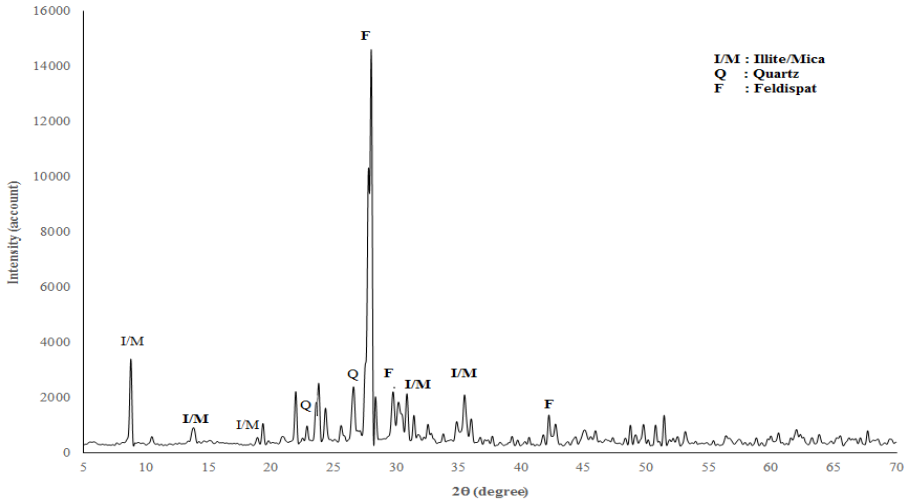


Figure 5. Results of mineralogical analyses test

2.4 Preparation of Experimental Mortar Samples Mixtures.

Mortar was prepared in accordance with TS EN 196-1. According to this standard, each material's mass was identified as one part cement, three parts of standard sand and 0.5 part of water (water/cement ratio is 0.5). For preparing one portion of mortar 450g cement, 1350g CEN standard sand, and 225g water were used.

Two types of mortar mixture were prepared. In first mixture, sludge was used in mortar instead of cement by %5, %10 and %15. In the other mixture, sludge was used instead of sand by %5, %10 and %15. Control samples were prepared in accordance with the TSE. Recipes are described in Table 4. Process of mixing experimental mortars was made in accordance with the standard. After mixing, mortar mixture was placed in molds. After 24 hours, samples were extracted from mold, and placed in water for 7, 14 and 28 days. Totally, 36 experimental mortar samples were prepared and put in 40x40x160 mm size molds.

Table 4. Weigh of mixture of experimental groups

Abbreviation	Full name of mixture	Weigh of Mixture, g			
		Cement	Sand	Sludge	Water
CS	Control sample	450	1350	-	225
SR 1	5% of sand replace by sludge	450	1282,5	67,5	225
SR 2	10% of sand replace by sludge	450	1215	135	225
SR 3	15% of sand replace by sludge	450	1147,5	202,5	225
CR 1	5% of cement replace by sludge	427,5	1350	22,5	225
CR 2	10% of cement replace by sludge	405	1350	45	225
CR 3	15 of cement replace by sludge	382,5	1350	67,5	225

3. EXPERIMENTAL PART

3.1 Bending (Flexural Strength) Test

The experimental determination of the flexural strength was carried out for samples of all mixtures, for each groups 7, 14, 28 days. In process of the experiment, the blocks were broken into two parts, which were later used as samples for the compressive strength test. To carry out the experiment a laboratory plant "universal cement tester" was used. The data obtained are shown in Figure 6. This graph shows the strength of samples for each group. In the graphs, the data of the control samples are included for comparison.

3.2 Compressive Strength Test

The compressive strength tests were carried out sequentially for each group. For each type of mixtures, 4 experiments were conducted. The sample was placed in the laboratory machine, between two metal plates with the size of 40x40 mm. Then gradual increase pressure was begun. The results of the tests are given in Figure 7. This graph shows the changes in compressive strength, depending on the mixture and age.

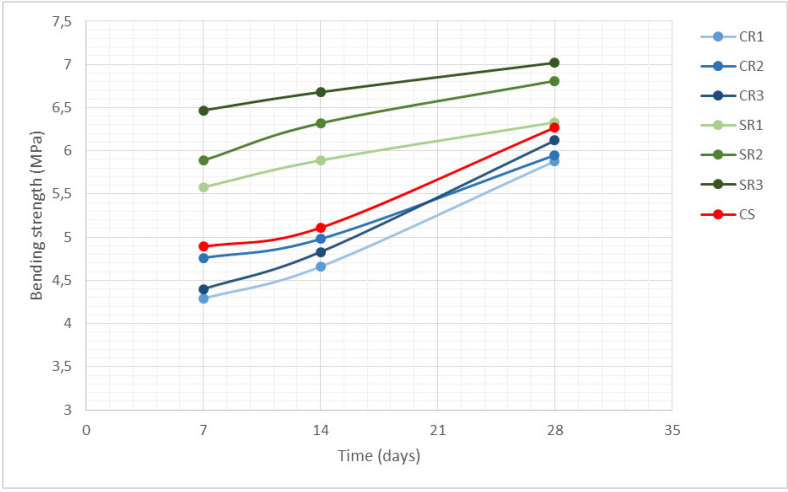


Figure 6. Bending strength (cement replacement)

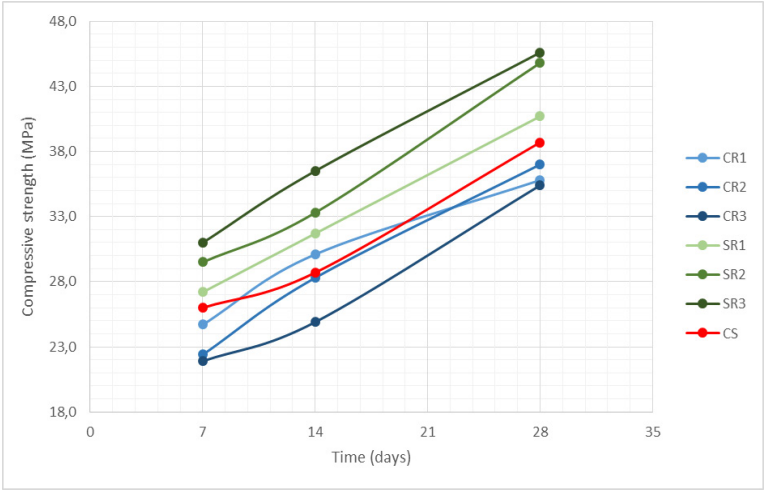


Figure 7. Compressive strength graphs (sand replacement)

3.3 Capillary Water Absorption Test

Before the test started, samples were placed in oven with a temperature of 105 °C, for 24 hours. After this, the samples were allowed to reach room temperature. Dry samples were weighed using laboratory scales. Dry specimens were placed in the water at the end, to a depth of 3 mm. The experimental data is given in Table 5.

4. RESULTS AND DISCUSSIONS

The results of the flexural strength tests for samples with partial replacement of cement with rock dust in all concentrations (5%, 10%, 15%), age 28 days, were lower than the

strength of control samples by 1-3%. Concrete mix with sand replacement in all concentration (5%, 10%, 15%), has bigger bending strength than control samples, by 2-12% at all ages. The compressive strength of the samples with cement replacement by sludge, showed a reduction in the strength of the mixture by 9-15% compared to the control samples. At the same time, compressive strength of concrete samples with sand replacement in concentrations 5%, 10% 15%, by sludge was 18-27% higher, than the strength of the control samples. Best compressive test result was obtained from mixture with 15% sand replacement by sludge.

Table 5. Capillary water absorption tests results

Water capillarity constant (k)			
Ratio (%)	Time (day)	Cement Replacement ($cm/sn^{0.5}$) ($x10^{-3}$)	Sand Replacement ($cm/sn^{0.5}$) ($x10^{-3}$)
5	7	2.49	2.40
	14	2.52	2.71
	28	3.15	2.72
10	7	2.46	2.07
	14	3.13	2.07
	28	2.89	2.86
15	7	2.81	2.74
	14	2.74	2.22
	28	2.38	2.21

Analyzing graphs of compressive strength test of samples with partial replacement of sand with rock dust, show, that the strength of the concrete mix increases with increasing sludge concentration. Also, the graphs show a decrease in the rate of durability, depending on the increase in the age of the samples. According to the capillary water absorption test results; It has been found that the use of natural stone dust in mortar instead of sand and cement at a ratio of 15% results in serious reductions in capillary water absorption values.

5. CONCLUSIONS

This research work has been considered the most promising method for recycling sludge use in concrete mixtures. In the process of work, concrete samples were tested. These samples were made with partial replacement of sand and cement with rock dust. Changes in the physical properties of concrete samples, depending on the type of replacement and sludge concentration were investigated.

By chemical analysis, it was determined that the pulp does not contain hazardous to human and environment elements, which allows its use as a secondary raw material. Also, chemical analysis revealed a low value of CaO, which negatively affected the results of samples with cement replacement by sludge. At the same time, the presence of large number of SiO_2 in the pulp, increases the strength of the samples made with the replacement of the sand by sludge. A sample of a concrete mixture with replacement of sand with rock dust at a concentration of 15%, has the best results.

The presence of Al_2O_3, indicates the possibility of creating heat-resistant concrete on the basis of this pulp. Therefore, it is necessary to continue the research about mixtures with partial replacement of sand by sludge, to create an optimal formulation of the concrete mix with the maximum possible sludge concentration.

Experimental results are promising in this work carried out for the assessment of waste. For this reason, it is necessary to make more detailed studies. Also, it is under consideration that studies should be carried out to determine different usage areas of sludge.

REFERENCES

Abukersh S. and Fairfield C. 2011. Recycled aggregate concrete produced with red granite dust as a partial cement replacement. Construction and Building Materials.

Ciccu R, Cosentino R, Montani C C, El Kotb A, Hamdy H. 2005. Strategic Study on the Egyptian Marble and Granite Sector (Industrial Modernisation Centre RefPS_1).

Demirel B. 2010. The effect of the using waste marble dust as fine sand on the mechanical properties of the concrete. International Journal of the Physical Sciences. 5(9): 1372-1380

TS EN 196-1. Çimento Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım, 2002.

Shirule, P.A., Rahman, A., Gupta, R. D. 2012. Partial replacement of cement with marble dust powder. International Journal of Advanced Engineering Research and Studies, IJAERS.

Manasseh S. 2010, Use of Crushed Granite Fine as Replacement to River Sand in Concrete Production, JOEL, Civil Engineering Department University of Agriculture P.M.B. 2373, Makurdi, Benue State, Nigeria.

TS EN 197-1. Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bilesim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, 2002.

TRAVERTEN ÜRETİMİNDE ORTAYA ÇIKAN ATIK MALZEMENİN ÇİMENTO İÇERİSİNDE TRAS İLE BİRLİKTE KULLANILMASININ ÇİMENTO ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

THE EFFECTS OF UTILIZATION OF WASTE MATERIAL GENERATED DURING TRAVERTINE PRODUCTION WITH TRAS WITHIN CEMENT

Abdul Vahap KORKMAZ

Çimsa Çimento Sanayi A.Ş., Afyon, TÜRKİYE

av.korkmaz@hotmail.com

ÖZET: Çimento dünyada en çok tüketilen malzemelerden birisi olup, yapı sektörünün temel bileşenidir. Çimento üretimi yoğun enerji gerektiren bir süreçtir. Bu nedenle son yıllarda çimento klinkerine öğütme aşamasında çeşitli katkı malzemeleri eklenmektedir. Bu tez çalışmasında, traverten üretiminde ortaya çıkan katı atıkların çimento içerisinde tras ile birlikte katkı maddesi olarak değerlendirilmesi ele alınmıştır. Çimento üretim maliyetlerini düşürmeye yönelik ve doğal taş endüstri atıklarının çevreye verdiği zararı önlemek amacıyla bir araştırma yapılmıştır.

Bu amaç doğrultusunda traverten atığı katkılı çimentolar ve tras katkılı çimentolar üretilmiştir. Üretilen çimentoların yoğunluk, çimento inceliği, priz süreleri, su içeriği, hacim genleşmesi, 1, 2, 7 ve 28 günlük ortalama basınç dayanımları deneyleri yapılmıştır. Üretilen katkılı çimentoların fiziksel ve kimyasal özellikleri portland çimentosuyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen deneysel veriler ışığında söz konusu traverten atığı ve trasın çimentoda katkı malzemesi olarak kullanılmaya uygun oldukları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Çimento, Atık, Traverten*

ABSTRACT*: Cement, which is one of the world's most widely consumed materials, is a core component of the construction sector. Day by day, the necessity for consuming the cement is increasing depends on the growing population and construction industry. Cement production is a process that requires intense energy. For this reason, in recent years, various additives are added to the cement clinker in grinding stage. In this study,*

Utilization of travertine wastes which are generated during travertine production as an additive with tras within cemet was discussed. This study was carried out to find out the possibilities of reduction of cement production costs and minimizing the impact of marble industry wastes on environment.

For this purpose, travertine wastes blended cements and tras blended cements were produced. Density, cement fineness, setting times, water content, volume expansion, 1, 2, 7 and 28 days of average compressive strength tests of the produced cement were carried out. Physical and chemical properties of the produced blended cements were compared with Portland cement. In the light of obtained experimental data, it was determined that blended cements can be produced by 20 % travertine wastes with 20 % tras replacement by clinker.

Keywords: *Cement, Waste, Travertine*

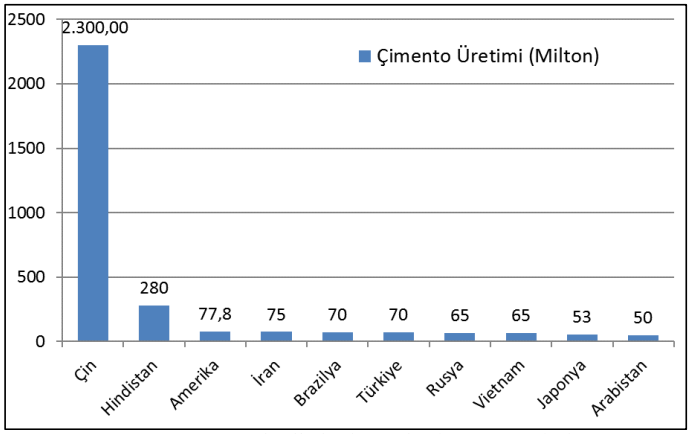
1. GİRİŞ

Yapı mühendisliğinin temel malzemelerinden olan çimento, yapının dayanımı ve maliyeti bakımından önemli bir yere sahiptir. İnşaat sektöründeki gelişmeye paralel olarak çimento tüketimi de artmaktadır. Çimento üreticileri açısından, yeni yeni kaynaklar bulunarak üretimin minimum maliyetle yapılması ve talebin karşılanması, yapımcı ve kontrolluk açısından ise daha ucuz, güvenli ve dayanımı yüksek malzemelerin kullanılması istenmektedir. Ülkemizde rezerv olarak bol miktarda bulunan trasın belirli oranlarda katkı olarak kullanıldığı traslı çimento üretilmekte ve tüketilmektedir. Ancak traslı çimentolar ile ilgili yapılan araştırmaların yeter düzeyde olmaması, bu malzeme ile üretilen betonların dayanımı hakkında ortaya atılan spekülatif haberler, gerek kullanıcıları gerekse üreticileri tedirgin etmektedir (Baytin, 1979).

Yalnız başına kullanıldığı zaman bağlayıcı madde olmayan fakat kireç veya çimento ile karıştırıldığı zaman su ile yaptığı reaksiyon sonunda bağlayıcı özelliğini kazanan maddelere puzolan denilmektedir. Puzolanlar tarihi çok eski olan bir malzemedir. Tabii, puzolanlar karakter itibariyle çimentoya yakın bir oksit bileşimi gösterdikleri için bunlar pişirmeden doğrudan klinkere katılabilmektedir. Böylece büyük bir miktarda termik enerjiden kazanç sağlanmaktadır. Enerji kaynakları sınırsız olmadığına göre, enerji tasarrufu bakımından uygun olan hammadde kullanımı ülkemiz ekonomisi bakımından önem arz etmektedir. (Erdem v.d., 1999).

Tokat bölgesi doğal taş sektörü açısından önemli bir konuma sahiptir. İl genelinde 100 civarında doğal taş işleme fabrikası bulunmaktadır. Bu İşletmelerde üretim ve imalat sonrası pek çok traverten atığı açığa çıkmaktadır. Bu miktar, kesilen blok miktarının yaklaşık %30'u kadardır. Aynı zamanda atık malzemeler çevre kirliliğine de sebep olmaktadır. Atık malzemelerin değerlendirilmesi konusunda farklı çalışmaların sürdürüldüğü yapılan literatür araştırmasından bilinmektedir (Yılmaz, 1988).

Çimento, çağımızda kullanılan temel inşaat malzemelerinin en önemlilerinden biridir. İnsanoğlunun geçmişte en fazla kullandığı ve gelecekte de en fazla kullanacağı yapı malzemesi olarak görülmektedir. Ülkemizin hemen hemen bütün bölgelerinde, çimento yapımına elverişli hammadde bulmak mümkündür. Türkiye'nin jeolojik yapısı buna uygundur. Özellikle kalker sahaları ülkemizde yaygın olarak bulunmaktadır (Baytin ve Gökhan, 1979). Türk çimento sektörü, 1911 yılında 20.000 ton/yıl kapasiteli bir fırınla Darıca'da üretime başlamıştır. Daha sonra bu fabrika 1923 yılında tevsi edilerek kapasitesi 40.000 ton/yıl'a yükseltilmiştir. 1950'li yıllara kadar Ankara, Zeytinburnu (İstanbul), Kartal (İstanbul) ve Sivas'ta 4 yeni fabrika kurulmuş ve toplam kapasite 370.000 ton/yıl'a ulaşmıştır. 1950'den sonra Türkiye Çimento Sanayisi T.A.Ş.'nin (ÇİSAN) kurulmasıyla üretim artışı sağlanmasına rağmen 1970'lere dek talebin yeterli derecede karşılanamaması nedeniyle çimento ithalatı devam etmiştir. Günümüzde sektör, hammadde konusunda tamamen kendi kaynaklarını kullanmakta olup, üretimiyle ülke ihtiyacını karşılayabilmektedir. İthalattaki payı az olan çimento sektörü, ihracattaki payını her geçen gün arttırmakta ve dünyanın 90 ülkesine satış yapmaktadır. İhracatın büyük bölümü Rusya, Irak, Suriye ve İtalya'ya yapılmaktadır. Mevcut durumda, yurtiçi talebi karşılamakta sıkıntı çekmeyen, bunun yanı sıra ihracatını yaklaşık yüzde 150 oranlarında artıran sektör Avrupa'nın en büyük çimento ihracatçısı konumuna gelmiştir. Dünya pazarına bakıldığında 2011 yılında üretim 3,3 milyar tona ulaşmış olup, Çin 2.063 milyon ton üretim miktarı ile dünya çimento üretimindeki lider konumunu sürdürmektedir. Çin'i sırasıyla 223 milyon ton üretim ile Hindistan, 195 milyon ton üretim ile AB üyesi ülkeler, 67 milyon ton ile ABD, 63 milyon ton ile Brezilya ve Türkiye takip etmektedir [6]. 2013 yılında Türkiye'nin çimento üretimindeki artışı devam ederek 70 milyon tona ulaşmıştır. Şekil 1'de 2016 yılı dünya çimento üretimi ülkeler bazında verilmiştir.



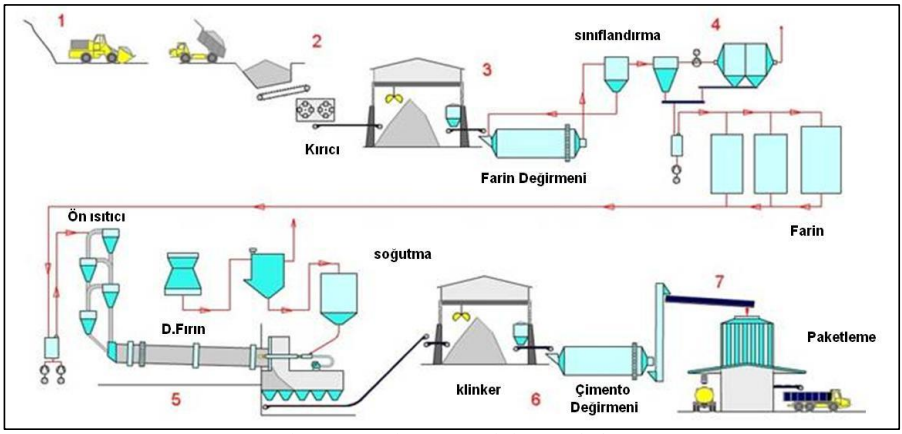
Şekil 1. 2016 yılı ülkeler bazında çimento üretimi

1.1 Çimento Üretim Yöntemi

Çimento başlıca silisyum, kalsiyum, aluminyum ve demir oksitlerini ihtiva eden hammaddeleri karıştırılarak sinterleşme sıcaklığına kadar pişirilmesi ile elde edilen "klinkerin" bir veya daha fazla cins katkı maddesi (alçıtaşı, tras,cüruf vb.) ile öğütülmesi suretiyle elde edilen bir hidrolik bağlayıcıdır. Hidrolik bağlayıcı maddeler, su ile reaksiyonu sonucu sert bir kütle oluşturduktan sonra su içerisinde dağılmayan, sertliğini ve mukavemetini muhafaza eden veya artıran bağlayıcı maddelerdir. Çimento üretiminde kullanılan ana hammaddeler jeolojide sedimenter kayaçlar olarak bilinen kireçtaşı, kil ve marndır. Klinker üretiminin ana komponentleri olan CaO için kalker (kireçtaşı); SiO_2, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 için de kil mineralleri temel kaynaklardır. Marn gibi bu dört oksiti bünyesinde bulunduran diğer malzemeler de çimento hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Çimento üretiminin genel akım şeması Şekil 2'de gösterilmiştir (Kandemir, 1993).

Şekil 2'den takip edileceği üzere, çimento üretiminde kullanılan hammaddeler, hammadde ocaklarından genellikle sert oldukları için patlayıcı maddeler yardımıyla çıkarılır ve yükleyici iş makineleri ile nakil araçlarına yüklenerek kırılmak üzere konkasörlere taşınır (1). Hammaddeler, konkasörlerde kırıldıktan sonra stokholde stoklanır (2). Gezer vinçler yardımıyla stokholden alınan hammaddeler belli oranlarda karıştırılarak farin değirmenlerine alınarak öğütülürler (3). "Farin" adını alan karışım pişirilmek üzere hazır olarak farin stoklarında stoklanır (4). Ön ısıtıcılardan geçirilerek döner fırına sevk edilen farin yaklaşık 1400-1450 derece sıcaklıkta pişirilir (5). Döner fırından klinker olarak çıkan yarı mamül ürün soğutucuda soğutularak klinker

stokholünde stoklanır. Alçıtaşı ve üretilecek çimento cinsine uygun katkılarla (Cüruf, kül vb. gibi) çimento değirmenlerinde öğütülür (6). Çimento cinslerine göre ayrı ayrı silolarda stoklanan çimento, torbalı ve dökme çimento olarak satışa sunulur (7). Genel olarak çimento üretiminde, maliyetin % 9'u hammadde, %21'i elektrik, %38'i yakıt, %9'u işçilik ve %7'si amortismandır. Geri kalan maliyetler ise %16'lık paya sahip olup, diğer sabit giderleri oluşturmaktadır (Kaplan ve Binici, 1995).



Şekil 2. Çimento üretim yönteminin genel akım şeması

1.2 Traslı Çimento Kullanım Sahaları

Traslı çimento, portland çimentosunun kullanıldığı her yerde rahatlıkla kullanılabilmektedir. Bilhassa Priz esnasında ısı neşretmemesi, çimentonun içerisinde mevcut olan ve zamanla artan serbest kirecin tras içindeki aktif silis ve alüminle birleşerek daha mukavim plastik beton elde edilmesi, çekme mukavemetinin normal çimentoya göre daha yüksek olması, asitli, karbonatlı, sülfatlı suların kemirici tesirlerine karşı mukavim olması dolayısıyla köprü ve baraj inşaatlarında kullanılabilmektedir (Kaplan ve Binici, 1995).

Aşındırıcı sulara karşı mukavim oluşu ve plastisitesi dolayısıyla kanalet, kanal ve drenajlarda, azot, amonyum gazları, amonyum tuzları ve sülfatlar gibi kimyasal maddelerin tesirlerinden korunmak için, zirai depo ve silo betonlarında kullanılabilmektedir. Priz sırasında çok az ısı neşrettiği için kitle betonlarında, daha ince öğütülmüş olması sebebiyle daha düzgün satıh vereceğinden sıva işlerinde, inceliği, çekme mukavemetinin yüksekliği ve hava geçirmezliği sebebiyle briket imalinde, beton kemirici zararlı sulara mukavim olduğundan liman dalgakıran ve rıhtım inşaatlarında,

kemirici tuzların bulunduğu arazide, yapılacak temel inşaatlarında, daha sert ve düzgün daha parlak mozaik imalatında ve düzgün satıhlı beton dökümü gereken yerlerde, su geçirimsizliği özelliğinden dolayı kullanılan demirin paslanmasını önleyerek emniyet faktörünün artmasını sağladığından betonarme inşaatlarda, kullanmak son derece yararlıdır.

Çimentonun TS 26 standardındaki tanımı şöyledir : "Ağırlıkça % 20-40 kısım tras ile karşılıklı olarak % 60-80 kısım Portland çimento klinkerinin bir miktar alçı taşı ($CaSO_4$,$2H_2O$) ile birlikte öğütülmesi ile elde edilen bir hidrolik bağlayıcıdır. Puzolanlar normal Portland çimentosunun özelliklerine teknik bakımdan bazı üstünlükler sağlar (Anonim).

Traslı çimento, kimyasal etkilere karşı dayanıklı, ayrıca Portland çimentosunun hidratasyonu sırasında ortaya çıkan serbest kireç puzolanlar ile tepkimeye girerek stabil bir bileşik oluşturuyor. Böylece serbest kirecin sudaki serbest karbondioksiditesi ile veya doğrudan doğruya çözünerek beton bünyesini terketmesi önlenmiş oluyor.

Traslı çimento ile sülfatlı sulara dayanıklı çimentonun normal ve sülfatlı sulardaki dayanımlarının incelenmesinde ilginç bir durum ortaya çıkmaktadır. Normal şartlarda hemen hemen aynı dayanıma sahip bu iki çimento türü, sülfatlı sularda zamana bağlı olarak değişik özellikler göstermektedir. Sülfatlı sularda, SDÇ başlangıçta daha yüksek dayanım gösterirken, ilerleyen zamanlarda dayanımı azalmaktadır. TÇ ise normal artan bir dayanım göstermektedir (Anonim).

1.3 Traslı Çimentonun Avantajları

Traslı çimento, hidratasyon ısısını azaltır, çatlamaya karşı betonun direncini ve su geçirmezliği arttırır, alkali-agrega reaksiyonu nedeni ile oluşan genleşmeyi önler, sülfatlı topraklara ve sulara karşı ve deniz suyuna karşı betonun direncini artırır, karbonatlaşmaya karşı betonun dayanıklılığını artırır ve betonun geçirgenliğini azaltmak suretiyle betonarme demirini korozyondan korur (Anonim).

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler

Çimento karışımlarının hazırlanmasında Portland çimentosu klinkeri, alçıtaşı (Yıldızeli), Traverten fabrikası atığı (Tokat), Tras (Sivas), standart kum ve su

kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan kum standart kumdur. Kimyasal madde olarak dilityum tetraborat (Merck), lityum iyodür (Merck), etilen glikol (Merck), HCI (Merck) $Ca(OH)_2$ ve $CaCO_3$ kullanılmıştır. Gerek kimyasal deney sonuçları gerekse mekanik dayanım, malzemenin ilgili standarda (TS 25) öngörülen sınırların üzerinde uygunluk gösterdiğini kanıtlamaktadır.

2.1.1 Portland çimentosu klinkeri

Çalışmalarda kullanılan Portland çimentosu klinkeri, Adoçim Tokat San. ve Tic. A.Ş. fabrikasından temin edilmiş olup XRF; (Atomika teknik panalytical axios modeli) metoduyla kimyasal analizi yapılarak deneylerde bu klinker kullanılmıştır. Kullanılan klinkerin özgül kütlesi 3,17 g/cm^3'tür. Klinker numunesinin kimyasal analiz sonucu Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Klinker numunesi kimyasal ve fiziksel analiz sonucu tablosu

Klinker		TS10156
SiO_2	21,12	-
Al_2O_3	5,40	-
Fe_2O_3	3,75	-
CaO	66,22	-
MgO	1,4	< 5,0
Na_2O	0,39	< 3,50
K_2O	0,73	-
SO_3	0,60	-
KK	0,28	-
Fiziksel Özellikler		
40µ elekte kalan	20,3	-
90 µm elekte kalan	1,5	<14,0
200 µm elekte kalan	0,2	< 1,0
Özgül ağırlık (g/cm^3)	3,17	-
Çimento Dayanımları		
2 günlük dayanım	20,4	
7 günlük dayanım	40,7	
28 günlük dayanım	48,6	

2.1.2 Alçıtaşı

Kullanılan alçıtaşı Adoçim Çimento San. ve Tic. A.Ş. Tokat fabrikasından temin edilmiş olup, kimyasal analizi XRF cihazı ile yapıla rak kristal suyu miktarı belirlenmiştir. Alçıtaşı numunesinin kimyasal analiz sonucu Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Alçıtaşı numunesi kimyasal ve fiziksel analiz sonucu tablosu

Alçıtaşı	**%**
SiO_2	0,7
Al_2O_3	0,32
Fe_2O_3	0,13
CaO	32,89
MgO	0,75
Na_2O	0
K_2O	0,03
SO_3	42,40
KK	22,41
Blaine (cm^2/g)	10440

2.1.3 Tras

Kullanılan doğal tras malzemesi Sivas Karakaya'da bulunan tras ocaklarından sağlanmıştır. Buradan sağlanan tras Adoçim kalite laboratuvarında fiziksel, kimyasal ve dayanım testlerine tabi tutulmuştur. Deneylerde kullanılan doğal trasın kimyasal ve fiziksel analizleri yapılarak özelikleri belirlenmiştir. Tras numunesinin kimyasal ve fiziksel analiz sonucu Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Tras numunesi kimyasal ve fiziksel analiz sonucu tablosu

Doğal Zeolit		TS 10156
SiO_2	54,22	-
Al_2O_3	19,32	-
Fe_2O_3	8,13	-
CaO	7,33	-
MgO	2,61	< 5,0
Na_2O	0,47	< 3,50
K_2O	1,57	-
SO_3	0,36	-
KK	4,96	-
Fiziksel Özellikler		
S+A+F	87,73	-
Puzolanik Aktivite (N/mm^2)	6,4	<14,0
Rutubet	1,3	< 1,0
Özgül ağırlık (g/cm^3)	2,18	-

2.1.4 Traverten atığı

Kullanılan traveten atığı katkısı Tokat traverten fabrikalarının ocaklarının atık sahalarından sağlanmıştır. Deneylerde kullanılan traverten atığının kimyasal ve fiziksel analizleri yapılarak özelikleri belirlenmiştir. Mermer atığı numunesinin kimyasal ve fiziksel analiz sonucu Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Traverten atık numunesinin kimyasal ve fiziksel analizi

Kimyasal Analiz	Numune Adı
(Bileşenler)	Mermer Atığı (% Ağırlıkça)
SiO_2	1,3
Al_2O_3	0,23
Fe_2O_3	0,56
CaO	52,5
MgO	0,49
Na_2O	0
K_2O	0,03
SO_3	0,04
KK	42,6
Fiziksel Özellikler	
Blaine (Yüzey alanı)	15440
Öğütme Zamanı (dakika)	45
40 µ elek üstü	16
90 µ elek üstü	0,6
200 µ elek üstü	0,2

2.2. Çimentoların harç üretimi kür koşulları ve kodları

On iki farklı tipte harçlar ile çimento üretilmiştir. Harçlar TSE 24' e göre 4*4*16 cm lik kalıplarda 1 gün bekletilmiş ve 27 gün su içinde tutulmuştur. Harçlar oluştururken tüm harçlarda % 5 alçıtaşı kullanılmıştır.

Tablo 5. Traverten atığı katkılı çimentolar ve kodları

Çimentonun cinsi	**Çimentonun kodu**
Portland çimentosu	PÇ
% 5 Traverten atığı	TAKÇ-5
% 10 Traverten atığı	TAKÇ-10
% 15 Traverten atığı	TAKÇ-15
% 20 Traverten atığı	TAKÇ-20

Tablo 6. Tras katkılı çimentolar ve kodları

Çimentonun cinsi	**Çimentonun kodu**
Portland çimentosu	PÇ
% 5 Tras	TKÇ-5
% 10 Tras	TKÇ-10
% 15 Tras	TKÇ-15
% 20 Tras	TKÇ-20

Tablo 7. Traverten atığı ve tras katkılı çimentolar ve kodları

Çimentonun cinsi	**Çimentonun kodu**
Portland çimentosu	PÇ
% 5 Traverten atığı; % 5 Tras	TATKÇ-5
% 10 Traverten atığı; % 5 Tras	TATKÇ-10
% 15 Traverten atığı; % 5 Tras	TATKÇ-15
% 20 Traverten atığı; % 5 Tras	TATKÇ-20

Tablo 8. Traverten atığı katkılı çimento fiziksel analiz tablosu

Çimento	İncelik %			Özgül Yüzey (cm^2/g)
	+90 µm	+40 µm	+200 µm	
TAKÇ-5	5,1	0,4	0,1	3510
TAKÇ-10	6,2	0,4	0,1	3740
TAKÇ-15	6,8	0,5	0,2	3814
TAKÇ-20	7,7	0,7	0,2	4210

Tablo 9. Tras katkılı çimentolar fiziksel analiz sonucu tablosu

Çimento	İncelik %			Özgül Yüzey (cm^2/g)
	+90 µm	+40 µm	+200 µm	
TKÇ-5	5,4	0,4	0	3771
TKÇ-10	6,5	0,5	0,1	4127
TKÇ-15	7,3	0,6	0,1	4213
TKÇ-20	8,7	0,7	0,1	4420

Tablo 10. Traverten atığı ve tras katkılı çimentolar fiziksel analiz sonucu tablosu

Çimento	İncelik %			Özgül Yüzey (cm^2/g)
	+90 µm	+40 µm	+200 µm	
MADZKÇ-5	5,5	0,5	0	3866
MADZKÇ-10	6,3	0,5	0,1	4055
MADZKÇ-15	7,7	0,6	0,1	4101
MADZKÇ-20	9,8	0,8	0,2	4320

Tablo 11. Traverten atığı katkılı çimentolar priz süreleri tablosu

Çimento	Normal Kıvam Suyu (%)	Priz Süresi, dakika: saniye	
		Priz Başlangıcı	Priz Sonu
TAKÇ-5	28,8	173	267
TAKÇ-10	29,1	189	261
TAKÇ-15	31	214	310
TAKÇ-20	31,1	230	315

Tablo 12. Tras katkılı çimentolar priz süreleri tablosu

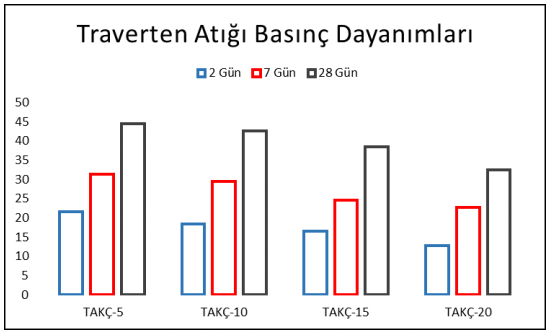
Çimento	Normal Kıvam Suyu (%)	Priz Süresi, dakika: saniye	
		Priz Başlangıcı	Priz Sonu
TKÇ-5	32	175	265
TKÇ-10	31	180	250
TKÇ-15	32	200	300
TKÇ-20	32,6	215	310

Tablo 13. Mermer atığı ve tras katkılı çimento priz süreleri tablosu

Çimento	Normal Kıvam Suyu (%)	Priz Süresi, dakika: saniye	
		Priz Başlangıcı	Priz Sonu
TATKÇ-5	35,6	175	270
TATKÇ -10	41,6	190	260
TATKÇ -15	40	220	310
TATKÇ -20	40	230	315

Tablo 14. Traverten atığı basınç dayanımı tablosu

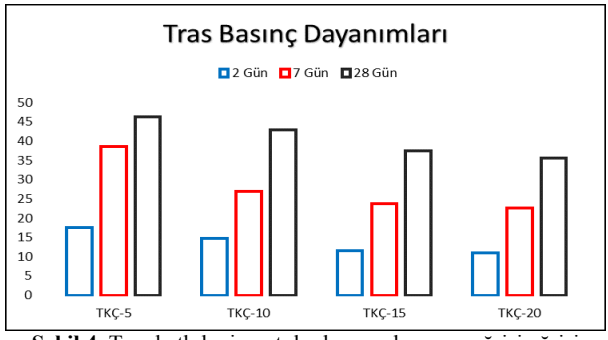
Çimento	Basınç Dayanımı (N/mm^2)		
	2 Gün	7 Gün	28 Gün
TAKÇ-5	21,5	31,3	44,4
TAKÇ-10	18,4	29,5	42,6
TAKÇ-15	16,5	24,5	38,4
TAKÇ-20	12,7	22,6	32,4



Şekil 3. Traverten atığı katkılı çimentolar basınç dayanım eğrisi eğrisi

Tablo 15. Tras basınç dayanımı tablosu

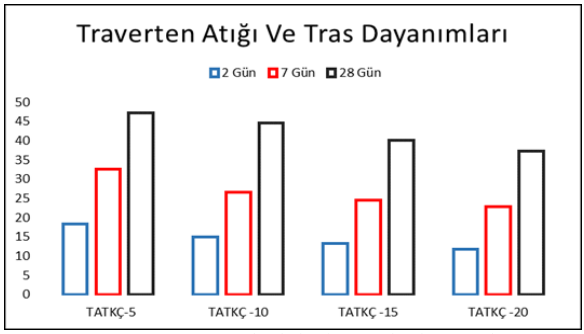
Çimento	Basınç Dayanımı (N/mm^2)		
	2 Gün	7 Gün	28 Gün
TKÇ-5	17,7	31,9	46,2
TKÇ-10	14,6	27	42,9
TKÇ-15	11,7	22,2	37,1
TKÇ-20	10,7	21,6	35,4



Şekil 4. Tras katkılı çimentolar basınç dayanım eğrisi eğrisi

Tablo 16. Traverten atığı ve Tras basınç dayanımı tablosu

Çimento	Basınç Dayanımı (N/mm^2)		
	2 Gün	7 Gün	28 Gün
TATKÇ-5	18,4	32,5	47,2
TATKÇ -10	14,9	26,6	44,6
TATKÇ -15	13,3	24,5	40,1
TATKÇ -20	11,7	22,8	37,2



Şekil 5. Tras ve traverten atığı katkılı çimentolar basınç dayanım eğrisi

3. SONUÇLAR

Traverten atıklarının ve Sivas Karakaya trasının kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde içerdikleri MgO, Al_2O_3, SiO_2, CaO, Fe_2O_3, SO_3, K_2O gibi oksitlerin aynı zamanda çimentonun ve çimento üretiminde kullanılan diğer katkı maddelerinin de bileşimini oluşturduğu gözlenmektedir. Bu bileşenlerin Portland Çimentosuna ilave edildiğinde değerlerinin arttığı ancak sınır değerleri aşmadığı görülmüştür. Aynı şekilde klinker ve alçıtaşı kimyasal analiz sonuçlarının da verilen standartlara uygun olduğu saptanmıştır.

Portland Çimentosu klinkeri ile birlikte öğütülen atıkların katkı oranına paralel olarak (özgül yüzeyleri) ve portland çimentosuna nazaran ihtiyaç gösterdikleri su miktarı artmıştır. Artan su miktarına bağlı olarak da çimento karışımlarının priz süreleri gecikmiştir. Fakat bütün bu artış ve gecikmeler standartlarda verilen sınır değerler arasındadır. Hazırlanan çimentoların özgül ağırlık ve elek analizi sonuçları da Türk standartlarına uygunluk göstermektedir.

Traverten atığı katkılı çimento (TAKÇ) ve doğal tras katkılı çimento (TKÇ) karışımlarının mukavemet sonuçlarına bakıldığında traverten atığı katkı oranı ve Karakaya tras katkı oranı arttıkça dayanımın azaldığı görülmüştür. Eğer gerekli miktar % 20 traverten atığı ve % 20 Karakaya trası hammadde katkılı çimento ayarlamaları yapılırsa traverten atığı katkısının ve doğal tras katkısının katkılı çimentolarda etkin olabileceği görülebilir. Ayrıca traverten atıkları kullanıldığında çevreye verdikleri zararlar önlenecek ve ekonomimize yeniden kazandırılmış olacaktır.

Hazırlanan çimento karışımlarının mukavemetleri kontrol numunesinden daha düşük çıkmıştır. Ancak sonuçlar TS'de verilen sınır değerler arasındadır. Mukavemet sonuçları öğütme süresi açısından değerlendirildiğinde normal Portland Çimentosu

klinkerine göre daha kolay öğütüldüğünden öğütme süresi ve enerji tüketimi açısından tasarruf sağlayacağı açıktır.

KAYNAKLAR

Baytin, G., Gökhan, Ç. (1979) Yapımda Endüstrileşme: Çimento I, Mimarlık Dergisi, Cilt.79, No.3, s.24-27.

Erdem, E., Donat, R. ve Çetişli, H., 1999, Hydration and mechanical properties of cement containing zeolite, Cement and Concrete World, 17, 22-28.

Yılmaz, Kemalettin.,Yapı Malzemesi Beton Tekno., 1988

Üğücü, Ramazan., Mermer Tozunun Beton Özelliklerine Etkisi. Mezuniyet Tezi, 2000

Baytin, G., Gökhan, Ç. (1979) Yapımda Endüstrileşme: Çimento I, Mimarlık Dergisi, Cilt.79, No.3, s.24-27.

ÇMB, (2014) Çimento Raporu, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği.

Kandemir, N., (1993). Pozzolanic Cement, Master Thesis, Middle East Technical University, Ankara, s.102.

Kaplan, H ve Binici, H. (1995) Tras ve Traslı Çimentolar, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt.2-3, s. 121-127

Anonim, TS 26 Traslı Çimentolar

Anonim, TS 640 Uçucu Küllü Çimento

Anonim, TS 687 Çimento Kimyasal AnalizMetodları

REMOVAL OF Cu^{2+} IONS FROM WASTE WATER USING EDTA MODIFIED TiO_2

EDTA MODİFİYE EDİLMİŞ TiO_2 KULLANILARAK ATIK SULARDAN Cu^{2+} İYONLARININ UZAKLAŞTIRILMASI

Esra PORGALI, Emrah AKGEYİK, Sema ERDEMOĞLU*

İnönü University, Department of Chemistry, Malatya, TURKEY

*: Corresponding Author: sema.erdemoglu@inonu.edu.tr

ABSTRACT: In this study, the removal of Cu^{2+} ions from the industrial waste water using EDTA doped (modified) TiO_2 synthesized by Reflux method was investigated in batch tests. Structural and physicochemical properties of the EDTA modified TiO_2 (EDTA-TiO_2) were determined by XRD, SEM, BET, FTIR, and zeta potential analysis. Effect of various factors such as pH, amount of adsorbent, adsorption time, initial concentration of metal ions, desorption solutions, and effects of matrix on the uptake behavior of Cu^{2+} ions from the aqueous solution was investigated. The results showed that the modified TiO_2 with 3% EDTA (n/n) adsorbed 95% of 10 mg/L Cu at pH 3-4.5 in 5 min while the bare TiO_2 adsorbed only 85% of Cu. In addition, the maximum adsorption capacity for the EDTA-TiO_2 nanoparticles was obtained as 0.944 mg/g while it was 0.25 mg/g for the bare TiO_2.

Keywords: Waste water, Cu ions, Adsorption, TiO_2, EDTA-modified TiO_2

ÖZET: *Bu çalışmada, Reflux metotla sentezlenen EDTA katkılanmış (modifiye edilmiş)* TiO_2 *kullanılarak, endüstriyel atık sulardan* Cu^{2+} *iyonlarının batch teknikle uzaklaştırılması araştırıldı. Sentezlenen EDTA modifiye* TiO_2*'in (EDTA-*TiO_2*) yapısal ve fizikokimyasal özellikleri XRD, SEM, BET, FTIR ve zeta potansiyel analizleri kullanılarak yapıldı. Sulu çözeltiden* Cu^{2+}*iyonlarının uzaklaştırılmasına, pH, adsorbent miktarı, adsorpsiyon süresi, metal iyonlarının başlangıç derişimi ve matriks etkisi gibi çeşitli parametrelerin etkisi araştırıldı. Molce %3(n/n) EDTA modifie edilmiş* TiO_2*, pH 3-4.5 aralığında, 5 dk içerisinde, 10 mg/L* Cu^{2+} *iyonlarını %95 oranında adsorbe ederken, aynı koşullarda* TiO_2*, sadece %85 oranında adsorbe etmektedir. Ayrıca,* TiO_2

nanopartiküllerinin adsorpsiyon kapasitesi 0.25 mg/g olmasına rağmen; EDTA-TiO_2 nano partiküllerinin adsorpsiyon kapasitesi 0.994 mg/g bulundu.

Anahtar Kelimeler: *Atık su, Cu iyonları, Adsopsiyon, TiO_2, EDTA modifiye TiO_2*

1. INTRODUCTION

Heavy metals are mostly released into environment from plating plants, mining, metal finishing, welding, and alloy manufacturing, and pose a significant threat to the environment and public health. Cupper is a metal of widespread use, and frequently found in industrial wastewater. The major concern with heavy metals is their ability to accumulate in environment, and to cause heavy meal poisoning. Unlike some organic pollutants, heavy metals are not biodegradable, and cannot be metabolized or decomposed. Although acute heavy metal toxicity is rare, chronic low-grade toxicity may be more damaging in the long-term, and results in chronic illness such as copper poisoning in humans, gastrointestinal problems, kidney damage, hair loss, nausea, anemia, hypoglycaemia, severe headache, and even death (Chong et al., 2010; Zeng et al., 2011; Tang et.al., 2014).

Therefore, their removal/remediation has become all the more necessary (Ge et al., 2012). Conventional treatment technologies such as chemical precipitation, coagulation, microbial remediation, solvent extraction, micro and ultrafiltration, sedimentation and gravity separation, flotation, oxidation, evaporation, distillation, reverse osmosis, adsorption, ion exchange, electrodialysis, electrolysis, etc. are often restricted because of some technical or economic constraints. Their major disadvantages are incomplete metal removal, high operating cost, and generation of toxic sludge or other waste products. From above mentioned techniques, adsorption technique, one of the most effective and simplest approaches, is widely used in water treatment due to its low cost and the availability of a wide range of adsorbents to remove toxic and recalcitrant pollutants. Besides, adsorption can also be applied for the removal of soluble and insoluble organic, inorganic, and biological pollutants (Gupta. et al., 2011; Saleh et al., 2012). Therefore, the applications of adsorption as more effective and economical have received considerable attention academic and industry in recent years. However, developing highly efficient adsorbents with high surface activity, large

surface area, and strong selective adsorption ability is still a challenging topic (Dhal et al., 2013).

Nano adsorbents are good option for this aim because of their large surface area to volume ratios and high interfacial activity. The use of commercial adsorbent materials designed for this purpose is limited due to its limited properties. Nanostructured metal and / or metal oxides (Al_2O_3, SiO_2, TiO_2, etc.) have begun to be used as adsorbents or photocatalysts in industry. These metal oxides can be modified with various metals, chelating agents, and polymers in order to increase their adsorption selectivity. Among these metal oxides, nano-TiO_2 is often preferred both as a photocatalyst and an adsorbent because of its unique properties. Its chemical stability is very high, and insoluble in acidic and alkaline environment. The surface load at middle pH is zero, and it can effectively adsorb the positively and negatively charged chemical species at a wide pH range (Bendicho et al., 2016). Surface modification of nanoparticles is an important process to increase their adsorption performance and make them enable surface activation especially for the removal of metallic impurities. Ethylene diamine tetra acetic acid (EDTA), has an excellent interaction with polyvalent metal ions, and has a strong affinity between nitrogen atoms and metal ions (Madadrang et al., 2012). The adsorption affinity of EDTA species is immobilized on chitosan for divalent metal ions as follows: Cu(II)>Ni(II)>>Fe(II), Zn(II), Cd(II), and Co(II) >> Mn(II) (Gyliene et al., 2006).

In this study, the removal of Cu ions from waste water using bare and EDTA modified nano-TiO_2 particles was investigated. It was thought that EDTA might efficiently be able to improve the adsorption capacity of TiO_2 nanoparticles (NPs) for Cu ions.

2. EXPERIMENTAL

2.1 Materials

Titanium isopropoxide, $Ti(OPr^i)_4C_{12}H_{28}O_4Ti$ (97 wt.%), was purchased from Alfa Aesar. 2-propanol (99.5 wt.%), ethanol (99 wt.%), and Ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) were provided by Sigma Aldrich. Hydrochloric acid (37 wt%) was purchased from Riedel de Hean. Copper(II) nitrate trihydrate $Cu(NO_3)_2.3H_2O$, EDTA. NaOH were purchased from Merck. All chemicals were of analytical grade, and used without further

purification. Deionized water (resistivity: 18 MΩ/ cm) was used for the experiments. The room temperature during the adsorption experiments was adjusted to 25±2 °C.

2.2 Apparatus

Scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared (FTIR) spectra, and BET methods were used to characterize the bare and the synthesized EDTA modified TiO_2 nanoparticles. Additionally, and zeta-potential of the nano particles were measured as a function of pH.

Crystallite size of NPs was determined with XRD patterns recorded using a Rigaku GergerflexD Max/B Model (CuKα, tube voltage of 45kV and tube current of 40mA). The surface morphologies of the NPs were observed by scanning electron microscope (SEM; Leo Evo 40 model, Carl Zeiss). FTIR analysis was performed on a PerkinElmer under vacuum at 60°C for 24h and dispersed in anhydrous KBr. Specific surface areas (S_{BET}) of the particles were measured by a BET analyzer (Micromeritics Tristar 3030 model). The BET (Brunauer-Emmett-Teller) surface areas of NPs were measured with N_2 adsorption/desorption at 77 K. The zeta potential and particle size distribution of the synthesized catalysts were measured by dynamic light scattering (DLS; Zetasizer Nano-ZS model, Malvern Ins. Ltd). The adsorption experiments of Cu^{2+} ions in aqueous solutions were carried out with the bare TiO_2 and EDTA doped (modified) TiO_2 nanoparticles (EDTA-TiO_2). The Cu ion concentrations in the aqueous solutions were measured by flame atomic absorption spectrometer (FAAS Philips PU 9100).

2.3 Synthesis of EDTA doped TiO_2

Modification of TiO_2 with EDTA was performed by including EDTA during the synthesis of TiO_2. Bare TiO_2 and EDTA modified TiO_2 nanoparticles were synthesized by Reflux synthesis method (in an oil bath under reflux). Solution A: The molar ratio will be 2-PrOH/$Ti(OPr^i)_4$ (n/n=100) was stirred in 2-PrOH until dissolved at 500 rpm using a magnetic stirrer. Solution B: The mixture prepared as a H_2O/$Ti(OPr^i)_4$ (n/n=100) and HCl/ $Ti(OPr^i)_4$ (n/n=0,15) was stirred at 500 rpm using the magnetic stirrer for at least 15 min (for doped sample EDTA/ $Ti(OPr^1)_4$ (n/n=3)). The mixed solution was transferred into 500 mL flask. Solution A was added dropwise to Solution

B. In the reflux system, it was synthesized at 110 °C for 6 h after cooling down to room temperature, and the produced white precipitate was collected. Afterwards, the products were dried at 80°C for 48 h.

2.4 Adsorption Experiments

Different amounts ranging between 0.5-4% (wt/v of the bare TiO_2 or EDTA-TiO_2) were added into a 10 mL solution containing 10 mg/L of Cu^{+2} under stirring, and kept for 5 min to establish the adsorption equilibrium. Other conditions, such as solution pH value, adsorption time, amount of adsorbent, initial concentration of Cu^{2+}, volume of Cu^{2+}, matrix effect were investigated to the adsorption performances of EDTA-TiO_2 nanoparticles. The adsorption performance was described by the adsorption capacity (q_e) which was calculated according to;

$$q_e = \frac{(Co\text{-}Ce) * V}{W}$$

Where qe (mg/g) is adsorbed Cu^{2+} concentration at the balance (adsorption density); C_0 is the initial Cu^{2+} concentration; Ce is Cu^{2+} concentration in solution at the equilibrium; V (L) is volume of the solution; and W (g) is mass of the adsorbents.

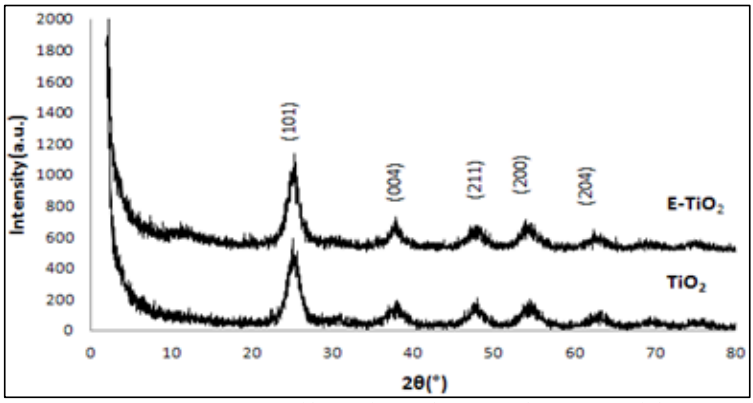


Figure 1. XRD pattern of bare TiO_2 and EDTA-TiO_2 nanoparticles.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Characterization of the Synthesized NPs

The samples were characterized by X-ray diffraction (XRD) pattern of the prepared samples (Figure 1), as determined with Cu Kα (λ= 0,1548 nm) radiation at room temperature used to characterize crystalline phase of powders. Bragg angle is 2θ=25.3°.

Crystallite size of particle was calculated from XRD peak of spacing according to the Scherrer's equation that is shown by the equation: $D = (\frac{K\lambda}{\beta} cos\ \theta)$, where D is the average crystallite size (nm), K is a constant usually applied as 0.94, β is the full-width at half maximum intensity of the peak observed at 2θ=25.3°, λ= 0.1548 nm; based on the data of (101) plane, the crystallite size of TiO_2 and EDTA-TiO_2 was calculated 11.4 nm and 9.8 nm, respectively. As shown in Figure 1, EDTA doping procedure caused to decrease the grain size slightly, in other words the crystallite size of TiO_2 nanoparticles reduced by the addition of EDTA. Sun et al (2014) showed that the EDTA was used as a shape controller in the hydrothermal growth of ZnO. In addition, the XRD patterns (101 main peaks) showed that all the NPs had anatase structures.

Figure 2 shows a typical SEM microphotograph of the synthesized NPs indicating that the shapes of the particles likely become spherical. It is also shown that all the prepared products appeared polydispersity, and although EDTA doped TiO_2 (Figure 2b) was spherical, it was bulk structure, and at least agglomeration. But, the surface morphology of the particles did not alter with the doping EDTA. A non-uniform distribution of EDTA-TiO_2 particles was observed, which consisted of either some single particles or a cluster of particles.

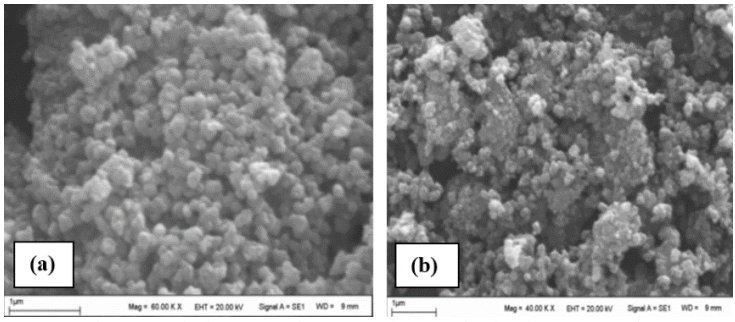


Figure 2. SEM images of TiO_2 (a) and EDTA-TiO_2 synthesized at pH 5.5 (b) nanoparticles.

Specific surface area is one of the important parameters to be considered for adsorption performances. The BET surface area of bare TiO_2 and EDTA-TiO_2 was found to be 237.376 m^2/g and 246.290 m^2/g, respectively. These results indicated that the specific surface area (S_{BET}) of EDTA-TiO_2 was higher slightly according to that of bare TiO_2 which may be due to EDTA modification caused to the increasing of specific surface area of the particles.

The FTIR spectra of EDTA molecule, bare TiO_2, and EDTA modified TiO_2 nanoparticles are shown in Figure 3. For the EDTA-TiO_2 nanoparticles, as shown in Figure 3b, there were several new peaks compared with that of bare TiO_2 particles (Figure 3c), which could be assigned to EDTA molecule. As shown in Figure 3, the presence of peaks at 3100 cm^{-1}, 1623 cm^{-1}, and 1400 cm^{-1} are attributed to the C-H stretching, C=O stretch vibration, and O-H bond of carboxylate group, respectively. The FTIR analysis indicates that EDTA molecule chemically bounds on the surface of TiO_2 nanoparticles through the coordination bond between Ti and hydroxyl group.

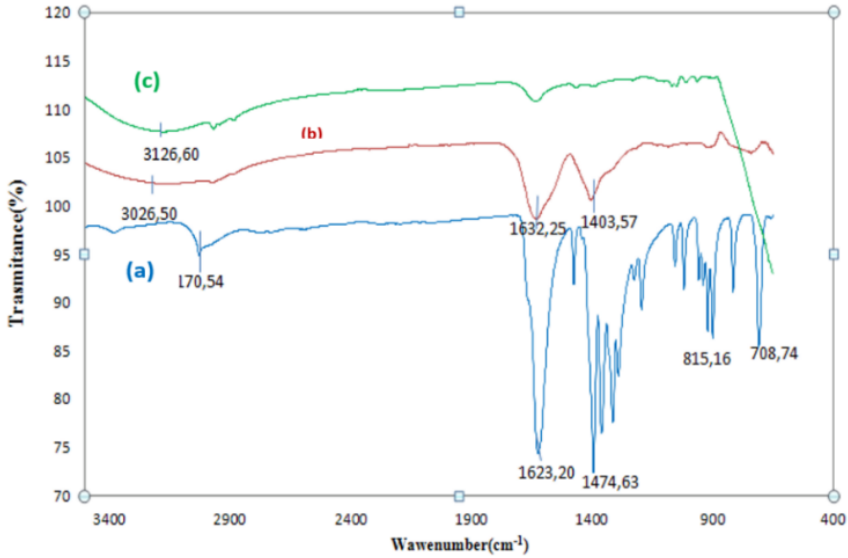


Figure 3. FTIR spectra of EDTA molecule (a), EDTA-TiO_2 (b), bare TiO_2 (c) nanoparticles.

Figure 4 illustrates the pH dependences of zeta potentials for bare TiO_2 and EDTA doped TiO_2 nanoparticles at pH: 2-12 in 10^{-3} M KCI background solution. It was observed that the isoelectric point of TiO_2 nanoparticles slightly shifts from 5.6 to 6.0 after EDTA modification (Ullah et al., 2015). This confirms that the doped EDTA molecules take part in the surface protonation and deprotonation processes which slightly the surface electricity of TiO_2 particles. It is obviously surface charges of adsorbents are positively and negatively in acidic and basic medium, respectively. The surface charge also affects the adsorption process of ions on adsorbents, and represents an average charge distribution at different surface sites-kinks, edges, and planes-that are directly involved in the adsorption equilibrium constant (Ullah et al., 2015).

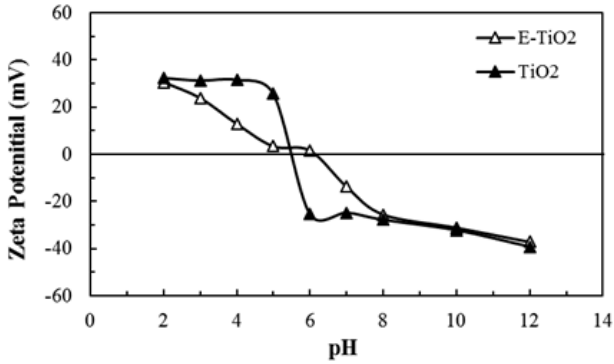


Figure 4. Zeta potential profile of bare TiO_2 and EDTA-TiO_2 nanoparticles.

3.2 Adsorption Performance of EDTA-TiO_2 for Cu^{2+} Ions

Adsorption time and pH of medium on the adsorption of Cu^{2+} in water was investigated. The operational and optimal experimental conditions with synthesized NPs for adsorption of Cu^{2+} ions are given in Table 1.

Table 1. Operational and optimal conditions for Cu adsorption on adsorbent

Parameter	Operational range	Optimal value
Amount of adsorbent, % wt/v	0.5-4	1
Time of adsorption, min	2-20	5
Concentration of Cu^{2+}, mg/L	2-20	10
Volume of Cu^{2+}, mL	10-50	40
pH of the aqueous medium	1-8	3
Concentration of HNO_3 for elution, M	0.1-4	2

The adsorption isotherms and adsorption capacity of the synthesized NPs for Cu^{2+} ions were studied at the batch tests. As it seen in Figure 5, the profile of adsorption isotherm for Cu^{2+} were drawn by plotting the mg of Cu adsorbed per g of the adsorbent versus the equilibrium concentration of Cu^{2+} (mg/L) in aqueous solutions. The data of isotherm revealed that the adsorption process confirms to Langmuir model.

At the optimum conditions as given in Table 1, the proposed method was applied and 3% EDTA (n/n) modified TiO_2 were adsorbed 95% of 10 mg/L Cu^{2+} at pH 3-4.5 in 5 min. Maximum adsorption capacity of EDTA-TiO_2 nanoparticles is 0.944 mg/g while it is 0.25 mg/g for the bare TiO_2.

Heavy metal ion pollutants are often presented together with alkaline/earth metal ions in water system. To impact coexisting inorganic or organic matrix effects were investigated on adsorption performance. For this aim, 25 mg/L Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+} or 10 mg/L of tannic acid were added to 40 mL model solutions containing 10 mg/l Cu^{2+}.

The recovery of adsorption slightly decreased. As a result, interfering effect does not occur and play role an important in adsorption process.

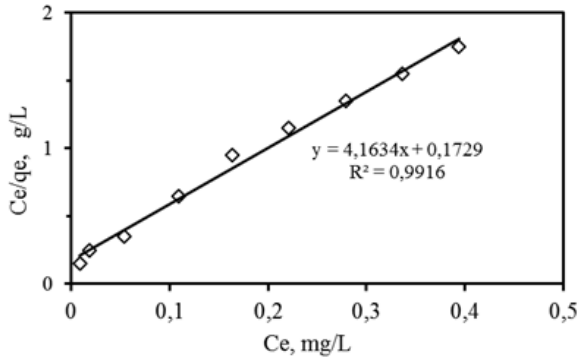


Figure 5. Linearized Langmuir adsorption isotherm of Cu^{2+} on EDTA-TiO_2.

4. CONCLUSION

3% n/n EDTA doped TiO_2 nanoparticles were synthesized by reflux method. The structure of the EDTA modified TiO_2 particles was anatase; and the crystalline size was 9.8 nm. EDTA molecule was chemically bonded on the surface of TiO_2. Also, according to the FTIR spectra, some EDTA-specific peaks were observed in the modified TiO_2 spectra. Given BET results, the specific surface area of doped TiO_2 was found to be greater than that of bare TiO_2. The EDTA-TiO_2 can enhance the adsorption capacity of TiO_2 toward Cu^{2+} through the coordination bond between EDTA and Cu^{2+} and change the adsorption mechanism. The proposed method was successfully applied, and at the optimum conditions (Table 1), 3% EDTA (n/n) modified TiO_2 adsorbed 95% of 10 mg/L Cu^{2+} from aqueous solution.

REFERENCES

Bendicho, C., Bendicho-Lavilla, C., Lavilla I., 2016. Nanoparticle-assisted chemical speciation of trace elements, Trends in Analytical Chemistry 77: 109–121.

Chong, M.N., Jin, B., Chow, C.W.K., Saint, C., 2010. Recent developments in photocatalytic water treatment technology: A review, *Water Res.* 44(10): 2997–3027.

Dhal, B., Thatoi, H.N., das N.N., Pandey, B.D., 2013. Chemical and microbial remediation of hexavalent chromium from contaminated soil and mining/metallurgical solid waste: A review, Journal of Hazardous Materials 250-251: 272-291.

Ge, F., Li. M.M., Ye, H., Zhao, B.X., 2012. Effective removal of heavy metal ions Cd^{2+}, Zn^{2+}, Pb^{2+}, Cu^{2+} from aqueous solution by polymer-modified magnetic nanoparticles, Journal of Hazardous Materials 211-212: 366-372.

Gupta, V.K., Agarwal, S., Saleh, T.A., 2011. Synthesis and characterization of alumina-coated carbon nanotubes and their application for lead removal. Journal of Hazardous Materials 185: 17–23.

Gyliene, O., Nivinskiene, O., Razmute, I., Copper(II)-Edta Sorption Onto Chitosan and Its Regeneration Applying Electrolysis, 2006. Journal of Hazardous Materials, 137: 1430–1437.

Liu, Y., Chen, M., 2013. Study on the adsorption of Cu(II) by EDTA functionalized Fe3O4 magnetic nano-particles, Chem. Engineering journal. 218: 46-54.

Madadrang, C.J., Kim, H.Y., Gao, G.H., Wang, N., Zhu, J., Feng, H., 2012. Adsorption Behavior of EDTA-Graphene Oxide for Pb (II) Removal, Applied Material and Interfaces 4: 1186–1193.

Saleh, T.A., Gupta, V.K., 2012. Column with CNT/magnesium oxide composite for lead(II) removal from water, Environ. Sci. Pollut. Res. 19: 1224–1228.

Sun, C., Wu X., Meng, H., Xu, X., Xu, J., Zhang, X., 2014. Surface modification with EDTA molecule: A feasible method to enhance the adsorption property of ZnO. Journal of Phys. and Chem. of Solids 75: 726-731.

Tang, W.W, Zeng, G.M., Zeng, J.L., Gong, J., Liang, P.X., Zhang, G., Huang, B.B., 2014. Impact of humic/fulvic acid on the removal of heavy metals from aqueous solutions using nanomaterials: A review, Science of the Total Environment, 468-469: 1014–1027.

Ullah, S., Ferreira-Neto, E.P., Pasa, A.P., Alcantara C.C.J., Acuna, J.J.S., Bilmes, S.A., Ricci, M.L.M., Landers., R., Fermino, T.Z., Rodriges-Filho, U.P., 2015. Enhanced photocatalytic properties of core-shell SiO_2@TiO_2 nanoparticles. *Applied Catalysis B: Environmental* 179: 333-343.

Zeng, GM, Li, X., Huang, J.H, Zhang, C., Zhou, C.F., Niu, J., et al., 2011. Micellar-enhanced ultrafiltration of cadmium and methylene blue in synthetic wastewater using SDS, *Journal of Hazardous Mater*ials 185(2–3): 1304–1310.

A RESEARCH OF THE CCS ACTIVITIES IN THE COAL-FIRED POWER PLANTS OF TURKEY AND SOME EUROPEAN COUNTRIES

TÜRKİYE VE BAZI AVRUPA ÜLKELERİNDEKİ KÖMÜR SANTRALLERİNDE CCS AKTİVİTELERİNE İLİŞKİN BİR ARASTIRMA

Mehmet MESUTOĞLU [1*], Özgül ÇİMEN MESUTOĞLU [2]

1: Selçuk University, Department of Mining Engineering, Konya, TURKEY

2: Aksaray University, Department of Environmental Engineering, Aksaray, TURKEY

*: Corresponding Author: mehmetmesutoglu@selcuk.edu.tr

ABSTRACT: For the last 60 years, energy consumption has been increasing expeditiously around the world. The country's energy hunger keeps up with this increase because of the rapid increase in the population and the improvements in the economy. This situation creates problems with energy supply in countries. Turkey, like other countries, is faced with problems related to energy supply. About 80-90% of the energy consumed in the world is obtained by burning fossil fuels such as petroleum, natural gas, coal and petroleum products. Coal, like many other countries, is also an important situation for energy production in Turkey. Turkey aims to build new coal fired power plants in the next few years, on top of 25 that already exist, this will cause an increase in CO_2 emissions, and therefore, the country needs special interventions to restrict CO_2 emission to minimize global warming. To restrict CO_2 emission one of interventions is Carbon Capture and Storage (CCS) technology. In this paper, the current situation of CCS technologies in coal-fired power plants for Turkey and some European countries (Portugal and Spain) are investigated and a general assessment has been made.

Keywords: Carbon capture and storage (CCS), Coal-fired power plants, Energy supply, Fossil fuels, Global warming.

ÖZET: *Dünya genelinde enerji tüketimi son 60 yıldır hızla artmaktadır. Ülke ekonomilerindeki gelişmeler ve hızlı nüfus artışları, bu ülkelerin enerji açlığındaki artışın devam etmesine neden olmaktadır. Bu durum ülkelerin enerji tedarik etmelerinde*

sorun yaratmaktadır. Diğer ülkeler gibi Türkiye'de bu problemle karşı karşıyadır. Dünyada tüketilen enerjinin yaklaşık % 80-90'ı, petrol, doğalgaz, kömür ve petrol ürünleri gibi fosil yakıtların yakılmasıyla elde edilmektedir. Kömür, diğer birçok ülke gibi Türkiye'de de enerji üretimi için önemli bir konumdadır. Günümüzde kömür, doğal gaz, jeotermal enerji, güneş enerjisi, petrol ürünleri, biyogaz, nükleer yakıt gibi termik kaynakları kullanan çok sayıda termik santral vardır. Türkiye önümüzdeki birkaç yıl içinde, hâlihazırda var olan 25'in üzerine, daha fazla sayıda, yeni, kömürle çalışan santraller kurmayı planlamaktadır. Bu durum doğal olarak CO2 emisyonunda artışa neden olacak ve ülkenin küresel ısınmayı en aza indirgemek için CO2 emisyonunu sınırlandırmaya yönelik özel müdahalelere ihtiyacı olacaktır. CO2 emisyonlarını sınırlandırmak için bilinen alınabilecek önlemlerden biri, Karbon Yakalama ve Depolama (CCS) teknolojisidir. Bu çalışmada, Türkiye ve bazı Avrupa ülkeleri (Portekiz ve İspanya) için kömür ve linyit yakıtlı termik santrallerinde CCS teknolojilerinin mevcut durumu incelenmiş ve genel bir değerlendirme yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: *Karbon yakalama ve depolama teknolojisi (CCS), Kömür yakıtlı termik santraller, Enerji tedariki, Fosil yakıtlar, Küresel ısınma.*

1. INTRODUCTION

The climate change is obvious all over the world that can be attributed to global warming. By the definition of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), climate change is defined as a change in the average values of the climate condition and/or the continuation of this condition for a long period (Fritz, 2011). In accordance with the IPCC 2007, the observed increase in temperature since the mid-20th century is largely due to the increase in human-induced Green House Gas (GHG) concentrations in the atmosphere (Parikh, 2010).

It was thought that the carbon dioxide (CO2) which is the main greenhouse gas (GHG) has around one hundred years presence time in the atmosphere. Approximately 60% of GHG emissions and nearly 80% of CO_2 emissions relate to energy supply and use (Hammond and Spargo, 2014). Nowadays, coal fired power plants, electrical networks and electric power systems show significant improvement. In the last decades, great importance has been given to environmental effects and use of renewable energy resources (Hamburg and Valdma, 2011).

In European countries, %50 of electricity was generated by coal and natural gas, thus, fossil fuels have an important position. Approximately 70% of the CO2 emissions in the European power generation stem from coal and 24% of the CO2 emissions comes from other sectors. (Odenberger and Johnsson, 2009).

In this study, current situation for Spain and Portugal of the carbon capture and storage (CCS) technology which was applied in the world to reduce CO2 emissions in the atmosphere was examined and usability of CCS technologies in Turkey was investigated.

2. CARBON CAPTURE AND STORAGE (CCS) TECHNOLOGY

Carbon capture and storage (CCS) technology is an integrated technology that can capture up to 90% of the CO2 emissions produced from the use of fossil fuels in electricity generation and industrial processes, preventing the CO2 from entering the atmosphere (www.wordcoal.org). Some stages are required to storage the CO_2. These are separation from flue-gas, compression and transportation and illustrated in Figure 1. The elimination process of CO_2 includes the partition of CO_2 from other gases.

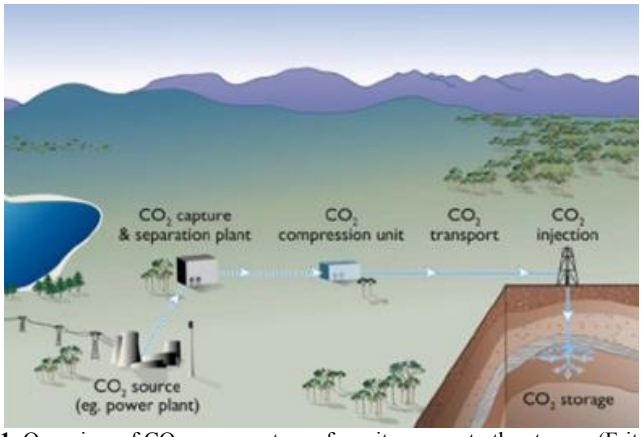


Figure 1. Overview of CO_2 process stages from its source to the storage (Fritz, 2011)

For the transport of carbon dioxide to store it has to be compressed. The reason is that any gas transported close to atmospheric pressure occupies large volumes, which would require very large facilities. Less volume is occupied if it is compressed and the volume can be further reduced by liquefaction, solidification or hydration. Therefore CO_2 can be transported in gaseous, liquid and solid state (Fritz, 2011).

CO_2 capture and storage (CCS) is a 3-step process including CO_2 capture from power plants, industrial sources, and natural gas wells with high CO_2 content; transportation (usually via pipelines) to the storage site; and geological storage in deep saline formations, depleted oil/gas fields, un-mine-able coal seams, and enhanced oil or gas recovery sites. In combustion processes, CO_2 can be captured either in pre-combustion mode (by fossil fuel treatment) or in post-combustion mode (from flue gas or by oxy-fuel).

2.1 CO_2 Capture

Increase in efficiency in coal fired power plants will help lowering CO2 emissions; besides, further stages are necessary in order to make important reductions in CO2 emissions. CCS presents an option for a longer time for achieving reduced CO2 emissions from coal fired power plants. (Parikh 2010). The main carbon capture systems existing are illustrated in the flow diagram below in Figure 2 (Fritz, 2011).

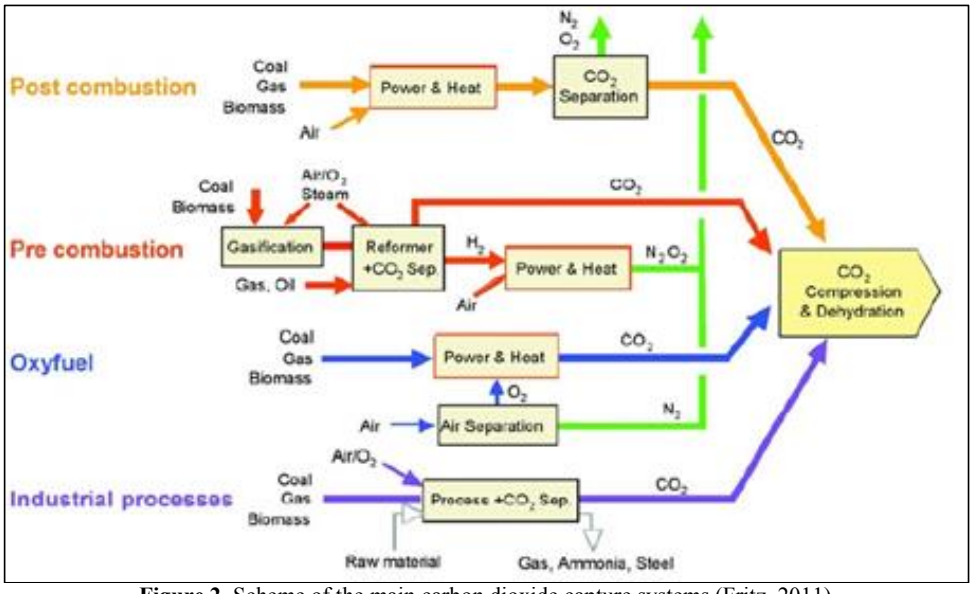


Figure 2. Scheme of the main carbon dioxide capture systems (Fritz, 2011)

The technologies basically involved are pre-combustion capture from the exhaust streams of coal combustion or gasification processes and geologically disposing of it so that it does not enter the atmosphere. Several projects are now continue to offer

this technology ahead in countries such as Australia, Canada, Germany, UK, and USA (Parikh, 2010).

2.2 Carbon Transportation

CO_2 is required to be transported for safe use or storage. Millions of tonnes of CO_2 are already transported annually for commercial purposes by pipelines, ships and road tanker (www.worldcoal.org). Transport is the stage of carbon capture and storage that links sources of captured carbon dioxide and storage sites. Pipeline transport is one of the current application of long-distance movement of large quantities of carbon dioxide. CO_2 can be transported in three forms like, gas, liquid and solid (Parikh, 2010).

For gaseous and liquid carbon dioxide transport, tanks, pipelines and ships were used. The use of ships for transporting CO_2 by sea is today in a primitive stage. All over the world there are only four small ships were used for transporting CO_2. These ships transport liquefied food-grade CO_2 from large point sources of concentrated carbon dioxide such as ammonia plants in northern Europe to coastal distribution terminals in the consuming regions (Parikh, 2010).

2.3 Storage

The carbon storage is the significant element of the CCS technology. In this step CO2 emission to the atmosphere are eventually limited by storing the captured gas in the selected geological site (Parikh, 2010). CO_2 is stored in carefully selected geological rock formations that are typically located several kilometers below the earth's surface. When CO_2 is pumped deep underground, it is compressed by the higher pressures and becomes essentially a liquid. There are a number of different types of geological capturing mechanisms that can be utilized for CO_2 storage (www.worldcoal.org).

3. CURRENT SITUATION OF CCS IN SPAIN, PORTUGAL AND TURKEY

In today's world where oil, gas and coal monopolies are very active, as seen in Figure 3, petroleum is in the first place with a share of 33,1% in primary energy consumption, totaling 13,147 million total energy treatment (TET) in 2015, followed by coal (30.3%) and natural gas (23.7%). Unless radical changes in the policies, high dependence on

fossil fuels, which in total is 86%, will not show any significant reductions in the short and medium-term.

Turkey's energy needs are growing daily due to its growing population and developments in national industry. Coal is Turkey's most important domestic energy resource. According to worldwide statistics, Turkey is ranked at a medium level in terms of reserves and production of lignite and at a low level in terms of hard coal (Figure 4).

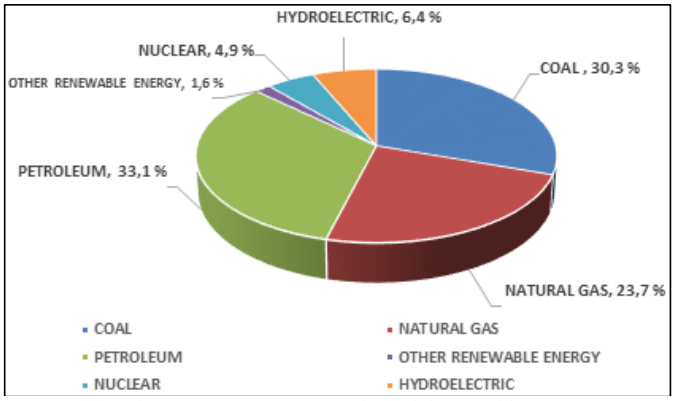


Figure 3. Primary Energy Consumption of the World (MMO, 2017)

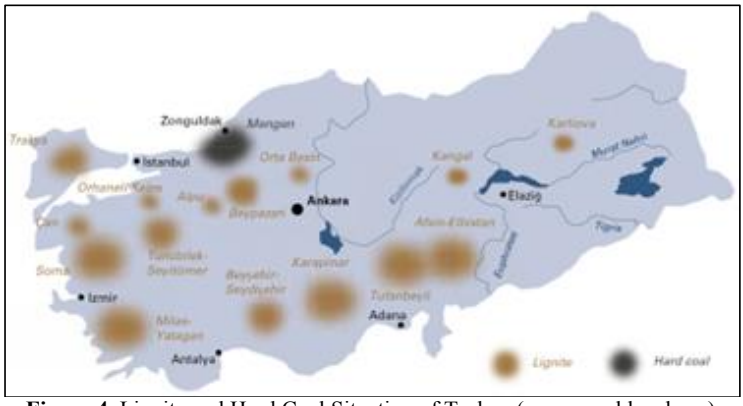


Figure 4. Lignite and Hard Coal Situation of Turkey (www.worldcoal.org)

The only important local energy resource that Spain possesses is coal, totalling 4.5 billion tonnes, including accessible reserves of 1.156 billion tonnes. In 2015, coal met 10.9% of the country's energy demand through a combination of 3 million tonnes of domestic production and 19 million tonnes of imported coal. Petroleum, natural gas

and nuclear are the other principal energy sources, with wind and solar providing 6.2% of total primary energy supply.

Electricity supplied in 2015 came mainly from conventional sources: nuclear power with 57.3 TWh gross (20.4%), followed by hard coal 52.9 TWh (18.9%), natural gas 51.3 TWh (18.3%) and hydro 31.2 TWh (11.1%). Solar and wind have grown strongly since 2000 to 63.2 TWh (22.5%) in 2015, while biomass and waste accounted for the remaining 2.7%.

Spain has one of the most dynamic electricity markets in Europe. There is great competition between coal-fired and natural gas-fired power generation for the market that remains after nuclear, hydro and must-run renewables have supplied. Electricity supplied in 2015 came mainly from conventional sources: nuclear power with 57.3 TWh gross (20.4%), followed by hard coal 52.9 TWh (18.9%), natural gas 51.3 TWh (18.3%) and hydro 31.2 TWh (11.1%). Solar and wind have grown strongly since 2000 to 63.2 TWh (22.5%) in 2015, while biomass and waste accounted for the remaining 2.7%. Lignite and hard coal situation of Spain on the map illustrates in Figure 5.

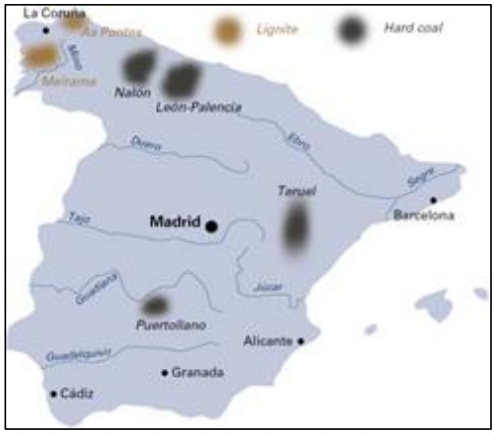


Figure 5. Lignite and Hard Coal Situation of Spain (www.worldcoal.org)

Portugal has restricted local energy resources, cause to be 71.6% energy-import dependence in 2014. Its last coal mine, Germunde in the Castelo de Paiva region, was closed in 1994, leaving behind reserves of 3 million tonnes. The country also has lignite resources of 66 million tonnes.

In 2015, 48.9% of Portugal's electricity production came from renewable energy sources. However, coal-fired power plants remain crucial to cover those periods when

wind and solar power are not available and to balance the annual variations in hydro electricity production on the Iberian Peninsula. Imported coal accounted for 14.7% of total primary energy supply in 2015 with imports of 5.6 million tonnes coming almost entirely from Colombia. Most of this coal was consumed at Portugal's two coal-fired power plants located at Sines (1 256 MW) and Pego (628 MW) (Fritz, 2011).

4. RESULTS AND DISCUSSION

In Spain, the share of the different renewable energy sources on the country´s electricity generation in 2050 is derived from total economic potential of renewable energy sources (RES). In one scenario, the share of renewable energy sources (RES) on electricity production is determined with 60% by 2050 and the remaining 40% are covered by nuclear power plants (10%) and conventional electricity production out of coal- and gas fired power stations, using CCS technologies in even shares of 15%. The second scenario assumes 80% electricity generation out of RES by 2050, 10% out of nuclear power plants and 10% out of CCS based coal- and gas-fired power stations in even shares. Also for Spain the extent to which the economic potential of the RES will be used (Max. use [%]), is in principle limited with 50% and RES which are already today used in a higher extend are only limited by the historical highest value of annual electricity produced by this RES. As the highest economic potential is attributed to CSP (Concentrating Solar Power), the remaining electricity needed to cover 60% (respectively 80%) of the country´s electricity generation by RES will be covered by this electricity generation technology (Fritz, 2011).

Electricity generation by 2050 in Spain is assumed to be around 750 TWh. Therefore around 112.5 TWh have to be produced by gas-fired and coal-fired power stations (225 TWh in total). As for Portugal, also for Spain the specific CO2 emissions (kgCO2/MWh) are assumed to be 930 kg/MWh for coal-fired power stations and 365 kg/MWh for gas-fired power stations (average values in 2009). In Table 1, the carbon dioxide emissions of Spain´s power sector by 2050 in the 60% RES scenario are illustrated. The 60% RES scenario assumes that 30% of national electricity generation is covered in even shares by coal- and gas-fired power stations, each of them contributing with 112.5 TWh on Spain national, annual electricity generation and the remaining 10% by nuclear power stations (75 TWh).

Table 1. Reduction of carbon dioxide emissions by CCS technologies in the 60% RES scenario for Spain

			Specific CO_2 Emissions [kg/kWh]	Emissions without CCS [Mt]	Capture Efficiency	Emissions with CCS [Mt]	Reduction (compared to 1990)
15% Coal CCS	112.5	TWh	0.930	104.6	90%	10.5	
15% Gas CCS	112.5	TWh	0.365	41.1	90%	4.1	
				145.7		14.6	77.3%

In the 60% RES for Portugal's power sector, the carbon dioxide emissions would decrease drastically compared to the linear baseline scenario without CCS. If by 2050, 52 TWh (2x26 TWh) of electricity would be generated by coal- and gas-fired power plants, the annual carbon dioxide emissions would be around 33,7 Mt. Inducing CCS technologies for gas- and coal-fired power stations with a capture efficiency of 90%, results in a reduction of these emissions from 33,7 Mt to 3,4 Mt (Fritz, 2011).

Table 2 illustrates the carbon dioxide emissions of Portugal's power sector by 2050 in the 60% RES scenario. In this scenario the remaining 40% of national electricity generation are covered in even shares by coal- and gas-fired power stations, each of them contributing with 26 TWh on national, annual electricity generation.

Table 2. Reduction of carbon dioxide emissions by CCS technologies in the 60% RES scenario for Portugal

			Specific CO_2 Emissions [kg/kWh]	Emissions without CCS [Mt]	Capture Efficiency	Emissions with CCS [Mt]	Reduction (compared to 1990)
20% Coal CCS	26	TWh	930	24.2	90%	2.4	
20% Gas CCS	26	TWh	365	9.5	90%	0.9	
				33.7		3.4	76 %

At present, global levels of GHG are increasing. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has stated that the greenhouse gas emissions must be reduced by 80 to 95 percent by 2050 (IPCC, 2013) in order to stabilize the climate system until the end of 21 century. In order to achieve such ambitious emission reductions, the EU has defined long term mitigation goals supported by a set of scenarios within Roadmap for moving to a low carbon economy in 2050 and Energy Roadmap. Like other European countries, Spain and Portugal continue to work on these scenarios. In Table 3, the measurements taken and the resulting reduction in CO2 emissions for Portugal's and Spain´s power sector in the different scenarios are summarized.

Table 3. Reduction of carbon dioxide emissions by applying CCS technologies in the different scenarios for Spain and Portugal

Country	Electricity consumption/ generation by 2050	Share of RES [%]	Share of Coal- and Gas-fired PP´s [%]	Specific CO_2 emissions [kg/kWh] (Coal/Gas)	Capture Efficiency	Reduction of CO_2 with CCS [%]
Portugal	130 TWh	60 %	40 %	0,930/0,365	90 %	76
		80 %	20 %	0,930/0,365	90 %	88
	76 TWh	60 %	40 %	0,881/0,365	90 %	86.5
		80 %	20 %	0,881/0,365	90 %	93.2
Spain	750 TWh	60 %	30 %	0,930/0,365	90 %	77.3
		80 %	10 %	0,930/0,365	90 %	92.4
	419 TWh	60 %	30 %	0,881/0,365	90 %	87.8
		80 %	10 %	0,881/0,365	90 %	95.9

It is increasingly recognized that pathways towards a low carbon economy are vital pillars of sustainability and structural competitiveness. Assuming Portugal and Spain aims to be on track toward a low carbon economy, it is crucial to identify the most cost-effective options to reduce national emissions and analyze the role CCS could play in a decarbonized future.

Turkey has been involved in a number of major European initiatives and there is expertise on carbon capture and storage within a number of Turkish organizations. Notable Turkish CCS activities include:

- CGS CO_2 Geological Storage (CGS) EUROPE project: This three-year Co-ordination Action (under the EU 7th Framework programme) ran between 2010 and 2013 and concentrated on the geological storage part of the CCS chain. The overall objective was the establishment of a credible, independent, long-lasting and representative pan-European scientific body of expertise on CO_2 geological storage. There was a strong focus on networking and enhanced co-operation both within European member states and further afield. Twenty four participating organizations active in CO_2 storage matters were involved (Petrov, 2012). Turkey was represented by METU-PAL, the Petroleum Research Center of the Middle East Technical University.
- CCS EII Implementation Plan, 2010-2015: Turkey is an active member of the European Industrial Initiative (EII) on CO_2 Capture and Storage (CCS) Implementation Plan, 2013-2015. This is aimed at supporting the EU CCS demonstration programme.

- Strategic Energy Technology (SET) Plan: The SET-Plan officially started in 2010 and aims to build a platform of co-operation across Europe to promote collaboration between technology developers and the public sector on the European scale. This should produce important economies of scale, a reduction in the duplication of effort and a leveraging of RD&D investments in the private sector. It is governed by the SET-Plan Steering Group comprising representatives from the EU member states, chaired by the European Commission. Turkey participates as an observer.

5. CONCLUSION

Turkish energy policies and strategies are driven by increasing energy demand and dependency on importing energy resources and technologies. Turkey has considerable low-quality lignite reserves. Continuing to use lignite will require clean coal technologies to comply with environmental regulations and climate change commitments.

The concept of "clean coal technologies" generally points to a definition that covers both the productivity and environmental aspects of coal production, preparation and use. The mentioned technologies; Aims to increase emissions from one side and reduce energy consumption from the other side of unit coal. On a global basis, the coal industry's main focuses in recent years are: Increasing the efficiency of coal-based thermal power plants and reducing CO_2 emissions from these plants.

In this framework, especially those adopted by industrialized Western countries General road map; Firstly the use of the latest technologies in existing or new coal plants to be established, then further development in thermal power plant technologies and finally commercialization of CCS technologies.

The future of coal in Turkey will be driven by the domestic use of lignite. The Turkish government aims to continue to use lignite for power generation. This is evident in its commitment to further exploration, investment incentives, improving environmental regulations, and supporting research into more efficient use of lignite. In line with those goals, development and deployment of more efficient coal-fired power plants, and research on gasification and CCS, will continue to be pursued by the country.

REFERENCES

Dietrich, A. 2013. Steps and challenges faced during development of coal/lignite-fired power plant projects in Turkey. 19th International Energy & Environment Fair and Conference, Istanbul, Turkey, 30 pp.

Fritz, L. 2011. Carbon capture and storage in the power sector of Portugal and Spain. Master Thesis, University of Lisbon, Portugal, 107 pages.

Hammond, P, G., Spargo, J. 2014. The prospects for coal-fired power plants with carbon capture and storage: A UK perspective. Energy Conversion and Management, 86: 476-489.

Hamburg, A., Valdma, M. 2011. Energy supply problems and prospects. Oil Shale, 28: 89–100.

Makina Mühendisleri Odası, MMO. 2017. Türkiye'de termik santraller. Yayın No: MMO/668
Mills, S. 2014. Prospects for coal and clean coal technologies in Turkey. IEA Clean Coal Centre, ISBN: 978-92-9029-560-0.

Odenberger, M., Johnsson, F. 2009. The role of CCS in the European electricity supply system. Energy Procedia 1: 4273–4280.

Parikh, J. 2010. Analysis of carbon capture and storage (CCS) technology in the context of Indian power sector. Project Completion Report Technology Systems Development (TSD) Programme of DST.

Petrov, P. 2012. EC support to carbon capture and storage. Research perspective. CO_2 capture and storage. Regional Awareness-Raising Workshop, Ankara, Turkey, 13-14 June 2012, 19 pp.

Seixas, J. 2015. CO_2 capture and storage in Portugal- A bridge to a low carbon economy. ISBN: 978-972-8893-36-1.

https://www.worldcoal.org/reducing-CO_2-emissions/carbon-capture-use-storage

KROMİT ZENGİNLEŞTİRME TESİSİ ARTIKLARININ GERİ KAZANIMI ÜZERİNE DENEYSEL BİR ÇALIŞMA: ADANA-ALADAĞ ÖRNEĞİ

AN EXPERIMENTAL STUDY ON RECOVERY OF CHROMITE BENEFICIATION PLANT TAILINGS: ADANA – ALADAĞ EXAMPLE

Cemaliye ŞEFLEK[1]*, Soner TOP[2], Ganiye Dilan ERYILMAZ[3]

1: Çukurova Üniversitesi, Aladağ Meslek Yüksekoklu, Adana, TÜRKİYE

2: Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, TÜRKİYE

3: Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Mersin, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: cergin@cu.edu.tr

ÖZET: Akmetal Madencilik'e ait Kumbükü-1 Tesisi 2009 yılından, Kumbükü-2 Tesisi ise 2011 yılından itibaren sallantılı masa yöntemiyle krom zenginleştirilmesi faaliyetlerini gerçekleştirmektedir. Ülkemizdeki önemli krom üreticilerinden bir tanesi olan Akmetal Madencilik sadece Kumbükü-1 ve 2 tesislerinden günlük olarak yaklaşık 400 ton krom konsantresi (%40-42 Cr_2O_3) üretimi gerçekleştirmektedir. Zenginleştirme işlemleri sonucunda, ortalama %3,16 Cr_2O_3 içerikli yaklaşık 10 milyon ton artık ortaya çıkmıştır. Bu 2 tesisin artıkları tesislerin yakınlarında olan bir vadiye yaklaşık 150 metre yüksekliğinde 50 dönümlük tek bir stok alanında depolanmıştır. Artıklardan dolayı, bölgede kayda değer bir kimyasal risk bulunmamaktadır. Fakat artık miktarını her geçen gün artmasıyla birlikte artık alanı görsel ve fiziksel bir kirlilik yaratmaktadır. Bu çalışma, yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma ile bu artıkların Cr_2O_3 içeriğini %1,5 altına indirmeyi amaçlamaktadır. L4-20 WHIMS Eriez marka yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı deneylerde kullanılmıştır. Ayrıca sülfürik asit ile liç deneyi de optimum koşullarda manyetik ayırma sonucu elde edilen manyetik olmayan numuneye uygulanarak daha yüksek giderimin sağlanması hedeflenmiştir. Sonuçta, kromun önemli bir kısmının ekonomiye geri kazandırılabileceği, Cr_2O_3 içeriği %0,7 altına inen artığın ise farklı sektörler için alternatif bir hammadde olup olabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geri kazanım, Kromit, Liç, Manyetik ayırma

ABSTRACT: *Kumbükü-1 and Kumbükü-2 plants have been beneficiating the chromite ores by shaking tables since 2009 and 2011, respectively. Chromite concentrate production with about 40-42% grades is carried out in these two plants whose production quantities are 400 tons/day by Akmetal Company which is the one of the most important chromite producer in Turkey. As a result of the chromite concentrating operation, 10 millions of tons of tailings that have approximately 3.16% Cr_2O_3 grade are accumulated to the valley which has 50-acre storage area, about 150 meters high. There is no significant chemical risk in the area due to the tailings. But, as the amount of tailings increases day by day, the area now creates visual and physical pollution. This research aims to reduce the grade of the tailings below 1.5% Cr_2O_3 by high intensity wet magnetic separation. L4-20 WHIMS Eriez magnetic separator was used in the tests. Besides, obtaining the high removal ratios was aimed by sulphuric acid leaching applied to the tailings obtained from the optimal magnetic separation test. Finally, while some of the chrome has been recovered in the economy, it has been discussed that chromite tailings that is lowered to 0.7% Cr_2O_3, could be used as an alternative raw material for different industries or not.*

Keywords: *Recovery, Chromite, Leaching, Magnetic separation*

1. GİRİŞ

Madencilik, ilk çağlardan bu yana insanoğlunun gelişmesi ve sanayileşmesinde doğrudan veya dolaylı olarak önemli rol oynamıştır. Sanayi devrimiyle birlikte devletler maden-sanayi gelişiminin gerisinde kalmamak ve gücünü artırmak için yeni madenler bulup işlemişlerdir. Yeni madenlerin bulunmasıyla ile insanlar yaşamlarının her noktasında kullanabilecekleri yeni aletler geliştirilmiş ve hayatlarını kolaylaştırmışlardır (Daş vd., 2012).

Günümüzde, paslanmaz çelik üretimi için vazgeçilmez bir hammadde olan krom, metalik cevherler arasında en çok kullanılanlardan bir tanesidir. Krom içeren 25 dolaylarında farklı mineral olmasına rağmen ekonomik olarak sadece kromit minerali işletilebilmektedir. Doğada var olan kromitlerin formülü $(Mg,Fe)(Cr,Al, Fe)_2O_4$ olarak ifade edilmekle birlikte teorik olarak formülü $FeCr_2O_4$ tür (Hacıoğlu, 2010; Daş vd., 2012). Dünyadaki krom üretimi genel olarak, Güney Afrika, Kazakistan, Hindistan ve Türkiye'den sağlanmaktadır. Türkiye krom bakımından zengin ve önemli bir yere sahip

ülkeler arasındadır (Daş vd., 2012). Kromit, rezervlerinin coğrafi bakımdan kısıtlı olmasından dolayı birçok ülke tarafından jeopolitik önemi olan metalik madenler arasındadır.

Tenörü yüksek olan kromit cevherleri silikat içerikli gang minerallerden genellikle elle ayıklama, elekten geçirme ve yıkama yöntemleriyle zenginleştirilebilmektedir. Düşük tenörlü kromit cevherlerinde ise silikat içerikli gang minerallerin (olivin, piroksen ve serpantin) kromit minerali ile arasındaki yoğunluk farkı sebebiyle en yaygın olarak kullanılan zenginleştirme yöntemi sallantılı masalardır. Bu yöntem haricinde, kromitin zenginleştirme yöntemleri arasında, jigler, manyetik ayırıcılar, elektrostatik ayırıcılar, Reichert konisi, spiraller, daralan oluk, MGS, Mozley masası, ağır ortam siklonu, akışkan yatak sistemleri, optik zenginleştirme ve flotasyon yöntemleri bulunmaktadır (DPT, 2001; Hacıoğlu, 2010).

Literatürde kromit artıklarından en basit şekilde kazanılabilecek içerik olan kromitin tekrar kazanımına yönelik çalışmalar ön plandadır. Yüksek özgül ağırlığından ötürü kromitin daha çok sallantılı masa, jig, Humprey Spirali, MGS gibi gravite yöntemleriyle ayrımı üzerinde durulmuştur (Özkan ve İpekoğlu, 2001; Çiçek ve Cöcen, 2002; Ağaçayak vd., 2007). Ancak tane boyutu küçüldükçe ayrımın (verimin) azalması tüm cevher zenginleştirme yöntemlerinde olduğu gibi kromit kazanılmasında da önemli bir gerçektir. Manyetik ayırma, flotasyon ve siklon yöntemleri ile ince boyuttaki artıklardan kromit kazanımı son yıllarda önem kazanmıştır (Güney vd., 1999; Feng ve Aldrich, 2004; Gallios vd., 2007; Tripathy vd., 2013; 2017). Kromit madeninin kalitesini ve sanayideki kullanım alanının belirlenmesinde kimyasal yapısına bağlı olarak, SiO_2, Cr_2O_3, Al_2O_3 (%) miktarları ve Cr/Fe oranı etkili olmaktadır (Hacıoğlu, 2010). Bu özelliklere göre kullanım alanları Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Türkiye'de üretilen kromların kullanım alanları ve özellikleri (DPT, 2001; Daş vd., 2012)

Cevher çeşitleri	Cr_2O_3 (%)	Cr/Fe	Boyut, mm
Metalurjik parça	34-40	(en az) 2,5/1	0-300
Metalurjik parça	40 veya üstü	(en az) 2/1	0-300
Metalurjik konsantre	46-48	(en az) 2,6/1	0-2
Metalurjik jig ürünü	36 ve üstü	(en az) 2,5/1	0-25
Metalurjik konsantre	40 ve üstü	(en az) 1,5/1	0-2
Refrakter parça	%48 Cr_2O_3 (en az), %4 SiO_2 (en çok)		
Refrakter parça	Cr_2O_3+ Al_2O_3=%60 (en az), %4 SiO_2 (en çok)		
Refrakter konsantre	%50 Cr_2O_3 (en az), %2 SiO_2 (en çok)		
Döküm kumu	%44 Cr_2O_3 (en az), %4 SiO_2 (en çok) %26 Fe_2O_3 (en çok), %0,5 CaO (en çok)		

Günümüzde kromun %79'u, paslanmaz çelik üretiminin gerçekleştirildiği metalürji sanayiinde kullanılmaktadır. Çelik üretimine katılan krom sertliği, sağlamlığı, kimyasal bozunma ve aşınmaya karşı dayanıklılığı artırmaktadır. Böylece, ısıya ve paslanmaya dayanıklı çelik üretimi gerçekleştirilmektedir. Metalurji sanayiinde genellikle krom; ferrokrom (krom demir alaşımı) şeklinde kullanılmaktadır. Paslanmaz çeliklerde krom içeriği %12 ile 40 arasında değişmektedir (Daş vd., 2012).

Kromitin %8'i refrakter malzeme sanayiinde kullanılmaktadır (Daş vd., 2012). Refrakter sanayiinde kullanılmakta olan krom cevherleri (krom döküm kumu), en az %44 Cr_2O_3, en fazla toplam demir içeriği (Fe_2O_3) %26, SiO_2 ve CaO içeriğinin ise sırasıyla en çok %4 ve %0,5 olması gereklidir. Ayrıca fiziksel özellikleri bakımından köşeli olmayan homojen tane boyutlu olması gerekir (DPT 2001).

Ticarette başarılı olabilmek ve rekabet edebilmek için, ürünlerin ucuza imal edilip, ucuza satılması önemlidir (Hacıoğlu, 2010). Günümüzde, nüfusun artmasına da bağlı olarak sanayideki gelişmeler hız kazanmıştır ve endüstrinin ihtiyacı olan hammadde ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Doğal kaynakların sınırlı sayıda olması dikkate alındığında, atıkların alternatif hammadde olarak değerlendirilmesi güncel bir konu haline gelmiştir. Doğal hammaddelerin üretimi sonucu ortaya çıkan atıklar, hammadde kaybı olmalarının yanı sıra, bunların nakledilmesi, uygun şekilde depolaması ve çevre problemi yaratmamaları için yapılan tüm bertaraf işlemleri de dikkate alındığında ciddi maliyetlere sebep olmaktadırlar (Mirdalı ve İşler, 2008). Bunlardan bir tanesi de krom zenginleştirme tesisi artıklarıdır.

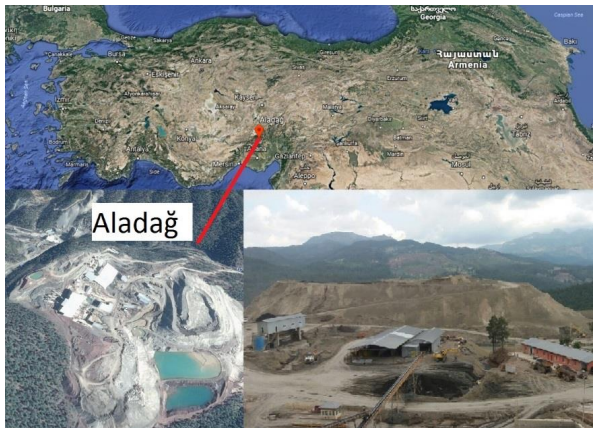
Kromit zenginleştirme tesislerinin artıklarındaki değerli içeriklerin kazanılması da pek çok araştırmaya konu olmuştur. Özellikle platin grubu metaller (PGM) bakımından zengin olan lateritik cevherleşmeler olduğundan bu artıkların potansiyeli yüksektir. Güney Afrika'daki Bushveld Kompleksi'nde, kromit kazanımı sonucu ortaya çıkan artıkların PGM bakımından zengin olduğu belirtilmekte ve artıklardan değerli içeriklerin kazanılmasında ön zenginleştirme olarak flotasyon işlemi önerilmektedir (Gruenewaldt ve Hatton, 1987). Flotasyon işlemine ek olarak gerçekleştirilen çoklu kuru manyetik ayırma işlemleri ile 0-5 g/ton arasında değişen PGM oranları 40 g/ton civarlarına yükseltilebilmektedir (Rabatho vd., 2010). Günümüzde PGM üretimi büyük ölçekte Güney Afrika'daki zengin PGM yataklarından ve kromit konsantrasyon tesisi artıklarından sağlanmaktadır. Bushveld Kuşağı'nda kromit artıklarını işleyen PGM

tesisleri fazlaca bulunmaktadır (Miningreview.com, 2008; jubileeplatinum.com, 2017). PGM üretiminde Güney Afrika'yı Rusya ve Kanada takip etmektedir (Mpinga vd., 2015) Türk kromitlerinin PGM potansiyelinin düşük olduğu belirtilmesine karşın, Kahramanmaraş ve Kop Bölgesi kromit yataklarındaki PGM oranlarının gelecekte bu yataklardan PGM üretimi adına önemli bir gösterge olduğu belirtilmektedir. Rh-Pt-Pd'dan çok Ru-Os-Ir elementlerini ihtiva etmesi Türkiye kromit yataklarını diğer PGM bakımından zengin kromit yataklarından ayırmaktadır (Uysal vd., 2007; 2016). Genellikle kromit konsantrasyon tesisi artıkları nikel ve kobalt gibi değerli metaller bakımından da oldukça zengindir. Bu metallerin kromit zenginleştirme tesisi artıklarından liç yöntemi ile kazanımına yönelik çalışmalar da bulunmaktadır (Behera vd., 2012; Biswas vd., 2013).

Bu çalışmada Adana ilinin Aladağ ilçesinde bulunan Türkiye'nin önemli krom üreticilerinden biri olan Akmetal Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş'ye ait Kumbükü-1 ve 2 tesislerinde zenginleştirme sonucu ortaya çıkan krom artıkları (ortalama Cr_2O_3 içeriği %3,16) kullanılmıştır. Yaklaşık 10 milyon ton olan artığın ekonomiye geri kazandırılması ve Cr_2O_3 içeriğinin %1,5 altına indirilerek artığın farklı sektörler için alternatif bir hammadde olup olamayacağı araştırılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Deneysel çalışmalarda kullanılan temsili numuneler Adana ilinin Aladağ ilçesinde faaliyet gösteren Akmetal Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş'ye ait Kumbükü-1 ve 2 tesislerinde zenginleştirme sonucu ortaya çıkan krom artık stok sahasından temin edilmiştir. Günlük olarak Kumbükü-1 ve 2 tesislerinden toplamda yaklaşık 400 ton %40-46 Cr_2O_3 'lük krom konsantresi üretimi sallantılı masa yöntemi ile elde edilmektedir. Zenginleştirme işlemleri sonucunda, ortalama %3,16 Cr_2O_3 içerikli yaklaşık 10 milyon ton artık ortaya çıkmıştır. Bu 2 tesisin artıkları tesislerin yakınlarında olan bir vadiye yaklaşık 150 metre yüksekliğinde 50 dönümlük tek bir stok alanında depolanmıştır. Şekil 1'de, çalışma bölgesine ait yer bulduru haritası ve krom artık sahasının bugünkü durumu verilmektedir. Alınan temsili numuneler; karakterizasyon ve ufalama testleri için Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Laboratuvarı'na getirilmiştir.



Şekil 1. Tesis Yer bulduru haritası ve Akmetal Madenciliğe ait artık sahasının görüntüsü

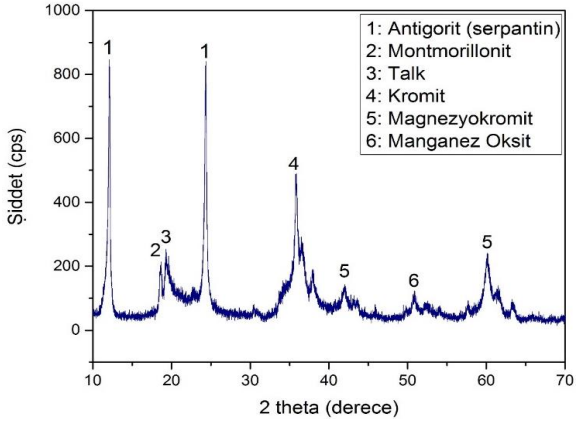
2.1 Numunenin Kimyasal Analizi

Artığın kimyasal analizi Panalytical B.V. MiniPal X-ray spectrometer model (PW 4030) X-Işınım Floerasans (XRF) cihazı ile yapılmıştır. Kimyasal analiz neticesinde temsili krom artığının %37,60 MgO, %44,50 SiO_2, %0,57 CaO, %3,16 Cr_2O_3, %0,24 MnO, %12,80 Fe_2O_3, %0,07 Al_2O_3, %0,74 NiO ve %0,03 PbO içerdiği tespit edilmiştir.

Numunenin nemi %2,58 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, kızdırma kaybı %15,01 olarak belirlenmiştir. Krom numunesinin kızdırma kaybının %15'in üzerinde olması, Bron vd. (1967) tarafından yapılan serpantin gruplamasına göre numunenin serpantinleşme derecesinin yüksek olduğunu göstermektedir (Bron vd., 1967; Top ve Yıldırım, 2015).

2.2 Numunenin Mineralojik Analizi

X-ışını toz kırınım deseni analizi (XRD) numunenin kristal yapısı ve faz kompozisyonunu belirlemek için yapılmıştır. XRD paterni Rigaku Miniflex marka XRD cihazı kullanılarak Cu α (λ = 1,54 Å), 10-70 derece arasında Çukurova Üniversitesi Laboratuvarlarında analiz edilmiştir. Elde edilen X-ışın difraktogramları PDXL veritabanına göre yorumlanmıştır. Artık numunenin XRD analiz sonucu Şekil 2'de verilmiştir. Alınan temsili artık numunesi üzerinde yapılan mineralojik analizde XRD sonuçlarına göre genel olarak Antigorit (serpantin) ($(Mg,Fe)_3Si_2O_5(OH)_4$), Montmorillonit ($(Na,Ca)_{0,3}(Al,Mg_2Si_4O_{10}(OH)_2.n(H_2O)$), Talk ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$), Kromit ($FeCr_2O_4$), Magnezyokromit ($MgCr_2O_4$) ve Manganez oksit ($(MnO_2$) tespit edilmiştir.



Şekil 2. Temsili Artık Numunesinin XRD Analiz Sonucu

2.3 Tane Boyut Dağılımı ve Öğütme Deneyleri

Temsili artık numunesi kullanılarak yaş elek analizi yapılmış ve numunenin tane boyutu dağılımı belirlenerek, kümülatif elek altı grafikleri oluşturulmuş, malzemelerin yüzde 80 oranında geçtiği tane boyutları (d_{80}) belirlenmiştir. Ayrıca her bir tane boyutu Carl Zeiss marka stero mikroskop kullanılarak incelenmiş ve serbestleşmenin gerçekleştiği tane boyutu belirlenmiştir.

Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcının farklı tane boylarına etkisini belirleyebilmek için, öğütme deneyleri 500 g numune ile öğütücü ortam olarak çelik bilya (yaklaşık 11 kg) kullanılarak 72 dev/dk dönüş hızında (kritik hızın %70'i) laboratuvar ölçekli değirmende kuru olarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 15 ve 30 dk olmak üzere 2 farklı öğütme süresi kullanılmıştır. Elde edilen verilerden yola çıkılarak öğütme süresinin tane boyutu değişimine olan etkisi kümülatif elek altı eğrileri çizilerek; öğütme öncesi ve sonrası d_{80} değerleri karşılaştırılarak belirlenmiştir. Ayrıca öğütme öncesi ve sonrasındaki tüm numunelerin d_{80} değerleri ve serbestleşmelerinin gerçekleştiği tane boyutları stero mikroskopta incelenmiştir.

2.4 Yaş Manyetik Ayırma Deneyleri

Boyut küçültme işleminin ardından numuneler L4-20 WHIMS Eriez marka yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı kullanılarak manyetik ayırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Öğütme işlemine maruz kalmamış krom artık numunesi ile öğütme uygulanmış (15 ve 30 dk) numuneler ayrı ayrı %20 katı oranı, 150 dev/dk karıştırma hızı koşullarında 2 dakika karıştırma süresi tamamlandıktan sonra yaş manyetik ayırıcıya beslenmiştir. Her

bir deney sonucunda manyetik olan ve olmayan olarak 2 farklı ürün elde edilmiştir. 3 set halinde gerçekleştirilen deneylerde her bir set için 5 farklı manyetik alan şiddetinde (5.000, 7.500, 10.000, 12.500 ve 15.000 gauss) manyetik ayrım sağlanmıştır. Her bir deneyde 50 gram numune kullanılmıştır. Deneyler sonucunda manyetik olan ve olmayan kısımlar ayrı ayrı biriktirilerek, yaş krom analizi yapılmış ve en iyi kromit ayrım verimi gözlenerek, optimum deney koşulları belirlenmiştir.

2.5 Liç Deneyi

Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı ile optimum koşullarda elde edilen ve krom, demir ve mangan içeriği en aza indirilen numunenin, manyetik olmayan kısmı liç deneyi için biriktirilmiştir. Manyetik olmayan numuneye uygulanan sülfürik asit liçi deneyi koşulları: %30 katı oranı, 300 dev/dk karıştırma hızı, 15 dk. liç süresi, 80-85 ^{o}C liç çözeltisinin sıcaklığı şeklindedir. 7M sülfürik asit (H_2SO_4) liç çözeltisi olarak kullanılmıştır. Liç deneyi sonrasında çözelti filtre edilerek, çözünmeyen ve büyük bir çoğunluğu amorf kuvarstan oluşan katı malzeme elde edilmiştir. Liç deneyi öncesi ve sonrasında numunelerin X-Işınım Floerasans (XRF) cihazı ile kimyasal analizi yapılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır. Kuvars içeriği yükseltilen, demir ve krom miktarı düşürülen numunenin alternatif bir çelik döküm kumu hammaddesi olarak kullanılıp kullanılamayacağı, 1 kg numune hazırlanarak Özgümüş Döküm Sanayi A.Ş. firması laboratuvarlarında denenmiştir.

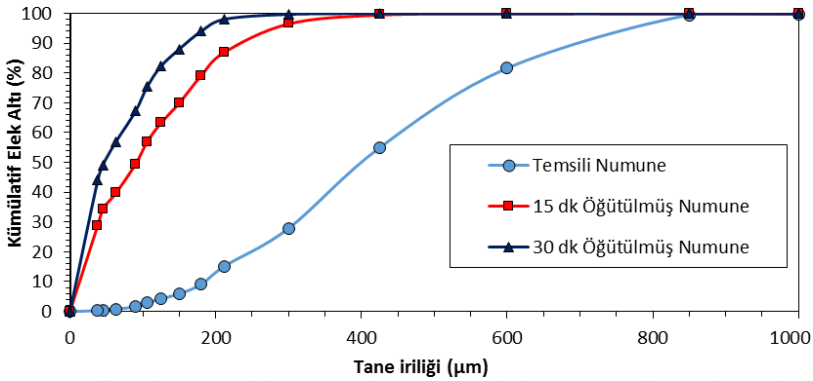
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Tane Boyut Dağılımı ve Öğütme Deneyi Sonuçları

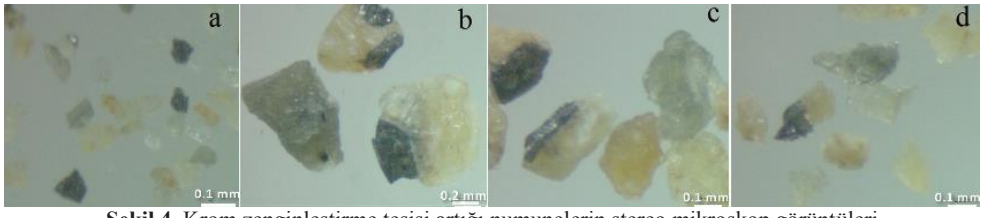
Öğütülmemiş temsili krom artığı ile 15 ve 30 dk öğütme deneyi yapılan numunelerin, yaş elek analizi sonrası elde edilen tane boyut dağılımları Şekil 3'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, kümülatif elek altı değerleri incelendiğinde, temsili numune için d_{80} değerinin 588 µm olduğu belirlenmiştir. 15 ve 30 dk öğütülmüş numunelerinin d_{80} değerleri ise sırasıyla yaklaşık 183 ve 118 µm olarak belirlenmiştir.

Elek analizi sonucu tane boyut dağılımları belirlenen numuneler, stereo mikroskop ile incelenmiş ve %100 serbestleşmenin olduğu tane boyutu 63 µm altı olarak tespit edilmiştir. Şekil 4'de serbestleşmenin olduğu krom tanelerinin stereo mikroskoptan çekilmiş fotoğrafları verilmektedir. Şekil 4a'da serbestleşmenin olduğu

63 µm altında olan numune görüntüsü ve Şekil 4b'de öğütülmemiş numunenin d80 değer aralığını içeren -600 +425 mm aralığındaki numunenin görüntüsü verilmektedir. Şekil 4c'de 15 dk öğütülmüş numunenin d80 değer aralığını içeren -212 +180 mm aralığındaki numunenin görüntüsü ve Şekil 4d'de 30 dk öğütülmüş numunenin d80 değer aralığını içeren -125 +106 mm aralığındaki numunenin görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 3. Temsili artık numunesinin ve öğütülmüş numunelerin (15 ve 30 dk) tane boyut dağılımı



Şekil 4. Krom zenginleştirme tesisi artığı numunelerin stereo mikroskop görüntüleri

Ayrıca numunelerin yüzde seksenin geçtiği tane boyutunu temsil eden krom artık tanelerinin (temsili numune, 15 ve 30 dk öğütmeye maruz kalmış) stereo mikroskoptan çekilmiş fotoğrafı gösterilmektedir. 30 dk öğütülmüş numunenin d_{80} değeri (118 µm) serbestleşme değerine (63 µm) 15 dk öğütülmüş ve öğütülmemiş numunelere göre daha yakın olduğundan diğerlerinden daha fazla serbest krom tanesi içerdiği sonucuna kanaat getirilmiştir.

3.2 Yaş Manyetik Ayırma Deneyi Sonuçları

Yaş manyetik ayırma deneyi sonuçlarının yaş krom analizi yapılarak, Manyetik olmayan kısmın kromit giderim verimi aşağıdaki Eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır.

$$\%V = \frac{\text{Manyetik olmayan fraksiyonun kromit içeriği}}{\text{Toplam kromit içeriği}} x100 \quad (1)$$

Manyetik olmayan kromit içeriği= Manyetik olmayan fraksiyonun tenörü ile aynı fraksiyonun yüzde ağırlık çarpımı.

Toplam kromit içeriği= Her bir deneyde kullanılan numunenin tenörünün 100 ile çarpımı.

Yaş manyetik ayırma deneyinde manyetik alan şiddeti ve öğütme süresinin, manyetik olan ve olmayan fraksiyonlara olan etkisi Çizelge 2'de verilmektedir. Ayrıca, manyetik olmayan kısmın kromit giderim verimi hesaplanarak, çizelgeye eklenmiştir. Çizelge 2'de görüldüğü gibi en iyi sonuç 93,62 kromit giderimi ile öğütülme yapılmamış numunenin 12.500 gauss manyetik alan şiddeti ile elde edilmiş gibi görülse de, manyetik olmayan kısımda biriken malzeme miktarı diğer sonuçlara göre az olduğundan (ağırlıkça %17,99) bu sonuç en iyi sonuç olarak değerlendirilememiştir.

Çizelge 2. Yaş manyetik ayırma deneyi sonuçları

Manyetik Alan Şiddeti (Gauss)	Öğütme süresi (dk)	Manyetik Olan (Konsantre, %)		Manyetik olmayan (Artık, %)		Manyetik olmayan kısmın kromit giderim verimi (%)
		Ağırlık	Cr_2O_3	Ağırlık	Cr_2O_3	
5.000	0 dk	44,47	4,68	55,53	1,94	65,91
	15 dk	29,67	7,40	70,33	1,37	69,51
	30 dk	29,91	7,17	70,09	1,45	67,84
7.500	0 dk	68,36	3,85	31,64	1,68	83,18
	15 dk	38,68	6,35	61,32	1,15	77,69
	30 dk	35,05	6,83	64,95	1,18	75,75
10.000	0 dk	69,20	3,84	30,80	1,63	84,11
	15 dk	47,81	5,59	52,19	0,93	84,64
	30 dk	43,33	5,96	56,67	1,02	81,71
12.500	0 dk	82,01	3,61	17,99	1,12	93,62
	15 dk	51,60	5,56	54,07	0,60	89,73
	30 dk	45,93	5,87	48,40	0,86	86,83
15.000	0 dk	77,95	3,62	22,05	1,54	89,25
	15 dk	54,13	5,25	45,87	0,69	89,98
	30 dk	47,06	5,85	52,94	0,77	87,10

En iyi sonuç seçiminde, manyetik olan kısmın tenörü olabildiğince yüksek ve manyetik olmayan artık kısmın tenörü ise olabildiğince düşük olması göz önüne alınmıştır. 30 dk öğütme yapıldıktan sonra 15.000 gauss manyetik alan şiddetinde ayrım yapılan ve manyetik olmayan kısmın kromit giderim verimi %87,10 olarak hesaplanan deney optimum deney olarak seçilmiştir. Bu deney sonucunda, manyetik kısımda (konsantre) ağırlıkça %47,06 ve %5,85 Cr2O3 içeriğine sahip malzeme biriktirilirken, manyetik olmayan kısmında biriktirilen artığın tenörünün %0,77 Cr2O3'e düşürüldüğü görülmektedir.

3.3 Liç Deneyi Sonuçları

Krom artık numunesi 30 dk öğütüldükten sonra yaş manyetik ayırıcıdan (15.000 gauss) geçirilmiş ve krom içeriği yaklaşık %0,7 altına indirilen artık malzemenin, manyetik olmayan kısmı sülfürik asit ile liç edilmiştir. Liç deneyi öncesi ve sonrasında temsili numunelerin kimyasal içeriği XRF analizleri ile belirlenmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Artık numunesinin liç öncesi ve sonrası kimyasal içeriği (XRF) sonucu

Besleme İçeriği	Liç Öncesi (%)	Liç Sonrası (%)
MgO	36,651	15,662
Al_2O_3	0,436	1,173
SiO_2	34,639	73,724
SO_3	0,101	0,675
Cl	0,073	0,056
K_2O	0,021	0,392
CaO	0,807	0,511
Cr_2O_3	0,77	0,735
MnO	0,131	0,038
Fe_2O_3	9,500	2,731
Co_2O_3	0,020	-
NiO	0,643	0,140
ZnO	0,013	0,008
Kızdırma Kaybı	15,7	4,0

XRF sonucuna göre, liç sonrası, krom içeriği yaklaşık %0,73 Cr_2O_3'e indirilerek, SiO_2 oranı da yaklaşık %73'e yükseltilen numunenin döküm kumu katkı hammaddesi olup olmayacağı araştırılmıştır. Yaklaşık olarak 1 kg numune hazırlanarak, Özgümüş Döküm Sanayi A.Ş. firmasının laboratuvarlarında çeşitli kalıp döküm kumu deneme çalışmaları yapılmıştır. Deneyler sonucunda tane boyutunun döküm kumları için olması gerekenden daha ince olması nedeniyle, döküm sırasında, gaz geçirgenliği kum içerisinde yeterince sağlanamamıştır. Literatürde Demir Çelik Sanayi Ereğli döküm kumu kimyasal içeriği en az %70 SiO_2, en çok %16-36 Al_2O_3 + Fe_2O_3, en çok %3 GaO + MgO, en çok %2 Na_2O + K_2O ve ateş kaybı en çok %6 oluğu belirtilmiştir (Alp, 1979). Liç sonrası verilere bakıldığında MgO değeri hariç (liç süresi uzatılarak MgO değeri düşürülebileceği tahmin edilmektedir) uygun değerler elde edilmiş olmasına rağmen, demir çelik sanayi döküm kumunda kullanılan malzemenin tane boyutuna (0,84-0,105 mm aralığı en az %83) uygun olmadığı belirlenmiştir. Tane boyutu 0,84-0,105 mm aralığında yaklaşık %33 olan numunenin döküm kumu olarak kullanılması sırasında, gaz geçirgenliği numune içerisinde yeterince sağlanamadığından bu sektörde kullanılmasının uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Manyetik ayırma

işlemi sonrasında manyetik olan ve krom içeriği yükseltilen numune (%5,85 Cr_2O_3) ise, tesise tekrar beslenerek veya tesiste paçal yapılarak ekonomiye kazandırılması muhtemeldir.

Liç deneyleri sonrası krom içeriği yaklaşık %0,7'ye indirilen nihai artığın inşaat sektöründe ve yol yapımında zemin dolgu malzemesi olarak değerlendirilebileceği bilinmektedir (Yüce vd., 2005; Mirdalı ve İşler, 2008). Ayrıca, liç çözeltisinden magnezyum dışındaki safsızlıklar pH ayarlamasıyla çöktürülüp uzaklaştırılarak; magnezyum kaynağı olan ve magnezyum metalinin ergimiş tuz elektrolizi yöntemleriyle üretilebildiği sentetik epsomit, karnalit gibi minerallerin sentezlenebileceği yapılan daha önceki deneysel çalışmalarla kanıtlanmıştır (Top ve Yıldırım, 2015; 2017). Bunların yanı sıra, krom artıklarının duvar karosu sırlarında renklendirici olarak ve inşaat tuğlası imalatında kullanılabileceği üzerine başarılı deneysel çalışmalar mevcuttur (Bayat ve Vapur, 2005; Mirdalı ve İşler, 2008).

4. SONUÇLAR

Bu çalışma ile Akmetal Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş'ye ait ciddi bir kimyasal risk taşımayan yaklaşık 10 milyon ton olan artığın, 30 dk öğütme ve 15.000 gauss yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcıdan geçirildikten sonra, ağırlıkça yaklaşık %47 numune ekonomiye kazandırılmak üzere tesise geri verilebilecek krom tenörüne (%5,85 Cr_2O_3) yükseltilmiştir. Ayrıca, manyetik olmayan kısmın sülfürik asit liçi ile, krom içeriği %0,7 altına indirilmiş, SiO_2 oranı %73'e yükseltilerek, metal sanayinde kalıp kumuna katkı maddesi olarak kullanılabilecek kimyasal içeriklere ulaştırılmıştır. Fakat numune tane boyutunun uygun olmadığı saptanmıştır. Krom tenörü düşürülen nihai artığın, inşaat sektöründe ve yol yapımında zemin dolgu malzemesi olarak, duvar karosu sırlarında renklendirici olarak ve inşaat tuğlası imalatında kullanılabileceği deneysel çalışmalarla kanıtlanmıştır (Bayat ve Vapur, 2005; Yüce vd., 2005; Mirdalı ve İşler, 2008).

TEŞEKKÜR

Yazarlar, numune temini ve laboratuvar imkânlarını sağlama hususunda yardımlarından ötürü Akmetal Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş'ne ve döküm kumu deneyleri aşamasında yardımlarından dolayı Özgümüş Döküm Sanayi A.Ş.'ne teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Ağaçayak, T., Zedef, V., Aydoğan, S., 2007. Beneficiation of low-grade chromite ores of abandoned mine at Topraktepe Beyşehir, SW Turkey. . Acta Montanistica Slovaca 12: 323-327.

Alp, İ., 1979. Bazı Endüstriyel Hammaddeler İçin Sanayide Aranan Koşullar. Jeoloji Mühendisliği ocak: 65-72.

Bayat, O., Vapur, H., 2005. Utilization of Turkish chromite tailings in the manufacturing of building bricks. Asian Journal of Chemistry 17(2): 791-797.

Behera, S.K., Panda, P.P., Singh, S., Pradhan, N., Sukla, L.B., Mishra, B.K., 2012. Extraction of nickel by microbial reduction of lateritic chromite overburden of Sukinda, India. Bioresource Technology 125: 17-22.

Biswas, S., Chakraborty, S., Chaudhuri, M.G., Banerjee, P.C., Mukherjee, S., Dey, R., 2013. Optimization of process parameters and dissolution kinetics of nickel and cobalt from lateritic chromite overburden using organic acids. Journal of Chemical Technology and Biotechnology 89(10): 1491-1500.

Bron, V.A., Stepanova, I.A., Kudryavtseva, T.N., 1967. Effect of Degree of Serpentine Formation in Dunite on Its Properties and Structure Change During Heating. Refractories 8(9-10): 553-558.

Çiçek, T., Cöcen, İ., 2002. Aplicability of mozley multi gravity separator (MGS) to fine chromite tailings of Turkish chromite concentrating plants. Minerals Engineering 15: 91-93.

Daş, B., Arık, F., Öztürk, A., Altay, O., 2012. Krom madenciliği ve geçmişten günümüze insanlık üzerindeki etkileri. Batman University International Participated Science and Culture Symposium,. batman. 1**:** 77-88.

DPT, 2001. Madencilik ÖİK Raporu Metal Madenler Alt Komisyonu Krom Çalışma Grubu Raporu. Planı, D.S.B.Y.K. Ankara, DPT, 66

Feng, D., Aldrich, C., 2004. Recovery of chromite fines from wastewater streams by column flotation. Hydrometallurgy 72: 319-325.

Gallios, G.P., Deliyanni, E.A., Peleka, E.N., Matis, K.A., 2007. Flotation of chromite and serpentine. Separation and Purification Technology 55: 232-237.

Gruenewaldt, G.V., Hatton, C.J., 1987. Platinum-group metals-a resource in the tailings of chromium mines in South Africa. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy 87(9): 265-268.

Güney, A., Önal, G., Çelik, M.S., 1999. A new flowsheet for processing chromite fines by column flotation and the collector adsorption machanism. Minerals Engineering 12(9): 1041-1049.

Hacıoğlu, S., 2010. Kayseri pınarbaşı kromitlerinin kuru zenginleştirilmesi. yükseklisans, İstanbul Teknik Üniversitesi.

http://www.jubileeplatinum.com/tailings_detail.htm (Erişim tarihi: 20.07.2017)

https://www.miningreview.com/news/treating-chrome-tailings-for-pgms/ (Erişim tarihi: 21.07.2017)

Mirdalı, N.K., İşler, F., 2008. Kromit atığının duvar karosu sırlarında renklendirici olarak değerlendirilmesi. Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü 17(1): 11-21.

Mpinga, C.N., Eksteen, J.J., Aldrich, C., Dyer, L., 2015. Direct leach approaches to Platinum Group Metal (PGM) ores and concentrates: A review. Minerals Engineering 78: 93-113.

Özkan, Ş.G., İpekoğlu, B., 2001. Concentration Studies on Chromite Tailings by Multi Gravity Separator. 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey. Turkey**:** 765-768.

Rabatho, J.P., Tongamp, W., Takasaki, Y., Shibayama, A., 2010. Recovery of Pt and Pd from PGM Mine Tailings by Magnetic Separation. International Journal of the Society of Materials Engineering for Resources 17(2): 168-172.

Top, S., Yıldırım, M., 2015. Kromit konsantrasyon tesisi artıklarından magnezyum sülfat (MgSO4) sentezi. Madencilik 54(1): 37-46.

Top, S., Yıldırım, M., 2017. Preparation of synthetic carnallite and amorphous silica from chromite beneficiation plant tailings. Gospodarka Surowcami Mineralnymi - Mineral Resources Management 33(2): 5-24.

Tripathy, S.K., Kumar, B.S., Rama, M.Y., 2017. Processing of chromite ultra-fines in a water only cyclone. International Journal of Mining Science and Technology.

Tripathy, S.K., Rama, M.Y., Singh, V., 2013. Characterisation and separation studies of Indian chromite beneficiation plant tailing. International Journal of Mineral Processing 122: 47-53.

Uysal, İ., Akmaz, R.M., Saka, S., 2016. Türkiye ofiyolitleri ile ilişkili podiform kromititlerin Cr-PGE içeriklerine genel bir bakış. 7. Jeokimya Sempozyumu. Türkiye**:** 52-52.

Uysal, İ., Zaccarini, F., Sadiklar, M.B., Garuti, G., Meisel, T., Tarkian, M., 2007. Cr-Pge Mineralizations In Turkey: Evaluation For Their Future Potential. 27th Meeting of the Spanish Mineralogical Society. İspanya**:** 112-112.

Yüce, A.E., Güney, A., Önal, G., 2005. Üçköprü krom artıklarından geri kazanım ve atık alanının rehabilitasyonu. Madencilik ve Çevre Sempozyumu. Ankara**:** 109-115.

HAM MADDE KAYNAĞI OLARAK DOĞAL TAŞ ARTIKLARI, TORBALI - İZMİR ÖRNEĞİ

AS A SOURCE OF RAW MATERIALS DIMENSION STONE WASTES, A CASE STUDY TORBALI–İZMİR, TURKEY

Hakan ELÇİ[1*], Ramazan HACIMUSTAFAOĞLU[1], Murat YILMAZ[2], Özlem YILMAZ[3]

[1]Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, İzmir, TÜRKİYE

[2]İstanbul Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE

[3]Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Muğla, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: hakan.elci@gmail.com

ÖZET: Türkiye sahip olduğu doğal taş yatakları ile doğal taş madenciliği konusunda dünyanın önde gelen ülkelerinden birisidir. 2015 yılında ülkemizde 27 milyon ton doğal taş üretimi yapılmıştır. Bu üretimin 4.5 milyon tonu ham blok olarak ihraç edilmiştir Geri kalan miktar doğal taş işleme tesislerinde işlenmiştir ve 2 milyon tonu işlenmiş olarak ihraç edilmiştir. Doğal taş tesislerinde bloklar levha haline getirilirken levhaların kesim kalınlığına, kesme makinesinin tipine (katrak veya S/T) ve doğal taş türüne bağlı olarak, ortalama % 30 kesim kaybı olmaktadır. Levhaların parlatılması ve boyutlandırılması aşamasında ise % 10 oranında bir artık söz konusudur. Toplamda 1 m^3 bloğun işlenmesinde % 40 oranında bir artık açığa çıkmaktadır. 2015 yılında üretilen doğal taş miktarı dikkate alındığında ise, sadece işleme tesislerinden yılda 8,2 milyon ton artık ortaya çıkar.

Bu çalışmada İzmir, Torbalı ilçesinde yer alan 18 adet doğal taş işleme tesisi incelenerek, doğal taş artıkları boyutlarına göre sınıflandırılmıştır. Buna göre, iri parçalar (kapak taşı), yassı ve ufak parçalar (boyutlandırmadan artan, paledyen) ve toz veya çamur (kesme ve parlatma sonucu 2 mm den küçük parçalar) olarak sınıflandırılmıştır. Kısmen iri parçalar gabion taşı, parke taşı, ufak yassı parçalar paledyan ve agrega olarak değerlendirilirken, 2 mm den küçük parçalar çok az oranda değerlendirilmektedir. Özellikle 2 mm'den küçük parçalar işletmeye yakın uygun

yerlere boşaltılmaktadır. Şu an için sorun teşkil etmeyen bu artıklar yakın gelecekte yer sıkıntısı nedeniyle çevresel bir problem olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Doğal taş artıkları, Doğal taş çamuru, Agrega, Tanburlanmış taş, Gabion.

ABSTRACT: *With its natural stone deposits Turkey is one of the leading country all over the world on natural stone mining. In 2015, 27 million tons natural stone were procuded in Turkey. 4.5 million tons of this production were exported as rough blocks. Rest of this production were processed in processing facilities and 2 million tons were exported after processing. When blocks are cut as plate, there is always loss on their volume about 30% depend on blocks cutting methods, cutting machine and natural stone type. In the sizing and polishing processes, 10% waste material comes out. In total, processing of 1 m^3 block, 40% waste material comes out when processing 1 m^3 block. When considering natural stone mass produced in 2015, 8,2 million tons/year waste material comes out only in processing facilities.*

In this study, 18 natural stone processing facilities were studied Torbalı district (İzmir, Turkey) and natural stone wastes were classified considering their size. Accordingly, the blocks were classified as course particle (valvestone), flat and fine particle (residual from sizing, paladian) and dust or mud (smaller than 2 mm after cutting and polishing). While course particles can be utilized as gabion stone, paving stone; small flat particles can be utilized as paladyan and aggregate, particles smaller than 2 mm are evaluated very little. Particles smaller than 2 mm are dumped near to mine area. This might be a big problem at the moment but in the future there will be an environmental problem.

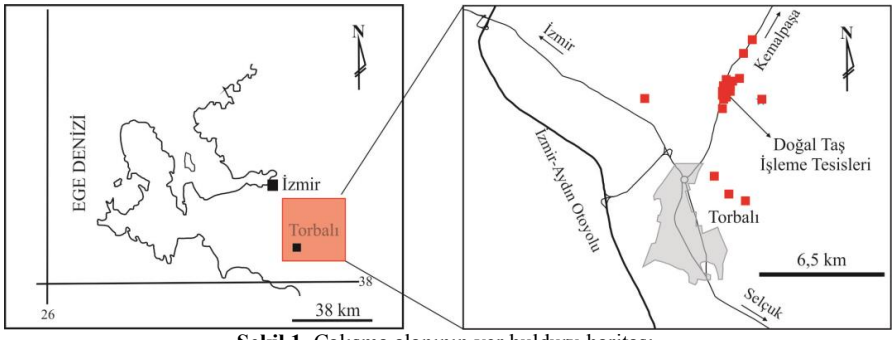
Keywords: *Dimension stone wastes, Sawing waste, Aggregate, Tumbled stone, Gabion*

1. GİRİŞ

Türkiye, Alp-Himalaya (tektonik) kuşağı içinde yer alması nedeniyle dünya doğal taş rezervlerinin yer aldığı avantajlı ülkelerden biridir. Maden İşleri Genel Müdürlüğünün verilerine göre ülkemizde yıllık ortalama 27 milyon ton (10 milyon m^3) doğal taş üretimi söz konusudur. Bu üretimin yaklaşık 4,5 milyon tonu ham blok (TSE, 2014) olarak ihraç edilirken, geri kalan üretim doğal taş işleme tesislerinde işlenerek levha ve değişik ölçülerde strip veya fayans (S/T plakası) haline getirilerek değerlendirilmiştir

(MİGEM, 2017). Doğal taş tesislerinde ham bloklar genellikle önce 2 cm, 3 cm ve nadiren daha büyük kalınlıklarda levha ve S/T plakası haline getirilir. Bu aşamadan sonra ihtiyaç duyulursa, aşındırıcılar vasıtasıyla kalibre edilerek istenilen kalınlığa düşürülür. Daha sonra farklı yüzey işleme teknikleri (polisaj, patinato, honlama, kumlama, çekiçleme, eskitme) ile ürün yüzeyleri aşındırılır ya da parlatılır. Son olarak istenilen ölçülerde kullanıma hazır hale getirilirler.

Bu işleme sürecinden sonra geriye kalan irili ufaklı tüm parçalar "doğal taş artığı" olarak ifade edilir. İzmir - Torbalı – ilçesinde yer alan 18 adet doğal taş işleme tesisinin (Şekil 1) incelendiği bu çalışmada, tesislerdeki doğal taş artıkları boyutlarına göre sınıflandırılmıştır. Teorik olarak artık miktarları hesaplanmış ve artıkların nasıl değerlendirildiği belirlenmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

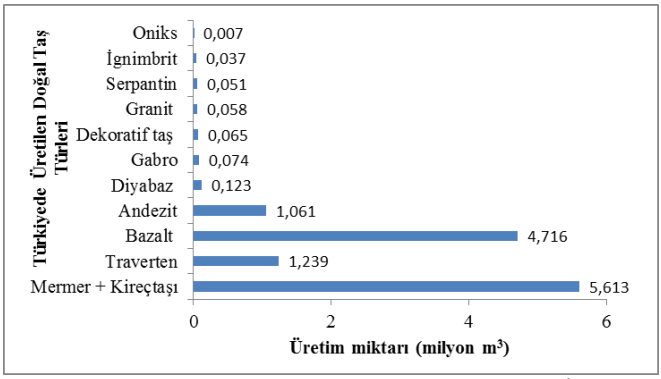
2. MALZEME VE YÖNTEM

Maden Tetkik Arama verilerinde (MTA, 1966), ülkemiz doğal taş rezervi 5.16 milyar metreküp olarak ifade edilmiştir. 1990-1994 yılları arasında; Devlet Planlama Teşkilatı adına İstanbul Teknik Üniversitesi, teknik elemanlarınca ocak bazında yapılan çalışmada bu rezerv 6,7 milyar metreküp olarak revize edilmiştir (Yüzer, 2010). Günümüzde yaklaşık 600 çeşit (farklı renk ve desen de) doğal taş isimlendirilmiş ve katalog haline getirilerek yayımlanmıştır (İMMİB, 2014).

2.1 Türkiye Doğal Taş Türleri ve Yıllık Üretim Miktarı

2015 yılında üretimi yapılan 10 milyon metreküplük doğal taşın % 68'ini karbonat kökenli doğal taşlar olan mermer, kireçtaşı ve traverten oluşturmaktadır. Sert taşlar içerisinde ilk sırayı %17,34 oran ile bazalt alır. Bunu % 10,53 oran ile andezit takip

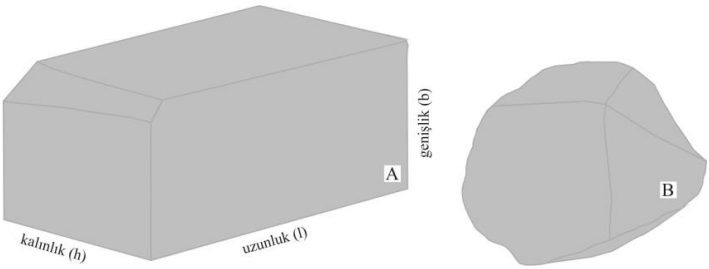
eder. Diğer sert taşlar olan granit, gabro ve diyabaz ile daha çok dekoratif amaçlı kullanımı tercih edilen serpantin, ignimbirit, tüf, oniks ve kayrak taşının (şist ya da sleyt) üretim oranı % 4,12'dir (Şekil 2). İnceleme yapılan 18 doğal taş işletme tesisinde yoğun olarak kesilen taşlar, karbonat kökenli olan mermer, kireçtaşı ve travertendir. Sadece birkaç işletmenin sert taş olarak granit ve bazalt kesimi yaptığı gözlenmiştir.



Şekil 2. 2015 yılında Türkiye de üretilen doğal taş miktarları (MİGEM, 2017)

2.2 Doğal Taş Tesislerinde Artık Miktarının Hesaplanması

Doğal taş işleme tesislerinde artıklar, ham blokların ve molozların (düzgün yüzeylere sahip olmayan ham bloklar) (Şekil 3.A-B) kesilmesi ile elde edilen levhalar S/T plakaları ile bunların yüzeylerinin işlenmesi ve son olarak kullanım amacına göre ebatlanması sırasında ortaya çıkar.

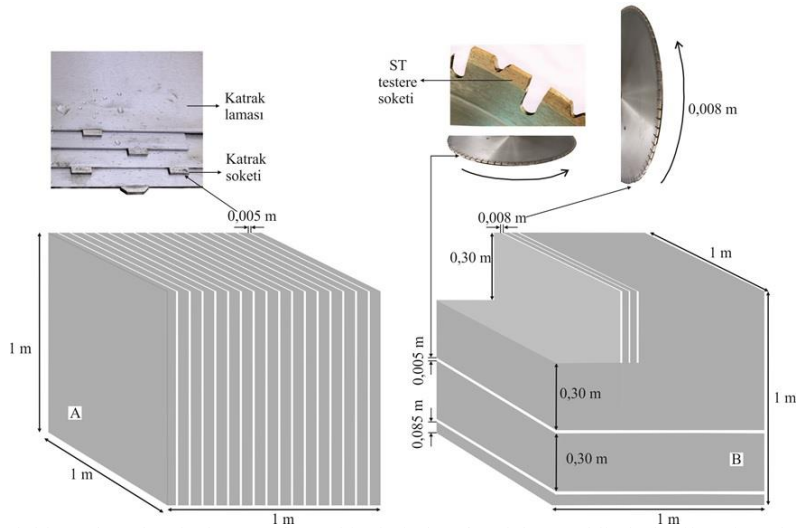


Şekil 3. Ocaklarda üretilen ham blok (A) ve molozlar (B)

Sarıışık ve Oyman, (2009) doğal taş işleme tesislerinde ham blokların işlenmesi ile ortaya çıkan artık miktarını % 30 olarak ifade etmişlerdir. Onargan, (2009) bu miktarı % 35 - 45 olarak ifade etmiştir. Bhatnagar, (2009), katrakta bir ham blok kesildiğinde ortaya çıkan artık miktarını en az % 20 olarak hesaplamıştır. Ayrıca

katrakta her zaman düzgün blokların kesilmediğini, moloz kesiminde bu miktarın % 15 - 20 daha da artacağını belirtmiştir. Sonuç olarak bir ham bloğun doğal taş isleme tesisinde kesilip işlenmesi ve son ürün haline gelmesi ile ortaya çıkacak olan artık miktarını % 30 – 40 olarak ifade etmiştir. Karaca vd., (2012) ham blok ve molozların işlenmeden önceki miktarları ile bunların doğal taş işlem tesislerinde işlenmesi sonrası elde edilen yarı işlenmiş ve işlenmiş ürünlerin miktarı dikkate alarak yapılan korelasyonla artık miktarını % 40 – 60 aralığında olduğunu ifade etmişlerdir.

Gerçek bir yaklaşımla doğal taş işleme tesislerindeki artık miktarı ancak tesise giren her bir ham bloğun veya molozun ağırlığından/hacminden, tüm işleme süreçlerinden sonra o bloktan ya da molozdan elde edilen nihai ürün ağırlığının/hacminin çıkarılması ile mümkün olabilir. Fakat doğal taş işleme tesislerinde bu veriler düzgün bir şekilde kayıt altına alınmadığından bu yöntemle doğal taş tesislerindeki artıkların hesaplanması mümkün değildir. Bu nedenle bu çalışmada bir ham bloğun ya da molozun kesilmesi ile ortaya çıkan artık miktarının teorik olarak hesaplanması önerilmiştir. Ham bloklar katrak da, molozlar da S/T makineleri ile kesilerek levha ve S/T plakası haline getirilirken ortaya çıkan artık miktarı, levhaların ve S/T plakaların kesim kalınlığına, kesici olarak tercih edilen makine tipine (Katrak ya da S/T) ve kesici yüzey (Katrak soketi ya da S/T soketi kalınlığına bağlı olarak değişir (Şekil 4).



Şekil 4. Blokların katrakta levha ve S/T makinelerinde S/T plakası şeklinde kesilmesi ve kesici soket kalınlıkları

2.2.1 Katrak Kesim Artıklarının Hesaplanması

Bhatnagar, (2009) katrakta kesilen düzgün yüzeylere sahip bir ham bloktan ortaya çıkan artık miktarını hesaplamak için aşağıdaki formülü önermiştir.

Artık Miktarı = (N x D x L x B x H)/(L x B x H)

N = lama sayısı, D = soket kalınlığı (m), L = ham bloğun boyu (m), B = ham bloğun eni (m), H = ham bloğun kalınlığı (m).

Üretici firmanın beyan ettiği en küçük katrak soket kalınlığı 3,6 mm' dir (Güçlü Soket, 2017). Ancak inceleme yapılan doğal taş tesislerinde, katraklarda genelde 5 mm kalınlığında soketler kullanıldığı ve çoğunlukla 2 ve 3 cm kalınlığında levhalar kesildiği gözlenmiştir. Eğer sert taş (çoğunlukla granit) fayans üretimi için katrakta levha haline getirilecekse, bu durumda levhaların 1 cm'lik kalınlıkta da kesilebildiği gözlenmiştir. Bu çalışmada, bir ham bloğun katrakta levha üretimi için kesilmesi durumunda ortaya çıkan artık miktarı hesaplamasında, soket kalınlığı 5 mm olarak kabul edilmiştir. Bu hesaplama 1, 2 ve 3 cm levhalar kesildiğinde, ortaya çıkan artık miktarı için ayrı ayrı hesaplanmıştır (Şekil 4.A).

Katrakta 1x1x1 m^3'lük sert taş bloğundan, 5 mm kalınlığında soket kullanılarak ve 1 cm kalınlığında levha üretildiğinde ortaya çıkacak artık miktarı:

Artık miktarı = (67x1x1x1x1/1x1x1) = 0,335 m^3 (% 33,5) olarak hesaplanmıştır.

Katrakta 1x1x1 m^3'lük bloktan, 5 mm kalınlığında soket kullanılarak ve 2 cm kalınlığında levha üretildiğinde ortaya çıkacak artık miktarı:

Artık miktarı = (40x2x1x1x1/1x1x1) = 0,2 m^3 (% 20) olarak hesaplanmıştır.

Katrakta 1x1x1 m^3'lük bloktan, 5 mm kalınlığında soket kullanılarak ve 3 cm kalınlığında levha üretildiğinde ortaya çıkacak artık miktarı ise,

Artık miktarı = (29x3x1x1x1/1x1x1) = 0,145 m^3 (% 14,5) olarak hesaplanmıştır.

Ortalama katrak kesimi sonrası ortaya çıkan artık miktarı ise 0,23 m^3 (% 23) olarak hesaplanmıştır.

2.2.2 S/T Kesim Artıklarının Hesaplanması

S/T makinelerinde ham bloklar ve daha çok molozlar kesilip S/T plakaları üretilir. Katrak makinelerinden farklı olarak S/T makinelerinde hem düşey kesim hem yatay kesim söz konusudur. 1x1x1 m^3'lik bir ham blok S/T makinesinde 2 ya da 3 cm kalınlığında, 30 cm eninde ve boy serbest plaka üretimi için kesildiğinde plakalar

arasında düşey kesimden kaynaklanan 8 mm'lik bir kesim kalınlığı ve 3 kademede kesilecek olan 5 mm kalınlığında yatay kesim olacaktır. Ayrıca kesimden ortaya çıkan artıklara ek olarak en altta belirli bir kalınlıkta bir artık kalacaktır (Şekil 4.B).

Büyüksağiş, (2009) 1 m^3'lük bir ham bloğun S/T makinesinde 2 ve 3 cm'lik levhalar için, 8 mm düşey bıçak ve 5 mm yatay bıçakla kesilmesi durumunda ortaya çıkacak artık miktarını sırasıyla 0,267 m^3 (% 26,7) ve 0, 213 m^3 (% 21,3) olarak hesaplamıştır. Bunlara ek olarak kesilmeyen 0,085 m^3'lük artık kaldığını ifade etmiştir.

Büyüksağiş (2009), 1 m^3'lik bir ham bloktan 1,1x30,5x30,5 cm^3'lük fayans üretmek amacıyla S/T de kesim yapıldığında ortaya çıkan artık miktarını 0,41 m^3 (% 41) olarak hesaplamıştır. Bu teorik hesaplamada 1 m^3'lik ham blok öncelikle 2,8 cm kalınlığında 30,6 cm eninde ve boy serbest olarak kesildiğini varsaymıştır. Kesimde yine 8 mm ve 5 mm soket kalınlığında dairesel testere kullanıldığını, kesim işleminde ortaya çıkan artık miktarına ek olarak 6,7 cm kalınlığında en altta bir artık kaldığını ifade etmiştir. S/T den çıkan plakalar yatay yarmada 1 cm kalınlığa düşürülmekte ve sonrada silme, ebatlama, pah kanal gibi işlemlerden geçirilmektedir. 0,43 m^3'lük artık miktarı tüm bu işlemlerden sonra elde edilen ürün hacminin 1 m^3'lük ham blok hacminden çıkarılması ile hesaplanmıştır.

2.2.3 Yüzey İşleme ve Ebatlama İşleminden Ortaya Çıkan Artıklarının Hesaplanması

Doğal taş levhaların ve S/T plakaların yüzeylerinin işlenmesi ve fayans ya da diğer ürünler amacıyla ebatlanması öncesi ve bu işlemler sonrası ağırlık/hacim kayıtlarının düzgün olarak tutulması nedeniyle ortaya çıkan artık miktarının gerçek bir yaklaşımla hesaplanamamıştır. Bu işlemler süreci sonrasında ortaya çıkan artık miktarı kaba bir tahminle ifade edilir. Genellikle toplam artık miktarı içinde ifade edilen bu artık miktarı, Bhatnagar, (2009), tarafından % 10 – 20 arasında bir oranla ifade etdilmiştir. Onargan, (2007) doğal taş levhalarının ve S/T plakalarının sadece silme ve parlatma işlemi sırasında oluşan artık miktarını %5 olarak ifade etmiştir.Bu çalışmada ise doğal taş işleme tesisleri ile yapılan görüşmeler neticesinde, doğal taşalrın yüzey işlemesinden % 3 - 4 ve ebatlama işleminden % 6-7 oranında bir artık ortaya çıkmakta toplamda bu oran % 10 olarak öngörülmüştür.

2.2.4 Toplam Artık Miktarı

Katrak ve S/T kesimlerinde ortaya çıkan atık miktarı teorik hesabı 1 m^3'lük ham bloklar için yapılmıştır. Gerçekte doğal taş işleme tesislerinde kesilen ham blokların boyutları 1 metreden büyüktür. Bu da ortaya çıkacak olan artık miktarını artıracaktır. Ayrıca, düzgün yüzeylere sahip olmayan molozların kesilmesi ve hem ham blokların hem de molozların süreksizlik içermesi ortaya çıkacak artık miktarını artıran sebeplerdir. Büyüksağiş, (2009) ham bloklar yerine molozların kesildiği ve ham blokta ya da molozda süreksizliklerin olduğu durumlarda artık miktarının % 25 – 30 artacağını ifade etmiştir. Bu çalışmada doğal taş ham bloklarının katrak ve S/T makinelerinde kesilmesi ve kesilen parçaların işlenmesi sonrası ortaya çıkan toplam artık miktarları % 40 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Doğal taş ham bloklarının katrak ve S/T makinelerinde kesilmesi ve kesilen parçaların işlenmesi sonrası ortaya çıkan artık miktarları

1m³ ham bloğun Katrakda levha kesimi sonrası ortaya çıkan artık miktarı			
Levha kalınlığı (cm)	Soket kalınlığı (mm)	Hacim (m^3)	%
1	5	0,335	33,5
2	5	0,20	20
3	5	0,145	14,5
	Ortalama	**0,227**	**22,7**
1m³ ham bloğun S/T de plaka kesimi sonrası ortaya çıkan artık miktarı			
S/T plaka kalınlığı (cm)	Testere soket kalınlığı (mm)	Hacim (m^3)	%
2	8/5	0,267	26,7
3	8/5	0,213	21,3
	Ortalama	**0,240**	**24,0**
1m³ ham bloğun S/T de fayans için plaka kesimi sonrası ortaya çıkan artık miktarı			
S/T plaka kalınlığı (cm)	Testere soket kalınlığı (mm)	Hacim (m^3)	%
2,8	8/5	0,41	**41**
Yüzey işleme ve ebatlama işlemi sonrası ortaya çıkan artık miktarı			**10**
	Toplam Artık Miktarı		**39,2**

2.3 Doğal Taş Artıklarının Sınıflandırılması

Doğal taş artıkları ortaya çıktıkları yerler göre; ocaklarda ve işleme tesislerinde oluşan artıklar olarak, boyutlarına göre de molozlar, kapaklar, paladyenler, ve toz artıklar olarak sınıflandırılır (Akdağ ve Kırımhan, 1990). Onargan, (2009) doğal taş işleme tesislerindeki artıkları, büyükten orta boyutluya kadar olan kırılmış parçalar (Paladyen), orta boyuttan küçük boyuta kadar olan ince parçalar ve kırıntılar ve ince taneli sulu şlamlar olmak üzere üç grupta sınıflandırmıştır.

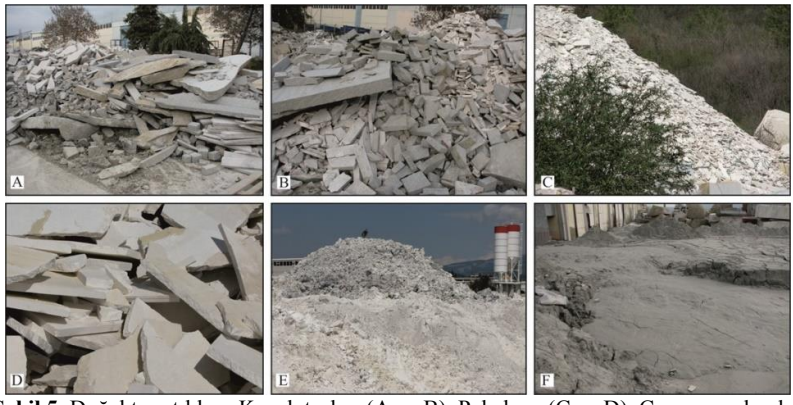
Doğal taş artıklarının daha kapsamlı sınıflaması Karaca vd. (2012) tarafından yapılmıştır. Bu sınıflama sadece doğal taş işleme tesisleri artıkları değil, aynı zamanda doğal taş ocak artıkları da dikkate alınarak yapılmıştır. Doğal taş artıklarını;

- Katı artıklar: Bu artıklar birkaç mm ile 100 cm arasında değişen boyutlardadır. Ocaklarda blok üretimden sonra arta kalan parçalar ve tesislerde kapak taşları ve paledyenler bu kategorideki artıkları oluşturur.
- Tozlar: ocakta susuz kesim yapıldığında ya da tesiste yüzey parlatma işlemi sırasında ortaya çıkan ağırlıklı olarak 100 µm den daha küçük nadiren 150 µm boyutlarında olan kuru parçacıklardır
- Bulamaçlar ve çamurlar: Gerek ocakta gerekse tesislerde her türlü kesim sonrası suyla taşınıp havuzlarda biriktirilen sulu doğal taş çamurlarıdır. Ocaklarda genellikle suyun hızlı burarlaşması ya da drene edilmesi nedeniyle kuru çamur halindeyken, tesislerde çökelme havuzlarında bulamaç halindedirler.

Bu çalışmada ise doğal taş işleme tesisi artıkları boyutlarına göre sınıflandırılmıştır.

2.3.1 Kapak Taşları

Ham blokların veya molozların S/T makinelerinde kesilmesi sonrasında ortaya çıkan, kesilmemiş artıklardır. Kalınlıkları birkaç 10 cm, diğer boyutları ise metre mertebesinde olan yassı ve bir yüzeyleri düz parçalardır (Şekil 5.A-B). Teorik olarak bu parçalar ham bloklarda % 10'dan daha azdır. Fakat molozların S/T'de kesilmesinde bu oran daha yüksektir. Karaca vd., (2012) kapak taşı artıklarının kesilen ham bloğun veya molozun % 25'ine kadar ulaşabildiğini ifade etmiştir.



Şekil 5. Doğal taş atıkları. Kapak taşları (A ve B), Paledyen (C ve D), Çamur ve şlamlar

2.3.2 Paledyen

Bu artıklar, katrakta ham blokların veya S/T'de ham blokların ve molozların kesilmesi ile elde edilen levhaların, S/T plakaların ya da fayansların ebatlanması sonrası ortaya çıkan artıklardır. Kalınlıkları birkaç cm, diğer boyutları birkaç 10 cm olan yassı veya uzun, düzgün yüzeyli parçalardır (Şekil 5.C-D).

2.3.3 Çamurlar ve Şlamlar

Bu artıklar, katrakta ham blokların veya S/T'de ham blokların ve molozların kesilmesi sırasında, kesilen levhaların ve S/T plakaların yüzey işlemleri veya parlatmaları sırasında ve son olarak bu levha ve S/T plakaların ebatlanması sırasında ortaya çıkan, % 50'si 100 μm daha küçük olan artıklardır. Kesim işlemi sırasında su kullanıldığı için bu parçalar ya havuzlarda ya da arıtma tesislerinde depolanırlar (Şekil 5.E-F) ve genelde sulu olduklarından çamur veya şlam olarak adlandırılmışlardır.

3. BULGULAR

Doğal taş artıklarının yeniden kullanım alanları oldukça geniştir ve akademik çalışmalarla bunların kullanılabilirliği ortaya konulmuştur. Gerek ocaklarda gerekse doğal taş işleme tesislerinde ortaya çıkan parça artıklar (paledyen ve kapak taşları) beton ve asfalt yapımında kullanılabilirliği ile ilgili çok sayıda çalışma vardır. Doğal taş artıklarının bir diğer geniş kullanım alanı ise yol yapımında ve ihtiyaç duyulan inşaat alanlarında dolgu malzemesi olarak kullanımıdır. Bunların dışında özellikle şlam olarak adlandırılan artıklar, çimento üretimi, toprak ıslahı, su arıtma, kâğıt üretimi, boya sanayi, sıva malzemesi katkısı, seramik hammaedde katkısı olarak ve cam üretiminde de kullanılabileceğine dair akademik çalışmalar mevcuttur.

İnceleme yapılan doğal taş işleme tesislerinde ise durum artıkların kullanım alanları ile ilgili yapılan akademik çalışmalardan oldukça uzak olduğu gözlenmiştir. Torbalı-Kemalpaşa arasındaki doğal taş işleme tesislerinde artıkların değerlendirilme şekli aşağıdaki gibidir.

3.1 Doğal Taş Artıklarının Parke Taşı, Paledyen ve Agrega Olarak Kullanımı

Doğal taş artıklarından parke taşı üretimi sadece sert taş işleyen tesislerde, tesisin artıklarını değerlendirmek için bulduğu çözümlerden biridir. Çünkü sert taşlar, parke

taşı için uygun doğal taşlardır. Sert taşların S/T de kesilmesi sonrası geriye kalan kapak taşları (Şekil 6.A-B) önce yaklaşık 10x10 cm ve boy serbest şeritler şeklinde ebatlanır (Şekil 6.C). Daha sonra da yarma makinesi yardımı 10 cm'lik uzunluklarda kırılarak parke taşı haline getirilir (Şekil 6.D-F).

Levha ve plakaların ebatlanmasından geriye kalan 2 ve 3 cm kalınlıktaki artıklar tesislerde genellikle ayrı bir yerde depolanır (Şekil 6.G-I) ve paledyen olarak değerlendirilir. Tesislerde işlenen her türlü doğal taş (kireçtaşı, mermer, traverten vb.) artığı paledyen olarak kullanıma müsaittir. Sert taşların parke taşı olamayacak boyutta olanları ve paledyenler inşaat malzemesi (kum çakıl) satışı yapan bir firma tarafından agrega üretimi için tercih edilen hammaddelerdir. Bu artıklar doğal taş tesislerinden alınarak, bir kırıcı vasıtasıyla kırılıp agrega boyutuna düşürülür. Daha sonrada mıcır ya da kum olarak değerlendirilir.

Şekil 6. Sert taş artıklarının parke taşı (A-F) ve paledyen (G-I) olarak değerlendirilmeleri.

3.2 Doğal Taş Artıklarının Gabion Duvar Taşı Olarak Kullanımı

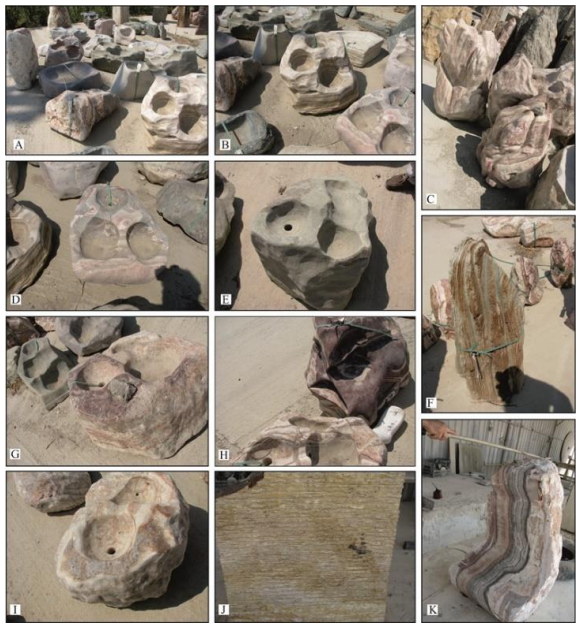
Doğal taşların bir tanbur (Şekil 7.A-C) içerisinde aşındırılması ile elde edilen yuvarlak taşlar, tanburlanmış taş olarak adlandırılır. Bu amaç için doğal taş parça artıkları öncelikle bir kırıcıdan geçirilerek istenilen boyuta düşürülür ve daha sonra tanbura doldurulan su yardımı ile atıkların birbirine çarparak aşınması sağlanır. Karbonat kökenli taşlar için 18-20 saat, sert taşlar için 30 saat gibi bir süre tanbur döndürülerek kırık yüzeyli parçaların köşelerinin aşınması sağlanır (Şekil 7.D–L). Tanburlanmış

taşlar peyzaj uygulamalarında gabion (tel kafes) duvar olarak oldukça sık kullanım alanı bulan taşlardır.

Şekil 7. Tanbur makinesi (A, B ve C), Tanburlanmış doğal taş artıkları (D-L)

3.3 Doğal Taş Artıklarının Peyzaj Mimarisinde Kullanımı

Yörede, doğal taş işletmelerin parça artıklarını da değerlendiren küçük bir işletme vardır. İşletme, doğal taş işleme tesislerinden daha çok kapak taşlarını alarak tanburlanmış taş üretimi ve peyzaj mimarisinde kullanılan kuş havuzu vb. ürünler yapmaktadır. İşletme bu amaç için sadece doğal taş işleme tesislerinden aldıklarını değil aynı zamanda ocaklarda da küçük molozları bu amaçlar için kullanmaktadır ve çoğunlukla karbonat kökenli taşları tercih etmektedir. Kuş havuzu yapımı için öncelikle alt yüzeylerini keserek düzleştirmekte daha sonra uygun yerleri karot makinesi ile değişik genişlikte çukurlaştırılıp son olarak hidroklorik asitle (HCl) aşındırarak parlaklığı sağlanmaktadır (Şekil 8.A,B,D,E,G,H,I). Bunun yanı sıra uygun kalınlıktaki kapak taşları dairesel testere ile taranarak tırtıklı bir yüzey oluşturulan taşlar (Şekil 8.J) ve farklı renklerin aynı parçada bir arada bulunduğu doğal taşlar asitle yüzeyleri işlenerek yine peyzaj uygulamalarında değerlendirmektedir (Şekil 8.C,F,K).



Şekil 8. Kuş havuzları (A, B, D, E, G, H ve I), Peyzaj uygulamaları için doğal taşlar (C, F, J ve K)

3.4 Doğal Taş Artıklarının Seramik Hammaddesi Olarak Kullanılması

Sadece karbonat kökenli doğal taş kesimi yapan doğal taş işleme tesisleri yörede bulunan seramik ve fayans fabrikalarına bu taşların kesim artıkları olan çamur ve şlamlarını çökeltme havuzlarından çıkarıp kurutarak seramik ve fayans üretiminde kullanılmak üzere hammadde kaynağı olarak vermektedir. Seramik fabrikalarına verilen miktar, bir işletmenin bir aylık çamur ve şlam artıklarının miktarından fazla değildir.

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Doğal taş ocaklarından üretilen ham blokların ve molozların, doğal taş işleme tesislerinde katrak veya S/T kesimi ve elde edilen levha ve S/T plakalarının işlenmesi sonrasında % 40 oranında bir artık ortaya çıkar. Artıkların boyutunun çeşitli olması, miktarların çokluğu ve yeniden kullanıma kazandırılması oranının çok düşük olması, işletmeleri stoklama veya işletmeden uzaklaştırma noktasında ek maliyet yüklemekte, fabrika ve yakın çevresinde çevresel açıdan sürekli sorun oluşturmaktadır.

Şimşek vd. (2005) Torbalı doğal taş işleme tesislerinin yıllık 20.000 ton doğal taş artığını yörede bulunan Fetrek çayına boşalttıklarını ifade etmişlerdir. Bu artıklarının nehir sedimanlarına ve yeraltı suyu kalitesine olan etkisini araştırdıkları çalışmalarında 150 µm den küçük doğal taş artıklarının nehir suyu ile birlikte içme suyu sağlayan

alüvyonel alanlara taşındığını ve bu akiferlerdeki suyun $CaCO_3$ değerini arttırdığı ve su kalitesini etkilediğini belirtmişlerdir.

Doğal taş sektörünün artık problemine bir yaklaşım oluşturması bakımından bu çalışmada İzmir, Torbalı ilçesinde yer alan 18 adet doğal taş işleme tesisi incelenerek, doğal taş artıkları ve artık türleri boyutlarına göre sınıflandırılmıştır. Temel olarak iki tür artık belirlenmiştir. Bunlardan birincisi kapak taşları ve paledyenler (iri parçalar), diğeri ise çamur ve şalmlardır (< 2 mm). İzmir Torbalı- ilçesinde yer alan doğal taş işleme tesislerinin geneli dikkate alındığında, tesislerde aylık ortalama 250-400 ton/tesis miktarında kapak taşları ve paledyenler, yine bu miktardan biraz daha fazla oranda çamur ve şlam ortaya çıkmaktadır. Toplamda aylık 500-800 ton/tesis miktarda artık oluşmaktadır. Bu miktara göre, bölgedeki 18 işletmenin aylık ortalama üretim sürecinden çıkan doğal taş artıkları 9000-14400 ton arasındadır.

Sert taşların çamur ve şlamları dışında tüm artıkları parke taşı, tanburlanmış taş veya agrega olarak değerlendirilebilmektedir. Diğer tür doğal taşların az da olsa kapak taşları ve paledyenleri, tanburlanmış taş veya paledyen olarak değerlendirilebilmektedir.

Karbonat kökenli doğal taşları kesen işletmelerdeki çamur ve şlamları çok az oranda bazı seramik üreticilerine katkı malzemesi olarak verilmektedir. Genellikle 2 mm'den küçük parçalar işletmeye yakın uygun yerlere veya yerel yönetimlerin belirlediği döküm alanlarına boşaltılmak üzere taşınmaktadır. Şu an için sınırlı çözümler bulunurken bu artıklar yakın gelecekte yer sıkıntısı nedeniyle çevresel bir problem olacaktır.

Üretim sürecinden açığa çıkan toplam artık oranının % 40 civarında olduğu göz önüne alındığında, değerlendirilebilen oranın tahmini 1-2 olduğu öngörülebilir. Doğal taş sektöründeki gelişme sürecini dikkate alındığında, önümüzdeki 5-10 yıl içerisinde üretimin birkaç kat artacağı açıktır. Buna bağlı olarak, hammadde niteliğinde olan doğal taş artık miktarının artacağı beklenen bir sonuçtur. Bu nedenle, % 40 civarında olan artık oranının kullanılabilir hale dönüştürmek için bölgeler bazında merkezi arge tesisleri kurulmalı, mermer artıkları bu merkezlerde toplanmalı ve kullanılabilir boyutlara ya da duruma getirilmelidir. Diğer taraftan inşaat ve inşaat malzemesi sektörlerinde kullanımı teşvik edilmeli ve belirli oranlarda kullanımı zorunlu kılınmalıdır. Günümüzden başlayarak bu tür çözüm uygulamaları yapılmadığı sürece yakın gelecekte çok daha büyük çevresel sorunlarla karşı karşıya kalınacaktır.

KAYNAKLAR

Akdağ O.N., Kırımhan S., 1990. Denizli Organize Sanayi Bölgesinde Endüstriyel Katı Atık Durumu ve Geri Kazanımı. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi 1(2): 47-58.

Bhatnagar A., 2009. Study for Qualitative and Quantitative Evaluation of Waste Generation in Indian Marble Mining Processing. Uluslararası Katılımlı Mermer Artıklarının Değerlendirilmesi ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması Sempozyumu. Diyarbakır. 1-13.

Büyüksağiş İ.S., 2009. Doğal Taş İşleme Tesislerinde Toz Artıkların Oluşumu ve Azaltma Yöntemlerinin İrdelenmesi. Uluslararası Katılımlı Mermer Artıklarının Değerlendirilmesi ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması Sempozyumu. Diyarbakır. 180-193.

Güçlü Soket, 2017. http://www.guclusoket.com/products/.

İMMİB., 2014. www.imib.org.tr. "Türk Doğal Taş Arşivi". http://www.imib.org.tr/projeler/turk-dogal-tas-arsivi/ 21.07.2017

Karaca, Z., Pekin A., Deliornanlı A.H., 2012. Classification of dimension Stone waste. Environ Sci Pollut Res. 19: 2354-2362.

MİGEM (Maden İşleri Genel Müdürlüğü), 2017. 2010-2015 Yılı Doğal Taş Üretim miktarları http://www.migem.gov.tr/istatistikler/istatistikyeni/MadenuretimMiktar.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=1106c96f-5938-431e-afc2-de2fee11a7e4. 21.07.2017.

MTA., 1966. Türkiye Mermer Envanteri. Ankara: MTA Yayın No:134.

Onargan, T., 2009. Doğal Taş Madenciliğinde Eko – Üretim, Verimlilik ve Çevre Yönetimi. Uluslararası Katılımlı Mermer Artıklarının Değerlendirilmesi ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması Sempozyumu. Diyarbakır. 267-282

Onargan, T., 2007. Mermer Madenciliğinde Çevre Yönetimi. II. Çevre ve Madencilik Sempozyumu. Ankara. 61-75

Sarıışık, G., Oyman E., 2009. Mermer Atıklarının Değerlendirilmesinde Bilgisayar Kontrollü Doğaltaş İşleme Makineleri Kullanımı ile Yeni Ürün Geliştirme. Uluslararası Katılımlı Mermer Artıklarının Değerlendirilmesi ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması Sempozyumu. Diyarbakır. 305-314.

Şimşek C., Karaca Z., Gemici Ü., Gündüz O., 2005. The assessment of the impacts of a marble waste site on the water and sediment quality in a river system Frensenius Environ. Bull. (14) 1013-1023.

TSE (Türk Standartları Enstitüsü) 2014. TS EN 1467. Doğal taşlar – Ham Bloklar - Özellikler. Ankara. Türk Standartları Enstitüsü.

Wikipedi. 2017. Toros Dağları, Wikipedi – Özgür Ansiklopedi, https://tr.wikipedia.org/wiki/Toros_Da%C4%9Flar%C4%B1 06.03.2017

Yüzer, E. 2010. Taşlar üzerindeki izler. 2. Uluslararası Mermer ve Doğal Taşlar Kongresi Bildiriler Kitabı. Nakoman M. E., Yıldırım, A, Güneş C., TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, İzmir.

AFYONKARAHİSAR MERMER SEKTÖRÜ ARTIKLARININ ÇEVRESEL ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE ENVIRONMENTAL EFFECTS OF WASTE OF AFYONKARAHISAR MARBLE SECTOR

Aynur İNANIR[1], İrfan Celal ENGİN[1*], S. Osman İNANIR[2]

1: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

2: Afyonkarahisar Organize Sanayi Bölge Müdürlüğü, Afyonkarahisar

*: Sorumlu Yazar: icengin@aku.edu.tr

ÖZET: Tüm üretim süreçleri, hammadde girdisi ve ürün çıktısının yanında üretim sürecinin yapısına bağlı olarak değişen oranlarda ve bileşimlerde artık/atık meydana getirmektedir. Arzulanan hedef bu atıkların bir şekilde geri dönüşümle yine üretim süreçlerine dâhil edilmesidir. Bunun mümkün olmadığı durumlarda ise en az şiddette çevresel etkilerin oluşmasına gayret edilmektedir. Doğaltaş üretim sürecinde genellikle kesme ve boyutlandırma dışında kimyasal süreçler yok denecek kadar azdır. Gerek ocak üretimi aşamasında gerekse fabrikada kesme-işleme uygulamalarında çoğunlukla inert özellikte katı artıklar oluşmaktadır. Bunlar farklı sanayi alanlarında yeniden kullanıldığı gibi büyük oranlarda katı atık bertaraf alanlarında depolanmaktadır.

Bu çalışmada, Afyonkarahisar'da mermerlerin ocaktan çıkarılması ve fabrikalarda işlenmesi sırasında açığa çıkan artıklarının çevre bileşenleri olan hava, su ve toprağa etkisi incelenmiştir. Ayrıca Afyonkarahisar Organize Bölgesine ait döküm sahasındaki yıllık veriler kullanılarak artıkların düzenli depolanması incelenmiştir. Geleceğe yönelik katı artıkların bertarafı ile ilgili bazı öngörülerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Doğaltaş, Mermer, Artık, Çevresel etkiler, Atıkların bertarafı

ABSTRACT: *All production processes constitute waste in varying proportions and compositions depending on the nature of the production process as well as the raw material input and output of the product.. The aim is to incorporate these wastes into the production process by recycling. Where this is not possible, efforts are made to create at least severe environmental impacts. In the natural stone production process, chemical processes other than cutting and sizing are generally insignificant. In most*

cases inert solid wastes are formed in the quarry production, or in factory cutting-processing applications. They are reused in different industrial areas and are stored in solid waste disposal sites to a large extent.

In this study, the effects of the wastes which were exposed during the extraction of marbles from the quarries and processing in the factories in Afyonkarahisar to environmental components such as air, water and soil were investigated. In addition, the regular storage of wastes has been examined by using the annual data on the dumping area of Afyonkarahisar Organize Zone. Some predictions were made regarding the disposal of solid wastes for the future.

Keywords: *Natural stone, Marble, Waste, Environmental effects, Waste disposal*

1. GİRİŞ

Dünyanın en zengin doğaltaş rezervlerinin bulunduğu Alp kuşağında yer alan ülkemiz, renk ve desen çeşitliliğine sahip mermerler açısından çok büyük bir potansiyele sahiptir. Bugünkü verilere göre 4 milyar m^3 işletilebilir mermer, 2,8 milyar m^3 işletilebilir traverten, 1 milyar m^3 granit rezervi bulunmaktadır. Bu değerlere göre Türkiye dünya doğaltaş rezervinin yaklaşık %40'ına sahiptir (ETKB, 2017). Afyonkarahisar ilinin mermer sektöründeki önemi, sahip olduğu antik çağlardan bu yana üretilen ince kristalli yüksek kalitedeki mermerlerinin yanında Afyonkarahisarlı girişimcilerin ülkenin her yanında farklı türdeki mermer ocaklarını çalıştırmaları ve buralardan getirdikleri mermerleri yine Afyonkarahisar'da işlemelerinden kaynaklanmaktadır. Türkiye mermer üretiminin yaklaşık %20'si Afyonkarahisar'da bulunan fabrikalarda gerçekleştirilmektedir.

Tüm sektörde yaklaşık 1.500 adet doğaltaş ocağı, fabrika ölçeğinde faaliyet gösteren 2.000 kadar tesis, orta ve küçük ölçekli 9.000 atölye faaliyet göstermektedir. İstihdam edilen kişi sayısı 300.000 civarındadır. Üretimin en fazla olduğu iller; Balıkesir, Afyon, Bilecik, Denizli ve Muğla'dır. Bu bölgelerdeki üretim, tüm üretimin % 65'ini oluşturmaktadır. Ekonomik mermer yataklarının bulunduğu diğer iller ise; Bursa, Kırşehir, Çankırı, Çorum, Kastamonu, Niğde, Kayseri, Artvin, Bitlis, Erzincan, Bayburt, Sivas, Tokat, Denizli, Kütahya, Eskişehir, Diyarbakır, Elazığ, Çanakkale, Konya, İstanbul ve Manisa'dır (TCEB, 2012).

1990'lı yılların başında 40 milyon dolar civarında olan doğaltaş ihracatımız 2000 yılında 188,7 milyon dolara, 2005 yılında 805,6 milyon dolara ulaşmıştır. Mermer ihracatı her yıl bir önceki yıla göre artarak devam etmiş ve 2006 yılında 1 milyar dolar sınırını geçmiştir. 2011 yılında ise doğaltaş ihracatı bir önceki yıla göre %6,6 artarak 1,7 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir. Son yıllarda ihracat rakamı 2 milyar dolar civarındadır. 200 farklı ülkeye ihracat yapılan doğaltaş ticaretinde Çin, ABD, Suudi Arabistan, Irak ve İngiltere ihracatımızda ilk sıralarda yer alan ülkeler olmuştur (Genç, 2004; İMİB, 2017).

Maden İşleri Genel Müdürlüğü maden üretim istatistiklerine göre ülkemizde yıllık yaklaşık 25 milyon ton doğaltaş ocak üretimi gerçekleştirilmektedir (MİGEM, 2017). Ocak verimliliğinin en iyimser rakamla %25 olması durumunda bile ocakta kullanılamayan pasa şeklinde her yıl 75 milyon ton atığın doğaya bırakıldığı söylenebilir. 5 milyon ton blok ihracatı yapıldığına göre bu durumda ülkemizde 20 milyon ton doğaltaşın işlendiği sonucuna varılabilir. Fabrikada doğaltaşların işlenmesi sırasında yaklaşık %40 oranında toz şeklinde kesim artıkları ve parça şeklinde paledyen artıkları oluşacaktır. Bunun miktarı da yıllık 8 milyon ton civarındadır. Bu rakamlar, çevresel etkiler oluşturacak, yeniden kullanılması veya bertaraf edilmesi gereken doğaltaş artıklarının miktarı konusunda bir fikir vermektedir.

Bu çalışmada, mermer sektörünün lokomotifi durumundaki Afyonkarahisar ili özelinde mermer üretiminden kaynaklanan artıkların miktarı, yıllar itibarıyla değişimi ve bunların bertarafı/depolanması araştırılmıştır.

2. DOĞALTAŞ ARTIKLARININ KARAKTERİSTİĞİ

Doğaltaş üretiminde oluşan artıklar ocakta blok üretimi sırasında oluşan ve fabrikada kesme-işleme sırasında oluşan artıklar olarak ikiye ayrılabilir.

Doğaltaş yatakları oluşumları itibarıyla çeşitli oranlarda yapısal süreksizlikler içerirler. Bunlar soğuma çatlakları olabildiği gibi tabakalanma düzlemleri veya metamorfizma sırasında oluşan tektonik temelli kırık çatlaklar da olabilmektedir. Yönelimleri ve sıklıkları değişen bu süreksizlikler nedeniyle hangi kesme yöntemi uygulanırsa uygulansın düzgün şekilli blok üretimi sırasında mutlaka küçük hacimde şekilsiz parçalar da elde edilecektir. Ekonomik değeri olmayan bu parçalar genellikle pasa ve moloz olarak adlandırılmakta ve ocak döküm sahasında depolanmaktadır.

Ayrıca blok üretimi sırasında kesici uçların (matkap ucu, elmas tel veya kollu kesici dişleri) doğaltaşı kesmesi işleminde küçük tane boylu kesim artıkları da meydana gelmektedir.

Fabrikada, büyük boyutlu bloklardan kalınlığı düşük yüzey alanı geniş plaka ve fayanslara doğru elmaslı soketlerle gerçekleştirilen kesme işlemlerinde ve elde edilen bu plakaların kenarlarının kesilmesiyle yapılan ebatlama işlemlerinde, ayrıca çeşitli aşındırıcı başlıklar kullanılarak yapılan parlatma işlemlerinde tane büyüklüğü 200μm altında toz şeklinde artık oluşmaktadır. Su ile kesim yapıldığı için toz artıklar şlam haline dönüşmektedir. Bunların dışında ebatlama ve plaka/fayansların kenarlarının düzgün hale getirilmesi için yapılan diğer kesimler sırasında paledyen adı verilen parça artıklar da oluşmaktadır. Blokların kesime hazırlık aşamasında traşlanması ve düzleştirilmesi sırasında oluşan artıklar ve kesim sonrası kullanılamayan kapak adı verilen parçalar da yine fabrika üretimi aşamasında oluşmaktadır. Nispeten büyük ebatlı bu parçaların bir kısmı süs amaçlı mermer ürünlerinin üretiminde değerlendirilse de diğer paledyen parçalar ve şlam artıklar sorun teşkil etmektedir.

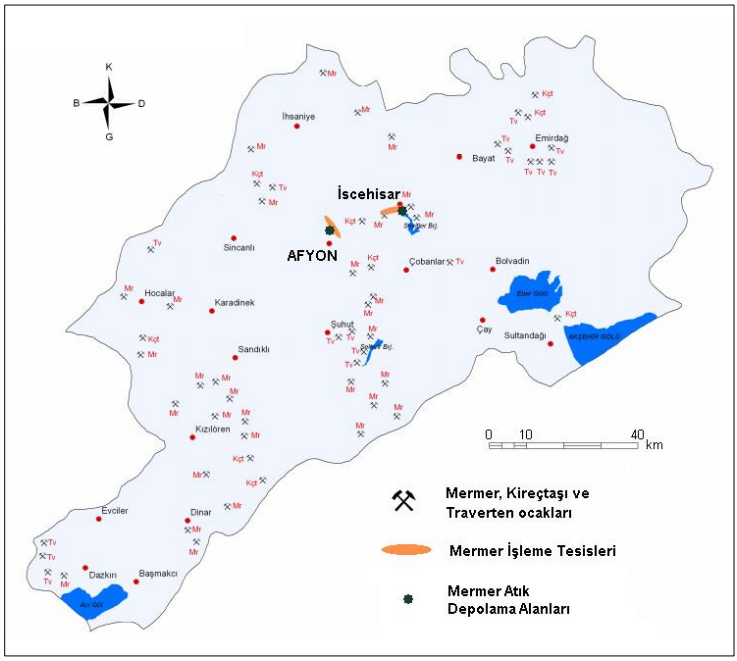
Doğaltaş artıklarının kimyasal bileşimi, kesilen doğaltaşın mineralojik bileşimiyle doğrudan ilgilidir. Ülkemizde $CaCO_3$ içerikli gerçek mermer ve kireçtaşları büyük oranda kesilip işlendiğinden artıkların bileşimi de önemli oranda $CaCO_3$ içermektedir.

Mermer artıkları, özellikle $CaCO_3$ içeriğindeki mermer artıkları başta olmak üzere, inşaat sanayinde, seramik sektöründe, çimento sanayinde, plastik sanayinde, kağıt sanayinde, tarım ve gübre sanayinde, yem sanayinde, boya sanayinde, yol yapımında, demiryolu zemin malzemesi olarak, cam sanayinde, kimya sanayinde ve diğer birçok alanda kullanılmaktadır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Afyonkarahisar'da ocaklarda üretilen ve fabrikalarda kesilip işlenen doğaltaşların neden olduğu artıkların miktarları ve çevresel etkileri araştırılmıştır. Çalışmanın yürütüldüğü Afyonkarahisar ilinde bulunan mermer ocakları, mermer işleme tesisleri ve buralarda üretilen mermerlerin artıklarının döküldüğü depolama alanları Şekil 1'deki harita üzerinde gösterilmiştir. Tüm doğaltaş ocakları Afyonkarahisar ili geneline yayılmış olmakla birlikte en önemli sahalar İscehisar

ilçesinde yoğunlaşmaktadır. Mermer işleme tesisleri ise İscehisar'da yoğun olmakla birlikte, şehir merkezi ile bu ilçe arasındaki yol çevresinde yayılmaktadır. Bir diğer mermer işleme tesislerinin yoğunlaştığı alan ise Afyonkarahisar Merkez Organize Sanayi Bölgesinde yer almaktadır.



Şekil 1. Afyonkarahisar ilinde bulunan mermer ocakları, işleme tesisleri ve artık depolama sahalarının konumları (MTA, 2017'den değiştirilerek alınmıştır)

3.1 Afyonkarahisar'da Mermer Üretimi ve Artıklar

Afyonkarahisar ilimizde, Afyonkarahisar Ticaret ve Sanayi Odası güncel verilerine göre 120 civarında mermer ocağı bulunmaktadır. Bunların her yıl 270 bin ton artık oluşturduğu ifade edilmektedir. Sektörün en büyük sorunu ocaklarda oluşan pasa artıkları ve doğadaki arazi bozulmaları sonucu oluşan görüntü kirliliğidir. Her ne kadar artıklar mozaik işleme tesislerinde tavuk yemi katkısı, beton agregası, yol malzemesi vb amacıyla kırılma işlemine tabi tutulsa da yeterli gelmemektedir. Bunun yanında oluşan mermer çamurları değerlendirilememektedir. Üretim sırasında oluşabilecek moloz ve pasa miktarına bir örnek İscehisar'dan Şekil 2'de verilmiştir.

Afyonkarahisar Ticaret ve Sanayi Odası'nın hazırladığı 2011-2013 dönemleri arasındaki kapasite raporlarına göre; blok üreten 59 firma, dekoratif doğaltaş üreten 57

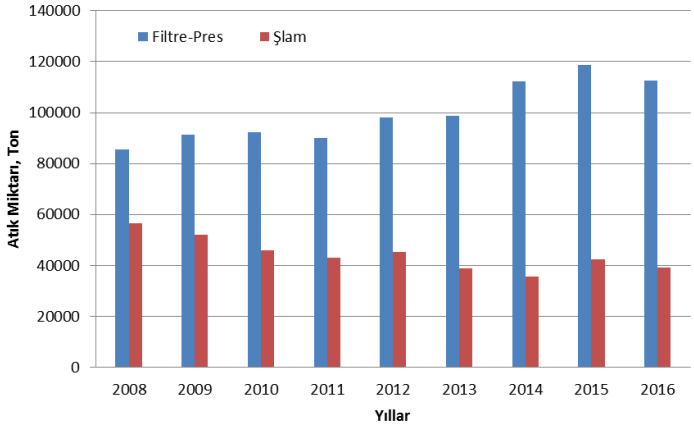
firma, doğaltaş plaka üreten 131 firma ve mermer dışındaki doğaltaş (andezit, oniks, granit) çalışan 3 firma bulunmaktadır. Yapılan üretimler sonucu oluşan artıkların durumu bu çalışmada araştırılmıştır.

Şekil 2. İscehisar ilçesinde üretim yapılan bir ocakta pasa oluşumu

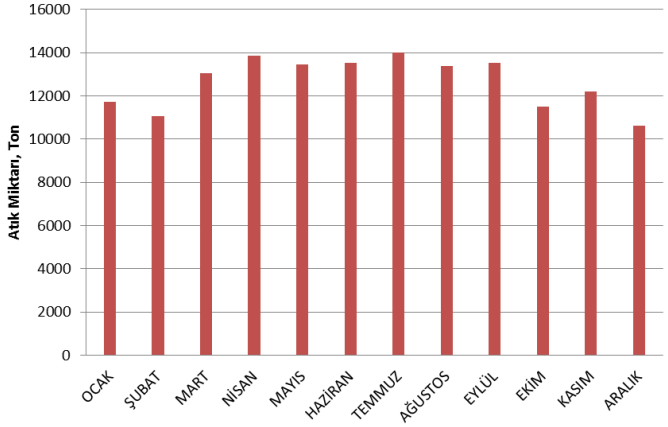
Ocaklardaki artıklar İscehisar ilçesinde bulunan mozaik fabrikalarında kırma işlemine tabi tutularak kalsiyum karbonat içerikli katkı maddesi yapılmaktadır. Bunun dışında kalan ocak artıkları ise yığınlar halinde ocakların döküm sahalarında yer almaktadır. Fabrika artıkları ise mermer depolama alanlarında depolanmaktadır. Bunların bir kısmı Afyon Çimento T.A.Ş. tarafından alınarak üretimde kullanılmaktadır. Bunun dışında kalan fabrika artıkları Afyonkarahisar Organize Sanayi Bölgesinde üç alanda, İscehisar yolunda bir ve ilçe merkezine yakın iki adet olmak üzere altı bölgede depolama alanına dökülmektedir. Bunlardan bazılarında mermer artıklarının dökümü artık yasaklanmış ve Afyonkarahisar Merkez Organize Sanayi Bölgesindeki mermer depolama alanı gibi izin verilen alanlara döküm yapılması istenmiştir.

Afyonkarahisar Merkez Organize Sanayi Bölgesi içerisinde yer alan 68 adet mermer işleme tesisinin yaklaşık 60 adedinde paledyen tipi katı artıklar herhangi işleme tabi tutulmamaktadırlar. Bu artıkların depolanmasında güçlükler yaşanmaktadır. Bunlar kırma eleme işleminden geçirilerek beton agregası, temel agregası, asfalt agregası olarak değerlendirilebilmektedir. Mermer işleme tesislerinde üretim sırasında bünyesinde %67 civarında su içeren şlam olarak adlandırılan sulu mermer çamuru atığı çıkmaktadır. Bunların depolanması zor olduğundan, bu çamurlar filtre-pres sisteminden geçirilerek bünyesindeki su oranı %18-19 civarına düşürülmekte böylelikle nakliyesi ve depolanması kolaylaşmaktadır. Mermer artık miktarları yıllar içinde olduğu gibi, aynı

yılın farklı zamanlarında da farklılıklar göstermektedir. Afyonkarahisar Merkez Organize Sanayi Bölgesi mermer işleme tesislerinin yıllar içinde oluşturduğu artıklar Şekil 3-4'de verilmektedir.



Şekil 3. Afyonkarahisar Merkez Organize Sanayi Bölgesi mermer işleme tesislerinin artıklarının yıllar içindeki değişimi



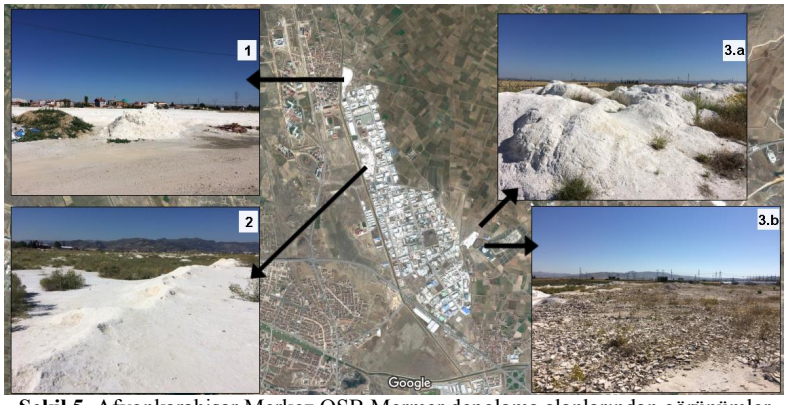
Şekil 4. Afyonkarahisar Merkez Organize Sanayi Bölgesi mermer işleme tesislerinin artıklarının 2016 yılı için aylar içindeki değişimi

Şekil 3-4'deki grafikler incelendiğinde, son yıllarda şlamdan ziyade filtre-pres şeklinde artıkların arttığı gözlenmektedir. Bunun sebepleri idari çevresel kısıtlamalar olduğu gibi ve aynı zamanda ekonomiktir. Bir kamyon atığın döküm sahasına nakliyesi 200 TL civarında olup 3 kamyon şlam atığın filtre-pres işlemiyle bir kamyona indirildiği düşünülürse şlam artıktaki azalma daha iyi anlaşılabilir. Bunun dışında, yazın

artan inşaat sektörü ihtiyacına paralel olarak artan mermer üretimi beraberinde artık miktarlarında da artışı getirmektedir.

3.2 Mermer Artıklarının Çevresel Etkileri

Afyonkarahisar ili mermer artıklarının oluşturduğu çevresel etkilerin başında görüntü kirliliği gelmektedir. Bunun dışında artıkların açık alanlarda depolanması sebebiyle hava, toprak ve su üzerinde olumsuz etkilerinin olması beklenebilir. Mermer depolama alanlarının oluşturduğu görsel kirliliğe örnek olarak İscehisar ve Afyonkarahisar Merkez Organize Sanayi Bölgesi mermer depolama alanlarından bazı görüntüler Şekil 5-6'da verilmiştir. Depolama alanlarında yapılan gözlemlerde herhangi bir toza rastlanmamıştır. Yalnızca döküm yapılan çeşitli tane boyuna sahip mermer toz artıkların beyaz görünümü dikkat çekmektedir.



Şekil 5. Afyonkarahisar Merkez OSB Mermer depolama alanlarından görünümler

Şekil 6. İscehisar mermer depolama alanından görünüm

Mermer artıklarının toprak ve yer altı suyuna olası etkisini incelemek için ana iki mermer depolama alanlarından, Afyonkarahisar Merkez Organize Sanayi Bölgesi (AOSB) ve İscehisar mermer artık depolama alanından, örnekler alınmış ve ICP-MS yöntemiyle kimyasal analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Mermer artık depolama alanlarından alınan örneklerin kimyasal analizi

Element	Birim	İscehisar	AOSB	Element	Birim	İscehisar	AOSB
Kalsiyum	g/kg	225.0	263.5	Titanyum	mg/kg	1,051	1,317
Magnezyum	g/kg	12.90	11.05	Kalay	”	0.645	0.889
Stronsiyum	mg/kg	567	455	Toplam Krom	”	0.334	1.02
Sodyum	”	376	372.5	Arsenik	”	0.305	0.29
Silisyum	”	262	206	Gümüş	”	0.255	0.883
Demir	”	115	16.96	Antimon	”	0.241	0.177
Potasyum	”	59.5	59.1	Vanadyum	”	0.079	0.444
Alüminyum	”	48.8	79.3	Uranyum	”	0.035	0.188
Toplam Fosfor	”	31.4	37	Lityum	”	<0.1	0.478
Bor	”	23.4	1.32	Talyum	”	<0.05	<0.05
Baryum	”	16	14.9	Berilyum	”	<0.05	<0.05
Bakır	”	4.96	6.56	Molibden	”	<0.05	<0.05
Kobalt	”	2.14	1.93	Kadmiyum	”	<0.05	0.055
Çinko	”	1.19	1.55	Kurşun	”	<0.05	<0.05
Nikel	”	1.06	1.17	Civa	”	<0.01	<0.01

İşlenen mermerler dikkate alındığında artıkların önemli oranda kalsiyum karbonat ve magnezyum karbonat bileşiminde olduğu anlaşılmaktadır. Artıklar, elementlerin oksit formunda olduğundan inert özelliktedir. İçinde bulunduğu alanda suya karışması durumunda sadece sertliğini artıcı etkisi olabilir herhangi bir kirletici etkisi yoktur. Mermer işleme tesislerinde kesici soketlerin aşınması ve bunun artık çamuruyla depolama alanlarına atılması sebebiyle herhangi bir olası ağır metal kirliliği de araştırılmıştır. Örneklerin ağır metal içerikleri, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın ilgili mevzuatında (TCÇŞB, 2010) belirtilen eşik değerlerin çok altında olduğundan herhangi bir risk içermemektedir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Mermer artıklarının ağır metal içeriği ve sınır değerler

Ağır Metal	Toprakta Sınır Değer (mg/kg)		Atıklar İçin Sınır Değer	İscehisar	AOSB
	6≤pH<7	pH≥7	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
Kurşun	70	100	750	<0.05	<0.05
Kadmiyum	1	1.5	10	<0.05	0.055
Krom	60	100	1000	0.334	1.02
Bakır	50	100	1000	4.96	6.56
Nikel	50	70	300	1.06	1.17
Çinko	150	200	2500	1.19	1.55
Civa	0.5	1	10	<0.01	<0.01

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Afyonkarahisar ilindeki mermer üretiminin çevresel etkileri incelenmiştir. Türk doğaltaş sektörünün lokomotifi durumundaki Afyonkarahisar yöredeki mermer ocaklarında üretilen blokların yanı sıra diğer illerden gelen blokların da işlendiği önemli bir merkez konumundadır. Bu üretimin bir yansıması da oluşan artıklardır.

120 civarında mermer ocağında her yıl 270 bin ton artık oluşmakta, bunların önemli bir kısmı kırma eleme ile beton agregası, yol malzemesi vb. alanlarda yeniden kullanılmaktadır. Sayıları 200 civarında olan mermer blok işleme tesislerinde oluşan kapak olarak ifade edilen nispeten büyük boyutlu artıklar, süs eşyası olarak değerlendirilmekte, paledyen türü artıklar yine kırma eleme ile agrega şeklinde değerlendirilmektedir. Diğer küçük işletmelerle birlikte daha çok şlam veya filtre-pres ürünü kek artıklar depolama alanlarında depolanarak bertaraf edilmektedir.

Merkez Organize Sanayi Bölgesinde oluşan artık miktarları baz alınacak olursa 2024 yıl sonu itibariyle buradaki artık depolama alanının tamamen dolması düşünülmektedir. Ancak şlam çamur miktarının azaltılması döküm sahasının fiziki ömrünün uzamasına etken olacaktır. Filtre-pres artıkların miktarının özellikle 2015 yılından itibaren bir artış olduğu tespit edilmiştir. Bunun bir sebebi artıkların nakliye giderleridir. Diğer sebebinin Devlet Su İşleri Müdürlüğü'nün Türkiye genelinde yer altı su seviyesindeki azalmanın önüne geçmek için işletmelerin kuyularına sayaç takması olduğu düşünülmektedir.

Artıkların çevresel etkileri dikkate alındığında en önemli etkinin görüntü kirliliği olduğu anlaşılmaktadır. Çok ince tane boyutundaki artıklar daha çok depolama alanlarında bulunmaktadır. Bunlar doğal membran görevi gördüğünden içeriğindeki suyun drene olarak çevreyi etkilemesi de mümkün görünmemektedir. Ayrıca, kimyasal bileşimi itibarıyla inert olan bu malzemenin ağır metal vb. zehirleyici veya kirletici herhangi bir içeriği de bulunmamaktadır.

Şlam bouyutundaki artıkların yine de gelişigüzel açık alanlara dökülmesi doğru değildir. Dere yataklarının dolmasına neden olabileceğinden taşkınlara sebep olabilir. Böyle durumlarda toprağın üstünü örterek su tutma kapasitesini azaltır. Ayrıca bitkilerin üzerini örterek büyümesini engelleyebilir. Yine karsu, dere ve nehirde yaşayan canlıları olumsuz etkiler.

Bugün artıkların bertarafı konusunda Afyonkarahisar örnek teşkil edecek bir konumda sayılabilir. Mevcut geri dönüşüm miktarı dikkate alındığında pek yakında ocaklardaki pasa yığınlarının tamamen tükenecekleri düşünülmektedir. Fabrika üretiminde meydana gelen artıkların da önemli bir kısmı agrega, katkı ve dolgu malzemesi olarak yeniden değerlendirilmektedir. Bu durum mevcut depolama alanlarının ömrünün uzamasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

ETKB, 2017. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Doğaltaş Üretim ve İhracat İstatistikleri (http://www.enerji.gov.tr /tr-TR/Sayfalar/Dogal-Taslar.

Genç, Ö., 2004. Blok Mermer ve Mermer İşleme Sektörü, Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş. Sektör Araştırma Raporları, SA-04-06-27, 24 s.

İMİB, 2017. İstanbul Maden İhracatçıları Birliği, 2017, 2016 ve Öncesi Maden İhracat Rakamları (http://www.imib.org.tr/tr/istatistikler-2/)

MİGEM, 2017. Maden İşleri Genel Müdürlüğü, Maden Üretim İstatistikleri (http:// www. migem.gov.tr /istatistikler/ istatistik.html).

MTA, 2017. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, İl Maden Potansiyelleri, Afyonkarahisar İli Maden ve Enerji Kaynakları, 6 s.

TCEB, 2012. T.C. Ekonomi Bakanlığı Sektör Raporları, Doğaltaş Sektörü, İhracat Genel Müdürlüğü, Maden, Metal ve Orman Ürünleri Daire Başkanlığı, 6 s.

TCÇŞB, 2010. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik, Resmi Gazete, Tarihi: 08.06.2010, Sayısı: 27605.

KIRMIZI ÇAMUR ARTIKLARINDAN SKANDİYUM KAZANIMI
RECOVERY OF SCANDIUM FROM RED MUD WASTES

Hüseyin BAŞTÜRKCÜ*, Atıf DEMİRCAN, Neşet ACARKAN, A. Ekrem YÜCE

İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE.

* Sorumlu Yazar: basturkcut@itu.edu.tr

ÖZET: Ülkemizde, çok bilindik kaynaklardan çeşitli cevherlerin üretimi gerçekleştirilmekte, ortaya çıkan artıkların içerdikleri çok düşük oranlarda birçok mineral/metal, "ekonomik olmadıkları (!)" ya da "teknolojik yetersizlikler (!)" gibi nedenlerle artıklar içinde bırakılmaktadır. Oysa, Dünya örneklerinden de görüleceği üzere; çok düşük miktarlarda tüketim oranlarına karşın çok yüksek ekonomik değerler ifade eden bir çok nadir mineral/metal'in günümüz teknolojileriyle kazanılması, çok yüksek tonajlarda üretimi gerçekleştirilen mineral kaynaklarına kıyasla çok daha yüksek getiriler sağlamaktadır. Skandiyum, yukarıda sözü edilen nadir metallerden birisi olup, kırmızı çamur içerisinde kazanımı ekonomik olabilecek oranlarda bulunmaktadır.

Bu araştırma kapsamında; ülkemizde potansiyel skandiyum kaynağı olarak öngörülebilecek alüminyum üretimi artıklarından, Skandiyum oksit (Sc_2O_3) üretimi olanakları incelenmiştir. Hali hazırda ortalama 120 ppm Sc içerikli kırmızı çamurlardan ekonomik olarak skandiyum-oksit üretimi; gerek artıklardan geri kazanım, gerek önemli bir değerin ekonomiye kazandırılması, ve aynı zamanda madencilik teknolojisine ciddi katkılar yaratması açısından son derece uygulanabilir bir yöntem olarak düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Skandiyum, Geri kazanım, Sürdürülebilir madencilik

ABSTRACT: *In recent years, well-known resources have been utilized to obtain commercial products, however, several mineral/metals have been left in tailings, because of "unfeasibility (!)" and "insufficient technology (!)" reasons. In fact, according to the examples in the world, recovery of rare mineral/metals with existing the technology provides higher income, when compared with recovery from conventional mineral resources with high capacity. Therefore, recovery of*

mineral/metals from tailings has increased in importance. Scandium, which is one of the rare metals above-mentioned, exists in red muds with economical operation contents.

In this study, recovery of scandium oxide (Sc_2O_3) from a potential scandium reserve – aluminum production wastes was investigated. Utilizing red mud, which contains 120 ppm Sc, is thought to be nonutopian in terms of evaluation of wastes, production of value-added concentrates, and contribution to mining technology.
Keywords: *Scandium, Recovery from tailings, Sustainable mining*

1. GİRİŞ

Sürdürülebilirlik, günümüz ihtiyaçlarının teknolojik gelişmeler ve çevresel duyarlılıklarla en uygun şekilde karşılanması; bunu sağlarken de gelecek nesiller için olumsuz bir durum oluşturulmaması olarak tanımlanabilir. Madencilik sektörü açısından sürdürülebilirlik, yeraltı kaynaklarının değerlendirilmesi ile birlikte eğitim, teknoloji, sosyal ve altyapı yatırımlarına da olanak sağlamaktadır.

Bu kapsamda ülkemizde; madenlerin çıkarılması, zenginleştirilmesi veya depolanması sonucunda ortaya çıkabilecek artıkların, üretiminden nihai bertarafına kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde yönetilmesine ilişkin çeşitli yasa ve yönetmelikler bulunmaktadır. Uluslararası alanda ise, Birleşmiş Milletler Ekonomik ve Sosyal Kalkınma Birimi, Sürdürülebilir Kalkınma Birimi, Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve Dünya Bankası gibi kuruşlar ile çeşitli sivil toplum kuruluşları bu konuda sorumluluk projeleri yürütmektedirler.

Madencilik faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan artıkların depolanması, madenciliğin karşılaştığı önemli mühendislik problemlerinden birisi olmaktadır. Gerek çevrenin korunması ve gerekse artıklardan geri kazanım "Sürdürülebilir Madencilik" anlayışının önemli bir adımını oluşturur. Bu noktada, madencilik artıklarının farklı sektörlerde kullanılması amacıyla değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Ekonomik değerler ifade eden bir çok nadir mineral/metal'in günümüz teknolojileriyle kazanılması, çoğu durumlarda çok yüksek tonajlarda üretimi gerçekleştirilen mineral kaynaklarına kıyasla çok daha yüksek getiriler sağlamaktadır. Bu tür mineral/metal'lerin artıklar içerisinden kazanımı ise daha anlamlıdır.

Skandiyum, sözü edilen nadir metallerden birisi olup, alüminyum tesisi artığı olan kırmızı çamur (red mud) içerisinde, kazanımı ekonomik olabilecek oranlarda bulunmaktadır. Skandiyum ve diğer bazı nadir metallerin artıklardan kazanımın mümkün olduğu duruma örnek olarak ülkemizde Seydişehir Alüminyum tesisi verilebilir.

Bu araştırma kapsamında; ülkemizde potansiyel skandiyum kaynağı olarak öngörülebilecek alüminyum üretimi artıklarından, Skandiyum oksit (Sc2O3) üretimi olanakları incelenmiştir. Hali hazırda ortalama 120 ppm Sc içerikli kırmızı çamurlardan (Seydişehir), ekonomik olarak skandiyum-oksit üretimi; gerek artıklardan geri kazanım gerekse önemli bir değerin ekonomiye kazandırılması, ve aynı zamanda madencilik teknolojisine ciddi katkılar yaratabilecek bir yöntem olarak düşünülmektedir.

2. SKANDİYUM

Skandiyum, nadir toprak elementleri sınıfında yer alır. Skandiyum, genellikle metalik mineraller içeren cevherlerin yapısında bulunmakta ve bu cevherlerden yan ürün olarak üretilmektedir. Skandiyum, yeryüzündeki seyrek dağılımı ve zenginleştirilmesindeki zorluklar nedeniyle nadir ve pahalı bir metaldir. 2015 yılsonu fiyatlarıyla, %99,9 saflıktaki skandiyum metali 15.000 US$/kg iken, %99,0'luk skandiyumoksit (Sc_2O_3) fiyatı 4.200 US$/kg'dir. 2015 yılında skandiyum, başlıca katı yakıt hücrelerinde ve alüminyum-skandiyum alaşımlarında kullanılmıştır. Bunların dışında; seramik, elektronik, lazer, ışıklandırma ve radyoaktif izotop üretiminde de skandiyumdan yararlanılmaktadır (USGS, 2016).

Skandiyum içerdiği bilinen başlıca mineraller tortveitit, öksenit ve gadolinit olup, yeryüzünde nadiren bulunmaktadırlar. Ayrıca, demir ve alüminyum içeren minerallerin bünyesine yer değiştirme yoluyla giren skandiyum, ferromagnezyen minerallerde 5-100 ppm arasında değişen bir içerikte bulunabilmektedir (von Knorring ve Condliffe, 1987; Kristiansen, 2003).

Alüminyum ve demir dışında kobalt, molibden, nikel, fosfat, tantal, kalay, titanyum, tungsten, uranyum, çinko ve zirkonyum cevherlerinin içinde de düşük oranlarda bulunabilmektedir (Hedrick, 2010b). Skandiyum içeriği %0,002-0,005 olan cevherler skandiyum kaynağı olarak görülmekte ve üretimi ekonomik olarak değerlendirilmektedir (Xu ve Li, 1996).

Skandiyum kaynaklarına sahip başlıca ülkeler Amerika, Avustralya, Çin, Kazakistan, Madagaskar, Norveç, Rusya ve Ukrayna'dır (Munnoch ve Worstall, 2003; Hedrick, 2010a). Amerika'da uranyum, tantal, alüminyum ve zirkonyum cevherleri; Avustralya'da lateritik nikel cevherleri; Çin'de demir, kalay ve tungsten Kazakistan'da uranyum cevherleri; Madagaskar ve Norveç'te pegmatit kayalar; Rusya ve Ukrayna'da ise demir cevherleri önemli skandiyum kaynakları olarak bilinmektedir.(Wang vd., 2011).

2.1 Skandiyum Üretimi

Skandiyum üretiminde, enerji maliyetleri göz önünde bulundurularak, pirometalürjik yöntemlerden daha çok hidrometalürjik yöntemler önem kazanmakta olup, ön ısıtma, liç, solvent ekstraksiyon, çöktürme ve kalsinasyon kademelerini kapsayan prosesler tercih edilmektedir. Bu nedenle, selektif çözündürme yöntemleri geliştirilerek yeni proses akım şemalarının oluşturulması ve bu proseslerin ekonomikliği büyük önem kazanmıştır (Wang vd., 2011). Bu kapsamda, skandiyumun üretilmesi amacıyla, ülkemizde bulunan lateritik cevherler ve kırmızı çamur gibi yerli kaynaklarımız üzerinde çalışmalar yapılması gerektiği düşünülmektedir.

Bugüne kadar skandiyum kazanımı üzerine yapılan çalışmalar; nadir toprak elementleri, uranyum, alüminyum, titanyum, tungsten, nikel, tantal ve niobiyum cevherlerinden farklı metalürjik prosesler ile gerçekleştirilmiştir. Ancak, skandiyum içeriği ve ulaşılabilirliği açısından bakıldığında, kırmızı çamur ve lateritik nikelllerin çok önemli birer skandiyum kaynağı olduğu düşünülmektedir. Kırmızı çamurdan skanadiyum kazanımı için pilot ölçekte bazı tesisler bulunmakta iken, lateritik cevherlerden kazanım için kurulma aşamasında olan tesisler mevcuttur.

3. ALÜMİNYUM CEVHERİ ÜRETİM ARTIKLARININ (KIRMIZI ÇAMUR) DEĞERLENDİRİLMESİ

En iyi bilinen alüminyum minerali olan boksit, alüminyum oksit ve hidroksitleri ile beraber demir oksit safsızlıklarını (emprütelerini) içermektedir. Günümüzde, boksitlerden alümniyum üretimi Bayer prosesi ile gerçekleştirilmektedir. Bu proseste cevher 140-300^{o}C sıcaklıklarda kostik çözelti ile hazımlaştırılır. Üretilen her bir ton

alüminyuma karşılık eşit miktarda ve bazik karakterde, kırmızı çamur adı verilen, şlamlı bir artık elde edilmektedir (Solymar et al., 1976; Banvolgyi et al., 1992).

Kırmızı çamur temel olarak demir, kalsiyum, alüminyum, silis, titanyum ve sodyum ile birlikte ekonomik değere sahip vanadyum, zirkonyum, niobiyum, nadir toprak elementleri ve skandiyum içerir (Ochsenkuhn-Petropulu et al., 1995). Ancak kırmızı çamurun bileşimi, boksit cevherinin bulunduğu yatağın jeolojisine ve üretim yöntemine göre değişim gösterebilir.

Ochsenkuhn-Petropulu vd. (1996) kırmızı çamur numunesine XRD analizleri yaparak temel mineral bileşenlerini saptamışlardır. Bu incelemede; hematit, maghemit, kalsit, kalsiyum-titanat, kalsiyumsilikat, rutil, diaspor, alüminyumsilikat ve alüminyumsodalit minerallerine ait pikler gözlenmiştir. Dünya genelinde ülkelere göre kırmızı çamurlara ait kimyasal bileşimler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Ülkelere Göre Kırmızı Çamurların Kimyasal Bileşimleri (Wang vd., 2011).

Ülke	Fe_2O_3 %	Al_2O_3 %	CaO %	SiO_2 %	TiO_2 %	Na_2O %	Sc_2O_3 ppm
Avustralya	28,5-56,9	15,6-24	2,3-5,3	3,0-30,0	3,1-8,0	2,2-8,6	-
Brezilya	45,6	15,1	1,2	15,6	4,3	7,5	-
Çin	3,0-6,2	5,0-8,6	34,0-39,5	19,0-20,8	2,1-3,6	2,1-4,5	41,2-92,5
Almanya	44,8	16,2	5,2	5,4	12,3	4	-
Yunanistan	42,5	15,6-24	19,7	9,2	5,9	2,4	105-156
İtalya	15,2	24,7	4,2	18,6	6,2	11,7	-
Jamaika	42,3	16,4	9,1	7,8	6	4,6	150-172
Rusya	19,7-46,0	11,8-15,4	10,6-30,2	5,2-8,5	6	5	80-120
İspanya	37,5	21,2	5,5	4,4	11,5	3,6	-
ABD	35,5	18,4	7,73	8,5	6,31	6,1	-

3.1 Kırmızı Çamurdan Skandiyum Kazanımı

Skandiyum, tuvenan halde bulunuşuna göre, kırmızı çamurda iki kat daha zengin olarak bulunabilmektedir. Örneğin, Jamaika tuvenan boksitinde 87-113 ppm arasında değişen içeriklerde Sc_2O_3 bulunurken, kırmızı çamurunda bu değer 200-390 ppm seviyelerine ulaşmaktadır (Wagh ve Pinnock, 1987). Ayrıca, Yunanistan'da elde edilen bir kırmızı çamurun Sc içeriği, tuvenan cevherdeki içeriğine göre bir miktar daha zenginleşerek, 130 ppm (%0,02 Sc_2O_3) civarına yükselmiş olup, ekonomik bir skandiyum kaynağı olarak görülmektedir (Ochsenkuhn-Petropulu vd., 1994).

Bu nedenle, Bayer prosesi artığı olan kırmızı çamurlar potansiyel bir skandiyum kaynağı olarak düşünülmektedir. Ancak skandiyumun bu malzemeden doğrudan kazanımı, özellikle yüksek demir, titan ve alüminyum içeriklerinden dolayı

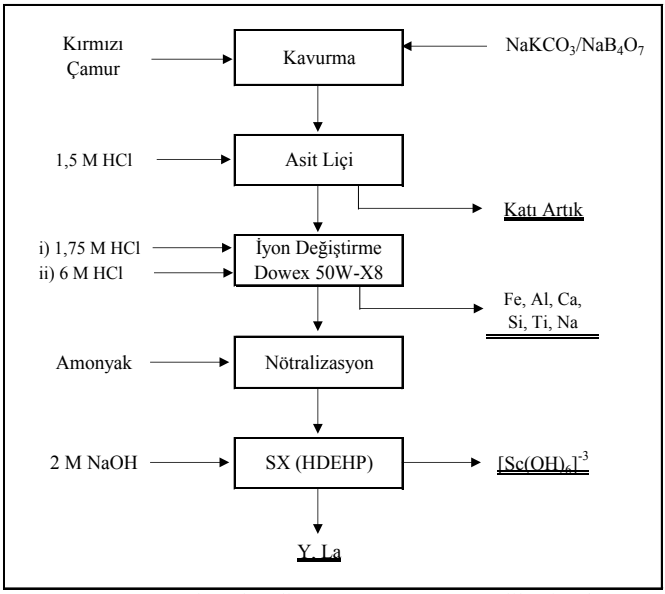
zorlaşmaktadır. Örneğin, Avustralya'nın farklı bölgelerindeki kırmızı çamurların ortalama demir içerikleri %28,5-56,9 arasında, alüminyum içerikleri ise %15,6-24,0 arasında değişiklik göstermektedir (Wang vd., 2011). Bu bileşenlerin liç esnasında çözeltiye geçmesi durumunda, yüklü çözeltinin karmaşık bir iyon yapısına sahip olacağı ve bu iyonların seçimli bir şekilde birbirinden ayrılmasında zorluklar yaşanması kaçınılmazdır.

Kırmızı çamurdan skandiyum kazanımına yönelik pek çok çalışma bulunmaktadır. Piga vd. (1993) ve Rayzman and Filipovich (1999) pirometalürjik ve hidrometalürjik yöntemleri kapsayan prosesler geliştirmişlerdir. Kırmızı çamuru kömür, kireç ve sodyum karbonat ile karıştırarak 800-1000^{o}C sıcaklık altında kavurduktan sonra 65^{o}C sıcaklıkta su ile çözündürmeye tabi tutarak kalan alüminyum çözeltiye geçirilmiş ve kahverengi çamur adı verilen kek elde edilmiştir. Bu kekten, doğrudan %99 Fe içerikli pik demir üretilebilirken, geriye kalan %1 oranındaki curufta ise 420 ppm civarında skandiyum, 1470 ppm lantanit oksitler, 180 ppm itriyum ve %19,4 TiO_2 bulunmaktadır. Bu ürün üzerinde uygulanan H_2SO_4 liçi sonrasında titanyum ve skandiyumca zengin bir yüklü çözelti elde edilmektedir.

Zhou vd. (2008)'a göre kırmızı çamur; 6 M HCl, ¼ katı-sıvı oranı, 60^{o}C sıcaklık ve 4 saat liç süresinde tamamen çözündürülebilmektedir. Elde edilen yüklü çözeltide 8 mg/L Sc, 9,2 g/L Na, 7 g/L Fe, 12,4 g/L Ca, 14,8 g/L Al ve 2,8 g/L Ti bulunmaktadır. Bu çözelti üzerinde tri-butyl phosphate (TBP) ile modifiye edilmiş aktif karbon ile adsorpsiyon işlemi uygulandığında ise skandiyumun tamamı aktif karbona yüklenebilmektedir. Ancak titanyumun da adsorbe olmasıyla, skandiyum adsorpsiyon verimi düşmektedir.

Ochsenkuhn-Petropulu vd. (1996), lantanit, skandiyum ve itriyumun seçimli çözündürülmesi için sülfürik asit, nitrik asit ve hidroklorik asitin etkisini incelemiştir. Nitrik asitin kullanıldığı deneylerde, skandiyum-demir seçiciliğinde daha iyi sonuç alındığı anlaşılmıştır. Kırmızı çamurdan skandiyum kazanımına yönelik örnek bir akım şeması Şekil 1'de verilmiştir. Buna göre, borat/karbonat ile birlikte 1100^{o}C sıcaklıkta ve 20 dk süre boyunca kavurma işlemine tabi tutulan kırmızı çamura daha sonra 1,5 M HCl ile liç yapılmaktadır. Katı-sıvı ayırımını takiben, sülfonik asit türevi olan Dowex® 50WX8 iyon değiştiricisi ($(C_{10}H_{12}.C_{10}H_{10}.C_8H_8)_x$) kullanılarak Fe, Al, Ca, Si, Ti ve Na gibi safsızlıkların uzaklaştırılması sağlanmaktadır. İki aşamada gerçekleştirilen sıyırma

işlemi için yüksek konsantrasyonda asit kullanıldığından, skandiyumun seçimli bir şekilde ayrılacağı solvent ekstraksiyon öncesinde nötrleştirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Nötrleştirme sonrasında, nadir toprak elementlerinin solvent ekstraksiyonunda sıkça kullanılan HDEHP (bis-2-ethyl(hexyl) phosphoric acid) isimli ekstrant kullanılarak skandiyum organik faza alınırken, itriyum ve lantanditler sıvı fazda kalmaktadır. Son olarak, 2 M NaOH çözeltisi ile sıyırma işlemi yapılarak $Sc(OH)_6$ elde edilmektedir (Ochsenkuhn-Petropulu et al., 1995). Çözeltiye skandiyum ile birlikte çok yüksek oranda safsızlıkların geçmesi, iyon değişimi ve solvent ekstraksiyon işlemleri sonrasında skandiyum kazanım veriminde düşüşlere neden olmaktadır. Ayrıca, bu aşamalarda fazla miktarlarda asit tüketilmesi nedeniyle de işletme maliyetleri yükselmektedir.



Şekil 1. Kırmızı Çamurdan Skandiyum Kazanımına Yönelik Bir Akım Şeması

Ochsenkuhn-Petropulu vd. (1996)'nın nadir toprak elementlerinin seçimli çözündürmesi üzerine yapmış olduğu çalışmada, 0,5 M HNO_3 kullanarak %80 skandiyum, %96 itriyum ve %70 iterbiyum çözündürme verimlerine ulaşmıştır. Bu çalışmada, literatürde sıklıkla geçen, çözündürme öncesi oksidasyon, kavurma ya da manyetik ayırma gibi ön işlemlere gerek duyulmadığı belirtilmektedir. Ayrıca,

Ochsenkuhn-Petropoulou vd. (2002)'ye göre atmosferik basınç ve oda sıcaklığında HNO_3 kullanılarak çalışması planlanmış bir pilot tesis bulunmakadır.

Kırmızı çamurun kuvvetli alkali özellik göstermesi nedeniyle, Na^+ iyonu baskınlığında yüksek tuz içeriği ve elektriksel iletkenliğe sahip olduğu bilinmektedir. Bu noktada birçok jeokimyacı, bu malzeme için en önemli parametrenin pH olduğunu ve pH değerindeki bir değişimin, beraberinde birçok değişikliği de getireceğini belirtmektedir (Gräfe vd., 2011).

4. SEYDİŞEHİR ALÜMİNYUM TESİSİ ARTIKLARI

Günümüzde Eti Alüminyum Seydişehir Tesislerine ait açık ocakta 50 milyon tona yakın bir cevher rezervi, artık barajında ise 6 milyon ton kırmızı çamur olduğu ifade edlmektedir (Onüçyıldız ve ark., 2013). Sözkonusu tesisin harita üzerindeki konumu Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2. Seydişehir Alüminyum Tesisi

Seydişehir kırmızı çamur numunesi üzerinde İstanbul Teknik Üniversitesi Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında öncelikle numune özelliklerini belirlemeye yönelik kapsamlı bir inceleme yapılmış, bunu takiben kimyasal çözündürme yöntemiyle optimum koşullarda Sc çözündürme koşulları araştırılmıştır. Çözündürmeye ilişkin optimizasyon ve çözeltiden kazanım çalışmalarının halen devam ettiği bu araştırma kapsamında elde edilen ilk sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Kırmızı çamur numunesinin 119 ppm Sc, >500 ppm Ce, %24 Fe, 140 ppm La, 162 ppm Li, 98 ppm Nb, %2,93 Ni, 431 ppm V ve 134 ppm Y içerdiği belirlenmiştir.
- Doğal pH değeri 10,5 olarak belirlenmiştir.

- Malvern boyut ölçüm cihazı ile yapılan analize göre kırmızı çamur numunesinin d_{80} tane boyutu 7 μm civarındadır.
- Kırmızı çamur üzerinde asit ile kademeli çözündürme deneyleri yapılmıştır. %40 pülpte katı oranında, 90ºC sıcaklıkta ve 2 saat liç süresinde gerçekleştirilen liç deneyi sonucunda %90 Al, %95 Fe ve %95 Sc çözünme verimlerine ulaşılmıştır.
- Elde edilen yüklü çözelti üzerinde metallerin seçimli kazanımına yönelik optimizasyon çalışmaları sürdürülmektedir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Sürdürülebilir madencilik olgusu kapsamında, ülkemizdeki maden artıklardan geri kazanım proseslerinin geliştirilmesi, uygulamalı mühendislik çalışmalarının yürütülmesi, buna paralel olarak her türlü hammaddenin maksimum verim ile değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu konularda çalışmak, teknolojik araştırma ve gelişmeleri arttıracağı gibi, Türkiye ekonomisine küçümsenmeyek katkılar sağlayacaktır.

Maden artıklarından geri kazanım yaklaşımıyla yerli kaynaklardan skandiyum üretimi, Türkiye'de yeni başlatılmış olan nadir metallerin değerlendirilmesine yönelik araştırmaların bir adımını oluşturmaktadır. Yapılan ve yapılacak olan çalışmalara ait sonuçlar olumlu çıktığı takdirde yatırımlara gidilebilecek, cevherlerden elde edilecek skandiyum ürünlerinin ihracatı, doğal olarak, ek katma değerler yaratacaktır.

Yapılan ön ekonomik değerlendirmelere göre, Seydişehir'deki boksit işletmesinin işletilebilir tuvenan cevher rezervi ile halihazırda bulunan artık miktarı ve güncel skandiyum metal fiyatları dikkate alındığında bu işletmeden %85 nihai kazanma verimleriyle üretilebilecek 30 milyar US $'lık bir potansiyel bulunmaktadır. Bu çalışma ve benzeri araştırmalarla; ülkemiz madencilik sektöründe artıklardan geri kazanım, nadir metallerin değerlendirilmesi ile hem ekonomik katma değer yaratmak hem de madenciliğin sürdürülebilirliğine ilişkin konulara bir açılım sağlanabileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

Banvolgyi, G., Zoldi, J., Siklosi, P., Ferenczi, T., Csordas, A., Feher, I., Tassy, I., Varju, N., Sajo, I., 1992. Process for producing alumina. United States Patent No. 5122349.

Gräfe, M., Power, G., Klauber, C. 2011. Bauxite residue issues: III. Alkalinity and associated chemistry. Hydrometallurgy 108, 60–79

Hedrick, J.B., 2010a. Scandium.Mineral Commodity Summaries 2010. U.S. Geological Survey.

Hedrick, J.B., 2010b. Rare Earth. Minerals Yearbook 2007. U.S. Geological Survey.

Kristiansen, R., 2003. Scandium — Mineraler I Norge. Stein: 14–23. http://www.nags.net/Stein/2003/Sc-minerals.pdf.

Munnoch, S., Worstall, T., 2003. Scandium. Report of Minor metals Trade Association.

von Knorring, O., Condliffe, E., 1987. Mineralized pegmatites in Africa. Geol. J. 22, 253–270.

Ochsenkuhn-Petropulu, M., Lyberopulu, Th., Parissakis, G., 1994. Direct determination of lanthanides, yttrium and scandium in bauxites and red mud from alumina production. Anal. Chim. Acta 296, 305–313.

Ochsenkuhn-Petropulu, M., Lyberopulu, Th., Parissakis, G., 1995. Selective separation and determination of scandium from yttrium and lanthanides in red mud by a combined ion exchange/solvent extraction method. Anal. Chim. Acta 315, 231–237.

Ochsenkuhn-Petropulu, M., Lyberopulu, Th., Ochsenkuhn, K.M., Parissakis, G., 1996. Recovery of lanthanides and yttrium from red mud by selective leaching. Anal. Chim. Acta 319, 249–254

Ochsenkuhn-Petropoulou, M.T., Hatzilyberis, K.S., Mendrinos, L.N., Salmas, C.E., 2002. Pilot-plant investigation of the leaching process for the recovery of scandium from red mud. Ind. Eng. Chem. Res. 41, 5794–5801.

Onüçyıldız, M., Demiröz A., Büyükkaracığan, N., Saylam, İ.K., 2013; Seydişehir Kırmızı Çamur Atık Barajı İyileştirme Planı; Sosyoteknik Sosyal ve Araştırmalar Dergisi, Yıl: 3, Sayı: 5, Kasım 2013, S: 23-41.

Piga, L., Pochetti, F., Stoppa, L., 1993. Recovering metals from red mud generated during alumina production. JOM 45, 54–59.

Rayzman, V.L., Filipovich, I.K., 1999. Integrating coal combustion and red mud sintering at an alumina refinery. JOM 51 (8), 16–18.

Solymar, K., Zambo, J., Orban nee Kelemen, M., Bujdoso, E., Feher, I., Ozvald, Z., Voros, I., Ferenczi, T., Toth, P., Lazar, F., Pinter, T., Sigmond, G., Siklosi, P., Wentzely, K., Lengyel, L., Matyasi, J., 1976. Method for processing bauxites. United States Patent No. 3944648.

USGS Mineral Commodity Summaries 2016.

Xu, S., Li, S., 1996. Review of the extractive metallurgy of scandium in China (1978–1991). Hydrometallurgy 42, 337–343.

Wagh, A.S., Pinnock, W.R., 1987. Occurrence of scandium and rare earth elements in Jamaican bauxite waste. Econ. Geol. 82, 757–761.

Wang, W., Pranolo, Y., Cheng, C.Y. Metallurgical processes for scandium recovery from various resources: A review. Hydrometallurgy 108 (2011) 100–108.

Zhou, H., Li, D., Tian, Y., Chen, Y., 2008. Extraction of scandium from red mud by modified activated carbon and kinetics study. Rare Met. 27, 223–227.

AN OVERVIEW ON METALLURGICAL WASTES, RECYCLING AND THE ENVIRONMENT

METALURJİK ATIKLAR, GERİDÖNÜŞÜM VE ÇEVRE ÜZERİNE GENEL BİR BAKIŞ

İbrahim SÖNMEZ

Hitit University, Metallurgical and Materials Engineering Dept., Çorum, TURKEY

ibrahimsonmez@hitit.edu.tr

ABSTRACT: Since almost all of the easily identified mineral deposits are consumed at a great speed, today, especially non-ferrous metals can be produced with more difficult and complex methods. As civilization progressed, much more complex processes were required for the production of metals from ores and various methods of production were developed. As a result, the mining and metallurgy industries in which mines and metals that are important to human history are produced is the largest sources of waste. The Waste Management Pyramid is very important for waste management, including waste reduction, collection, temporary storage, intermediate storage, recycling, transport, disposal and post-disposal control. Although there are laws, regulations and communiqués for the management and disposal of industrial wastes in Turkey, it is difficult to say that we are at a desirable level with regard to practical applications because metallurgical waste management is a difficult activity. In this study, iron-steel and aluminum production wastes which are important in terms of importance and quantity; and importance and applications of iron-steel, aluminum, copper, lead, zinc and silver recycling were tried to be evaluated.

Keywords: Metallurgy, Waste, Recycling, Environment

ÖZET: *Kolayca tespit edilmiş maden yataklarının hemen hemen tamamı büyük bir hızla tüketildiği için, günümüzde özellikle demir dışı metaller daha zor ve karmaşık yöntemlerle üretilebilmektedir. Uygarlık ilerledikçe, metallerin cevherlerden üretimi için gereken çok daha karmaşık işlemler ve çeşitli üretim yöntemleri geliştirildi. Bunun sonucunda da insanlık tarihi için önemli olan madenler ve metallerin üretildiği madencilik ve metalurji endüstrisi en büyük atık kaynakları olmuştur. Atık azaltma,*

toplama, geçici depolama, ara depolama, geri dönüşüm, nakliye, elden çıkarma ve elden çıkarma sonrası kontrol konularını içeren Atık Yönetimi Piramidi atık yönetimi için çok önemlidir. Türkiye'de endüstriyel atıkların yönetimi ve bertaraf edilmesi için gerekli ve yeterli kanunlar, yönetmelikler ve tebliğler bulunmasına rağmen, metalurjik atık yönetimi zor bir faaliyet olduğu için, pratik uygulamalarla ilgili olarak istenen düzeyde olduğumuzu söylemek güçtür. Bu çalışmada metalurji atıklardan önem ve miktar açısından da önemli olan demir-çelik ve alüminyum üretim atıkları ile demir-çelik, alüminyum, bakır, kurşun, çinko ve gümüşün geri dönüşümünün önemi ve uygulamaları değerlendirilmeye çalışmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Metalurji, Atık, Geri dönüşüm, Çevre*

1. INTRODUCTION

The first contact of mankind with metals is based on ancient ages. It is believed that for the first time, the use of forged copper was found around 4,500 B.C., and only 2,000 years later copper could be produced from the ores. It is noteworthy that iron was used behind gold, silver and copper, but kept secret in the place where it was discovered compared to others. Because iron is harder than bronze, which was previously obtained by melting together copper + tin ores, and has superior properties for making weapons (Bor, 1977; Habashi, 1977; Gupta and Krishnamurthy, 2005; Habashi, 2012; Sönmez, 2016).

Mines and metals have an important place in human history. The presentation of the names of mines and metals to prehistoric ages can be seen as the most important evidence that reveals this prominence (Stone Age, Bronze Age, and Iron Age). The discovery and production of metals is by the order of copper, bronze (copper + tin), brass (copper + zinc) and iron, but this order is not the same everywhere in the world. In some places it is seen that the Iron Age has already begun. What is real about this is that the first contact of the people of the region with the metals in question is completely random and depends on the region's characteristics (Sönmez, 2016).

Although today's cast iron has been produced with many different priorities, it has only been possible in the past two centuries to make high carbon iron alloys and then to reduce their carbon content, that is to say, to obtain the present steel properties; the use of coal instead of wood at the end of the 18th century and the production of

liquid crude steel for the first time in the mid-19th century with the Bessemer process are great. After that, the developments in iron-steel progressed at a dizzying speed (Sönmez, 2016).

2. METALLURGY

Metallurgy, which is an art and science branch which consists of preparing and shaping natural resources (ore) and/or secondary raw materials (waste) in a way that can be economically obtained and used for human use, consists of two branches;

i. Extractive Metallurgy: It involves the recovery of the metals in the residual or in the ore by means of physical and chemical methods and bringing them to an adequate purity (Mineral Processing, Pyrometallurgy, Hydrometallurgy, and Electrometallurgy).

ii. Physical Metallurgy: It is the science that takes metals and alloys to the proper properties to be used and the processes required to correct these properties.

Almost all of the easily identified mineral deposits have been consumed at a great speed and today, especially non-ferrous metals, can be produced by more difficult and complex methods. Considering that the amount of metal consumed in the first quarter of the last century is more than it has been consumed throughout history, it is understood that the development of technology and the increase in demand have encouraged the solution of many problems in this area. As civilization progressed, much more complex processes were required for the production of metals from ores and various production methods were developed, varying by metal type (Bor, 1977; Habashi, 1977; Gupta and Krishnamurthy, 2005; Habashi, 2012; Sönmez, 2016). The responsibilities of the metallurgists are not only to produce high quality metal products, but also to protect the environment and protect human health. The living environment can be protected and the economic use of natural resources can be guaranteed by increasing the quality of the industry by-products and increasing the utilization rate of metallurgical slags (Reuter et al., 2004).

3. WASTES

Any material that arises as a result of an operation and which must be removed (disposal) is called waste. Production and use activities are all kinds of things that are endangered and it is objectionable to give buyer's consent directly or indirectly to harm

human and environmental health. Any kind of production or consumption activity is a solid, liquid or gaseous substance which, by physical, chemical and bacteriological characteristics, interferes directly or indirectly by causing changes in the natural composition and properties of the receiving environment and influences the use potential of the environment (MoEF, 2009; Panias et al., 2001).

Concentration limits have to be exceeded in order to classify a substance as very toxic, toxic, harmful, corrosive, irritant and carcinogenic. Hazardous waste in Environmental Law No. 2872; physical, chemical and/or biologic side effects, causing ecological equilibrium and deterioration of the natural structures of human beings and other living things, and substances contaminated with these wastes (MoEF, 2009). Waste hazard ratings are based on criteria such as types and concentrations of potentially hazardous components, physical properties of residues, and susceptibility to potentially hazardous components leaking (Leonard, 1978; Panias et al., 2001; Paldyna et al., 2013).

The mining and metallurgical industry is one of the largest sources of waste. Wastes produced in metallurgical industry in generally: dust and sludge from sintering, blast furnace, steelmaking (in converters and electric arc furnaces), blast furnace and steelmaking slags and ceramic debris. These wastes have environmental impact in water quality, soil, air, toxins in tailings damps and other components (Habashi; 1993; Habashi, 1998; Panias et al., 2001; Habashi, 2001; Reuter et al., 2004; Habashi, 2012; Mihone et al., 2013; Lis et al., 2015; Mizerna, 2016).

Waste Management; including waste management, waste reduction, collection, temporary storage, intermediate storage, recycling, transport, disposal and post-disposal control, and the like. The Waste Management Pyramid proposed by the Ministry of Environment and Urbanization is evaluated from the top to the bottom (Figure 1). In other words, the first step is to prevent the formation of the enemy, if this is not achieved; the minimization of the enemy, in other words, the enemy is aimed at the lowest (Panias et al., 2001; MoEF, 2009).

Generally, the concepts of waste and garbage are mixed with each other (Sönmez, 2017). Garbage is the waste material left behind after the materials such as paper, glass, cardboard, and plastic are separated from the waste and cannot be used at all.

Figure 1. Waste Management Pyramid (Waste Disposal Hierarchy) [EPA Web Site].

3.1 Waste Generation and Environmental Problems:

As environmental problems become increasingly felt, the necessity of deeper, more precise, more realistic and more rational investigation of industry and environment, or life-production-environment relations, arises. It takes the source of life from the nature and every living person pollutes the environment and causes the natural resources to decrease. The rapidly growing population of the world leads to consumption at a faster rate than the renewability of natural resources. The environment is a whole and everyone is responsible (Yıldız, 2010; Habashi, 2012). However, according to the principle "polluter pays", the cost of disposing of waste must be met by the current producer of the waste, and the manufacturer of the product from which the previous owners or waste were produced (Panias et al., 2001; Cirtina and Traista, 2014).

The industrialist has encountered environmental problems before any time, and has taken on the task of leading and pioneering in this regard as the most productive and dynamic segment of the society. This task is to sustain the production activity with less polluting the environment, even in the day no pollution, and so little that the natural resources can renew themselves. It is possible to achieve neither a high prosperity nor a culture level nor a clean environment without the industry, or rather the free market mechanism, which is competitive in the world market. It is enough to look at the developed and underdeveloped countries around us to see this, and to think about the reasons for the differences between them. All industrialists should know that the industrialists have an environmental responsibility besides the capital (profit) and social (employment) responsibility. The point to consider is that quality goods can be produced in facilities that do not pollute the environment, are clean and orderly, and where happy people work (Yıldız, 2010; Habashi, 2012).

Metallurgical waste management is a difficult activity, primarily due to the deleterious impact of most such waste types on natural environment as well as human life and health. Introducing innovative products and/or innovative technologies into the market reinforces economic growth. And when the innovative operations are related to waste management, the benefits are multiplied (Habashi, 2012; Lis et al., 2015).

There are laws, regulations and communiques for the management and disposal of industrial wastes in Turkey. These are sufficient for proper disposal, removal, recovery and reuse of industrial waste (MoFE, 2009; Yılmaz et al., 2011). However, it is difficult to say that we are at the desired level with regard to practical applications.

3.2 Iron-Steel Wastes

With the development of environmental management systems in the world, legal and technological studies to protect the environment in iron-steel producing countries are becoming more and more intense. Significant environmental problems in iron and steel industry;

- NOx and SOx emissions from sinter plants,
- Emissions from coke factories,
- Processing of blast furnace slag,
- Processing of basic oxygen furnace (BOF) sludge,
- Processing of rolling wastes,
- Processing of electric arc furnace (EAF) dust,
- Processing of liquid waste of pickling line,
- Iron and steel production slags,
- Waste oils and greases.

Significant environmental problems arise from especially integrated iron and steel plants, in particular steel production, starting from ore. Although the coke and sinter plants have been approved for environmental protection laws, the budgets allocated for the storage of the wastes resulting from environmental protection measures in accordance with the environmental laws have caused the production costs to rise. However, the environmental problems created by EAF and mini steel plants producing steel are less than those of integrated iron and steel plants (Yıldız, 2010; Habashi, 2012; Lis et al., 2015).

Until recently, the slags, dusts and mud from the iron and steel production were described as WASTE. However, this term is being changed to Semi-Product due to the increasing rate of re-use day by day. In a typical integrated iron and steel plant, 420 kg of waste per ton of product is produced, the vast majority of which produces clinker, dust and mud (Panias et al., 2001; Yıldız, 2010).

3.2.1 Blast furnace slag

During the production of pig iron, blast furnace is charged with iron based materials (iron ore, sinter, pellet), flux (limestone and/or dolomite) and fuel (coke) (Alanyalı et al., 2009). Two basic products, namely molten iron and slag, are obtained from the blast furnace sub-zone. There is little need for the development of new applications because these slags are now widely used commercially and the iron content is very low.

The blast furnace slag from pig iron and steel production slag from steel refining are different types of slag. When molten, the slags are in a foamy state on the metal. The separation does not take place exactly, so some metal can be found in the slag. The molten slag is allowed to cool and solidify. Sometimes the cooling of blast furnace slag is carried out very quickly with shock water or air to obtain slag in granular or pellet form. Slowly cooled blast furnace slag and steel production slag are then subjected to crushing sieving to be used at suitable locations (Panias et al., 2001; Reuter et al., 2004; Yıldız, 2010). The properties, operations and uses of the blast furnace slags are summarized in Table 1.

Table 1. Properties, operations and uses of blast furnace slag [Yıldız, 2010]

Blast Furnace Slag	
Composition	Silica and aluminum oxides from iron-based materials, CaO and MgO from fluxes constitute 95% of the produced cinder. The slag also contains Mn, Fe and S compounds and other elements in trace amounts.
Current Operation Options	In the USA, slag is usually used in soil improvement and soil filler plants where production is carried out. Depending on how it is cooled, the commercial area is also used as aggregate material in the following areas: - railway filling, - anti-skid material, - roof granules, - mineral wool, - soil conditioner, - sets (piers) and fillings. - sewer filtration media
Recyclability (Challenges/Barriers)	Blast furnace slag has a low inherent value. For this reason, transportation for long distances is not economical.

3.2.2 Steel production slags

In the production of steel by basic oxygen method, molten iron is converted to steel by adding alloys, flux and oxygen. Different kinds of slags are formed during steel production. The largest amount of steel slag, also called primer slag, occurs in the furnace itself. The secondary (minor) slags, from hot metal pretreatment and including ladle metallurgy slags from secondary steel production. In the steel production using oxygen, the charge made to the steel production furnace initially contains flux, steel scrap and hot metal. Oxygen is supplied with a lance from the lower or upper part of the oven. During oxygen blowing, some iron oxide is oxidized together with the impurities present in the metal such as carbon, silica, manganese and phosphorus. Molten slag, the reaction of these oxides with CaO is the end result. Since the oxidation of the emulsions is exothermic, the bath temperature is increased by the metal refining process (Bor, 1977; Habashi, 1977; Gupta and Krishnamurthy, 2005). The presence of free CaO (7% or more) in large quantities prevents the use of slag generated during steel production on road constructions (Reuter et al., 2004; Yıldız, 2010).

In recent years, extensive research conducted on the use of this slags have demonstrated the possibility in several application areas including general filling material, anti-skid material for icy roads and other applications such as steel industry, construction, railway construction, hydro technical constructions, road construction, civil engineering, agriculture, cement industry, glass industry, refractory material industry etc. (Wehry and Orlescu, 2000; Reuter et al., 2004; Yıldız, 2010; Habashi, 2012; Cirtina and Traista, 2014). The properties, operations and usage of BOF slags are given in Table 2, and the evaluation areas of blast furnace and BOF slags are shown in Figure 2.

3.2.3 Iron and steelmaking chimney dusts (fly ash)

In the past, all steel-making dust was being thrown away. Today, steelmakers are working to recycle precious metals in the dust. Higher zinc content allows steelmakers to work more efficiently with these powders. For this reason, electric furnace installations are attempting to increase the content of zinc in the dust by various technical means. One of these techniques involves increasing the amount of zinc-containing scrap charged to the furnace (Panias et al., 2001; Anyadike, 2002). The other

is that the powder is recycled until the zinc content is in the range of 18-35%. This is a more suitable raw material for zinc production (Lis et al., 2015).

Table 2. Properties, operations, areas of use of BOF slag [Yıldız, 2010]

BOF Steel Production Slag	
Composition	Calcium silicates and ferrites in combination with molten oxides of iron, aluminum, manganese, calcium and magnesium. The carbon in the metal is oxidized by silica and phosphorus and some iron during the oxygen blowing.
Current Operation Options	The slag from the steel production is shattered and the CaO, MgO and SiO_2 components in the slag are brought to a size that can be charged to the blast furnace to be evaluated as flux material and to recover iron and manganese. BOF slag can be recycled to the sinter plant, blast furnace and steel production furnace. However, it can be used as a basis for road construction and cement industry.
Recyclability (Challenges/Barriers)	The recycling rate of steelmaking slags is decreasing due to the increase in demand for high-quality products (low phosphorus steels). The use of steel production slag for road construction also declined in the US (30% a decade ago). This is why the free hydration of free CaO present in the crust, thus causing swelling and causing road defects. Today, less than 40% of steelmaking cement is being assessed in steel mills or elsewhere.

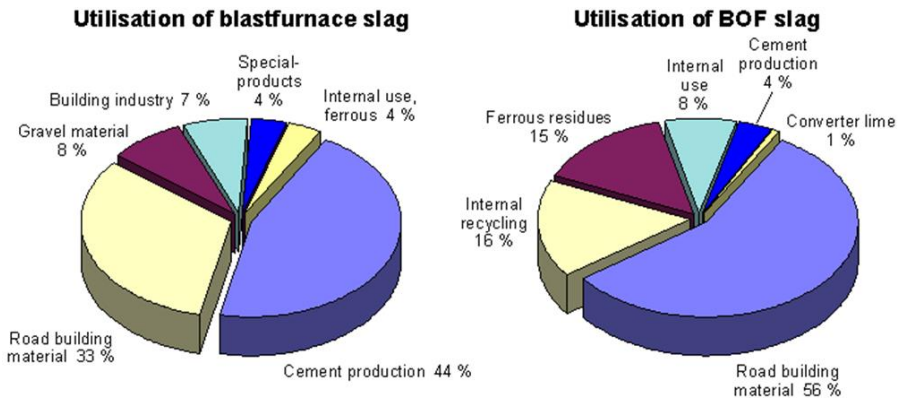


Figure 2. Evaluation areas of blast furnace and BOF slags [Yıldız, 2010].

There are many technologies for processing EAF powders containing 18-35% Zn. These technologies are currently in use in non-ferrous manufacturing industries. Zinc producers who want to change raw material sources for zinc production are interested in electric arc furnace dust as a valuable resource. However, normally the zinc industry uses raw materials with higher concentrates. As a result, the electric arc furnace powders are sent to a further process before the zinc contents are taken. The most commonly used method is a rotary kiln with large volumes and is known as the Waelz process. This process increases the content of zinc to 55-65%. At this point, this

material can be used as raw material for primary zinc plants (Panias et al., 2001; Anyadike, 2002).

Some zinc producers use the blast furnace process to produce metallic zinc. These producers are exploring ways to use electric arc furnace powders without the priority Waelz process. Other processes, such as dissolving the solvent and recovering the zinc metal from the solution, are being tried to be improved (Anyadike, 2002; Lis et al., 2015). Some of them are in operation on pilot facilities or small commercial scale (Yıldız, 2010).

3.3 Aluminum Production Wastes

There are three essential points to consider in the environmental direction in aluminum primary production; Air emissions, waste water and solid wastes. In the first years of the production of aluminum, efforts have been made especially on the emission and control of fluoride from electrolysis cells. The problem of fluoride emission is now well known in the aluminum industry. The wastewater problem can be eliminated by reducing the amount of water passing through dry systems. Over time, cathode materials become unusable. The cell is stopped and the cell is disassembled. Thus, solid waste forms. The aluminum industry has to find solutions for the assessment of these wastes. It is controlled more strictly by environmental regulations (Panias et al., 2001; Sönmez, 2017).

Significant amounts of aluminum electrolysis cells, cell refractory furnishings, carbon flooring materials are disposed. Storage of these materials in enclosed spaces is necessary in order to prevent release of rainwater and similar solutions to the environment. There are trends in the steel industry as a flux material and as a fuel additive in the cement industry (Panias et al., 2001; Sönmez, 2017).

The most unattractive aspect of alumina production is the problem of large red mud storage. Depending on the type of bauxite used, 1-2 ton of damp red mud per 1 ton of alumina occurs. This mud is either stored in an open space by dams or discharged into the sea. In both cases there is a problem in terms of environmental pollution. Nowadays, studies are being carried out to evaluate these residues and remove them. Red mud can be found in iron and steel industry, construction industry and chemical industry (Panias et al., 2001; Sönmez, 2017).

3.3.1 Red mud usage in iron-steel industry

When the content of Fe_2O_3 in red mud exceeds 45%, it can be used as iron ore. During World War II and after the war large amounts of alumina production were processed in the blast furnace after red mud was removed in large quantities. If the content of alumina is more than 10%, the slag increases the melting temperature and forms a viscous slag, which makes it difficult to operate the furnace. The important thing is that red mud is processed by pelletizing or briquetting with fine iron ore. Produced pig iron is poor in sulfur and slag is suitable for use in the cement industry with its high alumina content. Due to the low prices of iron ores today, red mud is not used in the production of pig iron (Panias et al., 2001; Sönmez, 2017). In recent years, the Giulini process has been developed which can produce pig iron directly at two levels with the motive of environmental pollution. Moisty red mud is mixed with limestone and reducers and dried and calcined with a rotary kiln with a length of 100 m and the iron is eventually reduced to metallic iron. At about 1,000 ° C, the metallization rate is around 80% at about mid-point of the rotary kiln. The reduced sinter from the rotary kiln is melted in a second kiln to produce pig iron (Sönmez, 2017).

3.3.2 Red mud usage in construction industry

The construction sector uses red mud concrete as a coloring agent or in the production of bricks. Red mud can be used for tile production. However, high Na_2O content is disadvantageous. Some of the additives in recent years have been used to reduce the effect of Na_2O on red mud tiles to 85%. The compressive strength can be increased to 50 N/m^2 in tiles (Panias et al., 2001; Sönmez, 2017).

4. RECYCLING

Before examining the reasons for the necessity of recycling, it is useful to identify the waste that forms the basis of the recycling application. Especially in the recent years, the scrap, which are accepted as the basic input of the increasingly reevaluated production methods, are generally defined as secondary raw materials. Although the scrap is a metal or metal containing material, the production process is commodities that have lost value in circulation and the marketplace, and which have been deactivated, but

whose value is worth reworking with their content (Reuter et al., 2004; Sönmez, 2017). According to the sources of the scrapers it is possible to collect in three groups. These;

Circulating Scrap: This is a scrap from the operations in the production facilities and is used again in the production facilities.

Process Scrap: This is a scrap made up of residues of industry using materials as semi-finished products.

Collection Scrap (Old Scrap, Capital Scrap): This type of scrap, tools and equipment in the economy is the result of the out-of-use of the end-use (Yıldız, 2010).

Recycling is the process of recycling wastes that are recycled into secondary raw materials through various physical and/or chemical processes and included in the production process. It can be defined as recycling waste materials that are not used in any way by any other definition to be recycled as raw materials with various recycling methods (Panias et al., 2001; Reuter et al., 2004).

If natural resources are not infinite, and are not used carefully, one day it should not be forgotten that these natural resources will be consumed. Recognizing this, the countries and producers have sought and developed various methods of recycling and reusing waste in order to prevent resource waste and to cope with emerging energy crises. Developing countries that are in the process of development and facing economic difficulties need to stop wasting waste, recycle and reuse economically valuable items so that they can benefit from natural resources in long run and at maximum (Sönmez, 2017).

Recycling is provides protection of natural resources, helps to save energy, reduces the amount of waste to facilitate garbage processing, and also recycling helps to invest in the future and the economy. The purpose of recycling is to prevent unnecessary use of resources, and to reduce the amount of waste garbage together with the separation of waste at the source. Recycling and reuse of materials such as iron, steel, copper, lead, paper, plastic, rubber, glass, and electronic waste will prevent the depletion of natural resources. This situation; it will also reduce the amount of foreign exchange paid to imported scrap materials to meet the needs of countries, and will save a great deal of energy. For example, the use of paper in recycled paper can reduce air pollution by 74%, water pollution by 35%, water use by 40-45%, and cutting of 16 trees by adding one ton of waste paper to paper pulp (Gilanli et al., 2012). On the other hand,

as mentioned above, one of the aims of recycling will also be the prevention of environmental pollution considerably due to the reduction of the amount of solid waste to be disposed. Particularly for countries that do not have enough space to regularly dispose of solid waste, a reduction in the amount and volume of solid waste is a great advantage. Figure 3 shows how important the recycling is economically important, given the amount of energy consumed in the production stages of some metals.

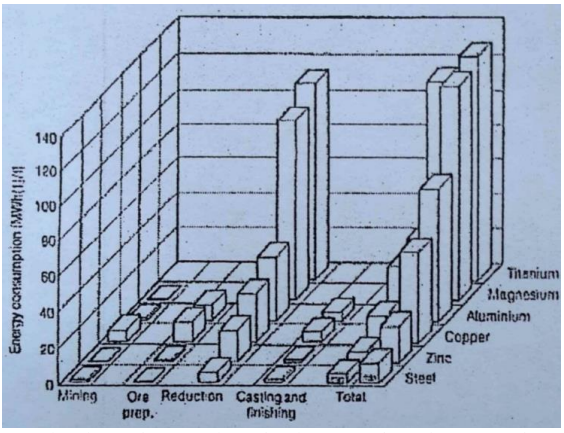


Figure 3. Energy consumption in each step of production (MWh) (Ti> Mg> Al> Cu> Zn> Steel) Most of the total energy is consumed in the reduction step [Panias et al., 2001; Akyıldız, 2013].

4.1 Iron-Steel Recycling (Iron-Steel Scraps)

Even if there is some difficulty in scrap-based production with a 1/3 share in steel production, it is a form of production that needs to be applied today in terms of the evaluation of resources. By effectively recycling steel scraps in the form of waste, generally less energy is consumed, environmental pollution is reduced or the environment is less polluted, depending on the use of primary resources. The production processes of scrap-making plants are short, thus requiring less investment and lower costs. With the development of waste and scavenging techniques and the legalization of waste separation rules, it should be known that in the future, each product sold by a metal producer will eventually return to metal production processes. Today, scrap is recycled in large proportions (Panias et al., 2001; Sönmez, 2017).

The use of scrap up to 40% in order to realize world steel production shows how important the scrap has played in world steel production. Scrap procurement, sales, market and quality analysis of the scrap, which have a very high share in steel

production, is an important consideration for our country with its effect on steel production quantity, cost and quality. When the used iron-steel is recycled and put into production, the raw material source is preserved. When 1,000 kg of spent steel is recovered and used again in steel production; 1,050 kg of iron ore, 454 kg of coke, 55 kg of limestone is saved; water pollution and air pollution are reduced by ¼ percent; 74% of energy and 90% of raw material are preserved; water consumption is reduced by 40%; there is a 97% reduction in mine waste (Panias et al., 2001; Sönmez, 2017).

One of the factors affecting scrap demand is the distribution of steel production according to production methods, and in particular the share of EAFs in steel production using 100% scrap in production. The biggest advantage of the scrap, which is in competition with liquid crude, is the lack of transportability. For this reason, scrap is a valuable material that can be bought and sold worldwide. There is considerable parallelism between the amount of iron and steel production in the world and the use of scrap. The scrap resources of our country are very inadequate in terms of meeting production requirements and meeting the scrap demand for production in integrated plants. With the increase of scrap consumption in our country, imports of scrap also increase (Panias et al., 2001; Sönmez, 2017).

4.2 Aluminum Recycling

Aluminum recycling plays a key role in the environment and the economy. Compared to other metal recycling of high volume, aluminum is the metal with the energy difference of the most primary and secondary productions. The equivalent energy requirement for primary aluminum production is “186 MJ/kg aluminum” while for secondary aluminum production it is “10-15 MJ/kg aluminum”. In other words, the equivalent energy required for secondary aluminum production is 5% of the primary aluminum. When the energy factor is taken into account, many companies are investing in secondary aluminum. However, accumulation of impurities in increasing amounts of secondary aluminum is emerging as an important technological problem (Panias et al., 2001; Sönmez, 2017).

It contains mainly impurities of Si, Mg, Ni, Zn, Pb, Cr, Fe, Cu, V and Mn in secondary aluminum (scrap aluminum). Metal recycling is a metallurgical procedure and governed by thermodynamic laws (Gaustad et al., 2012). Due to thermodynamic

barriers, removing impurities from the secondary aluminum is a challenge in the thermodynamic direction.

Aluminum scrapers are divided into two categories as new and old. New scrap resources are primary aluminum production facilities and facilities using aluminum as input material. There is no need to classify new drums, either in the primary production facility or directly to a second refining or refining process. It is a waste material with high aluminum content such as old scrap, electrical appliances, automobile parts, building materials, packaging materials. Secondary aluminum producers are divided into two sectors, refinery and re-melting. In secondary aluminum refineries, undesirable elements are removed by deoxidation to remove unwanted elements and aluminum casting alloy is produced. In smelting operations, clean and graded scrap is used and forging alloy is produced. Secondary aluminum production processes that produce aluminum from the old waste; Collection and classification of old scrap, pre-processing of scrap, smelting and refining. The type of hammer and the pre-process determine the oven to be selected. For this reason, the process selection may vary from trial to trial. Different technologies can be used even at the same scrap entrance (Reuter et al., 2004).

In the aluminum market, the share of recycling is also increasing. This ensures that the primary aluminum remains stable in the aluminum market at the beginning of the 21st Century. Because the recycling aluminum “secondary aluminum” production costs are very low, the primary price of aluminum is under pressure (Sönmez, 2017).

4.2 Copper Recycling

There are 2.6 billion tons of copper in the world and only 317 million tons are processed. This amount is still in circulation. The reason for this is that it is the most recycled metal among all other metals. As of 1997, 37% of all copper consumption is copper recovered. Copper is also defined as a renewable resource by some specialists because of its ability to be used repeatedly without losing its physical and chemical properties. It is quite difficult to distinguish the recovered copper, also called the secondary copper, from the primary copper directly produced from the ore. Of the raw materials used in the production of copper products outside the production of copper wire, ¾ of the raw copper forms recovered copper. Half of this ratio is the new copper scrap, which is the copper and the copper pieces that do not work anymore. The

remainder is called old scrap, and this type of scrap is made up of electric cords and old car radiators that need to be renewed (Leonard, 1978; Reuter et al., 2004).

4.3 Lead Recycling

Lead mining and metallurgy is a major industry arm of the world and in the 1970s total lead metal production was ranked fifth after steel, aluminum, copper and zinc. Nowadays, in the world lead production, lead production (secondary resources) is realized in an important place in the production of primary sources as well as in old scrap sources. About half of the lead produced in the world is supplied from ore and the other half is from secondary sources (Sönmez, 2017).

4.4 Zinc Recycling

Zinc can be completely recycled without any loss of physical or chemical properties. About 36% of the world's zinc production, which is about 2.8 million tons, comes from recycled zinc. The remaining 64% is produced from zinc ore. Brass recycling alone provides 600,000 tons of zinc recycling each year. It is hoped that the zinc coated steel scrap will increase by more than 50% in the next 10 years. Due to the long life of zinc products, the majority of zinc produced in the past is still in use and is a valuable resource for future zinc production (Panias et al., 2001; Anyadike, 2002).

4.5 Silver Recycling (Silver Production from Third Sources)

Since last 45 years, silver demand has watched in front of the supply. The supply-demand imbalance, the re-acquisition of scrap silver, and market balance were met by meeting the stocks of official and private sector organizations. Recycling of scrap is an important part of the precious metals market. The regeneration is obtained from silver-containing wastes such as jewelry and silverware, electronic circuits, finished photographic solutions and old x-ray films. 18-22% of the world's total silver production is derived from tertiary sources. Between 1990 and 1997, silver production from tertiary sources averaged 142 million ounces per year. Silver production from tertiary sources is mostly produced in the USA, 2/3 of which comes from photography. Together with Germany and Japan, the US is doing the third half of world silver production (Sönmez, 2017).

5. CONCLUSIONS

The conclusions obtained from this review are as follows:

- The mining and metallurgy industry, which is as old as human history, is the largest source of waste and has the greatest share of civilization coming to the present.
- Protecting the environment and human health is not just the mining and metallurgy industry, but the responsibility of all humanity.
- The future situation in the Waste Pyramid is very important for the protection of the environment and for sustainable development.
- The cost of disposal of waste is paid by the manufacturer according to the principle of "polluter pays".
- The usage of waste in areas such as steel industry, construction, civil engineering, agriculture, cement industry, glass industry, and refractory material industry is being intensively investigated.
- Recycling is crucial because it helps to conserve natural resources, helps save energy, simplifies the waste disposal process, and reduces waste.

REFERENCES

Akyıldız, H., 2013. Non-Ferrous Metallurgy Lecture Note. Şelçuk University, Konya.

Alanyalı, H., Çöl, M., Yılmaz, M., Karagöz, Ş., 2009. Concrete Produced by Steel-Making Slag (Basic Oxygen Furnace) Addition in Portland Cement. Int. J. Appl. Ceram. Technol., 6 (6), pp. 736–748.

Anyadike, N., 2002. Zinc Recycling, Lead and Zinc: Threats and Opportunities in the Years Ahead, Woodhead Publishing, pp. 132–139.

Bor, F.Y., 1977. Extractive Metallurgy Principals, Part I, II. İTÜ Publish, Publish No: 1079. İstanbul.

Cirtina, D., Traista, E., 2014. Research on the Influence of Metallurgical Industry Waste on Soil and Groundwater Quality. Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 49(3): 311-315.

EPA Web Site, https://www3.epa.gov/region9/waste/p2/index.html.

Gaustad, G., Olivetti, E., Kirchain, R., 2012. Improving Aluminum Recycling: A Survey of Sorting and Impurity Removal Technologies. Resources, Conservation and Recycling, 58: 79– 87.

Gilanlı, E., Altuğ, N., Oğuzhan, A., 2012. Reverse Logistics Activities in Turkey. Ege Academic Review, 12(3): 391-399.

Gupta, C.K., Krishnamurthy, N., 2005. Extractive Metallurgy of Rare Earths. CRC Press.

Habashi, F., 1977. Handbook of Extractive Metallurgy. Wiley-VCH Publishing.

Habashi, F., 1993. Mercury-Free Sulfuric Acid. Materials Processing Technology and Environmental Protection. in Mining and Metallurgy, edited by P. W. Godbehereet al., Proceeding of The Metallurgical Society of CIM, Montreal, Canada, pp. 196–208.

Habashi, F., 1998. How Can Hydrometallurgy Solve the Environmental Problems of Smelters. in Fourth Conference on Environment and Mineral Processing, Part I, edited by Peter Fečko et al., Ostrava, Czech Republic. Pp. 119-124.

Habashi, F., 2001. Clean Technology in the Metallurgical Industry. in Proceedings II Mining Meeting of South America/VII Mining Meeting of Tarapaca editors J.P. Ibáñez, E. Patiño, and X. Velose, Arturo Prat University, Iquique, Chile. pp. 15-28.

Habashi, F., 2012. A Review. Pollution Problems of the Metallurgical Industry. Rev. del Instituto de Investigacion (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM. 15(29): 49-60.

Leonard, R.P., 1978. Hazardous Solid Waste from Metallurgical Industries. Environmental Health Perspectives, 27: 251-260.

Lis, T., Nowacki, K., Zelichowska, M., Kania, H., 2015. Innovation in Metallurgical Waste Management. Metalurgija, 54(1): 283-285.

Mihone, K.-M., Violeta, L.-M., Letafete, L., 2013. Environmental Impact Assessment of Metallurgical Waste: Trepça Case Study in Kosovo. First Regional Conference on Environmental Impact Assessment, Zadar, Hrvatska/Croatia, pp. 292-300.

Ministry of Environment and Forestry (MoEF), 2009. LIFE HAWAMAN Project Hazardous Waste Management Concept Report for Turkey, Ankara.

Mizerna, K., 2016. Mobility of heavy metals from metallurgical waste in the context of sustainable waste management. Economic and Environmental Studies, 16(4):819-830.

Paldyna, J., Krasnodebska-Ostrega, B., Kregielewska, K., Kowalska, J., Jedynak, L., Golimowski, J., Grobelski, T., Farbiszewska-Kiczma, J., Farbiszewska, T., 2013. The assessment of environmental pollution caused by mining and metallurgy wastes from highly polluted post-industrial regions in Southern Poland. Environ Earth Sci., 68: 439-450.

Panias, D., Xenidis, A., Christodoulou, E., Paspaliaris, I., 2001. Metallurgical Solid Wastes: Legislation, Characterisation and Management. International Conference “Wastes From and for the Metallurgy”, pp. 53-71.

Reuter, M., Xiao, Y., Boin, U., 2004. Recycling and Environmental Issues of Metallurgical Slags and Salt Fluxes. VII International Conference on Molten Slags Fluxes and Salts, The South African Institute of Mining and Metallurgy, pp. 349-356.

Sönmez, İ., 2016. Introduction to Metallurgical and Materials Engineering Lecture Note. Hitit University, Çorum.

Sönmez, İ., 2017. Metallurgical Wastes and Environment Lecture Note. Hitit University, Çorum.

Wehry, A., Orlescu, M., 2000. Recycling and Disposal of Organic Waste, Orizonturi Universitare Publish, Timişoara.

Yıldız, K., 2010. Assessment of Metallurgical Scrap and Waste Lecture Note. Sakarya University, Sakarya.

Yılmaz, Ö., Doğru, B., Yetis, Ü., 2011. Current practices in hazardous waste management in Turkey, Desalination and Water Treatment, 26(1-3): 111-117.

CHARACTERIZATION OF FLY ASH-PERLITE CEMENT LIKE MORTARS FOR NEXT GENERATION CONCRETE INDUSTRY: FROM A VIEWPOINT OF PORE FORMATION AND PHASE ANALYSIS

YENİ NESİL BETON ENDÜSTRİSİNDE UÇUCU KÜL, PERLİT VE ÇİMENTO KARIŞIMI: GÖZENEK VE FAZ OLUŞUMU AÇISINDAN BIR BAKIŞ

Kemal ŞAHBUDAK, Ali ÖZER*

Cumhuriyet University, Metallurgical and Materials Engineering Department, Sivas, TURKEY

*: Corresponding Author; alifull@gmail.com

ABSTRACT: Nowadays, the CO_2 footprint reduction is of a great interest for researcher for the concrete formation. The furnace processes produce a huge amount of CO_2 while the cement was being produced. In order to avoid the environmental issues and according to contracts among the countries, it was aimed to decrease the concrete CO_2 production to a certain level by exchanging the cement with similar pozzolanic materials such as perlite, diatomite, pumice, etc. by adding them into cement or replacing with it. In this study, an attempt was made to be able to produce cement like pozzolans by replacing cement with perlite. Perlite is a micron level powder with a high level of water absorption into pores. This makes the researcher to produce easier mortars with low water content. The perlite was admixed with fly ash with Class F level obtained from Kangal Coal Thermal Power Plant. Fly ash is another pozzolanic material which is the exchanging material as matrix. Different weight percent of perlite to fly ash in dry basis was produced and water content was also evaluated for mechanical mixing and pore formation studies and phase analysis by XRD. Moreover, the mechanical strength was evaluated to be present by maturing days from 1-7-14 and 28 days.

Keywords: Perlite, Fly ash, Concrete, XRD, Phase

ÖZET: *Günümüzde, beton ve çimento sektöründe özellikle çimento üretiminde oluşan yüksek miktarda CO_2 emisyonunun azaltılması ile ilgili çalışmalar araştırmacıların*

ilgisini çekmektedir. Çimento üretiminde oluşan yüksek miktarda CO_2'in neden olduğu çevresel sorunları önlemek için ülkeler arasında CO_2 emisyonunu azaltılması ile ilgili anlaşmalar yapılmıştır. Bu çalışmada, Kangal Termik Santrali atığı puzolan özellikteki F sınıfı uçucu kül ile gözenekli bir yapıya sahip olan perlit kuru bazda farklı oranlarda karıştırıldıktan sonra su eklenerek puzolanik özellikte bir karışım elde edilmiştir. Böylece beton içerisindeki çimento ile uçucu kül, pomza vb. malzemeler gibi puzolanik özelliğe sahip perlitin yer değiştirmesi karışımdaki CO_2 emisyonunu azaltmıştır. Bu çalışmada uçucu kül, perlit ve çimento karışımındaki gözenek ve faz oluşumu XRD ile incelenerek karışımın 1-7-14-28 günlük basma dayanımları değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Perlit, Uçucu kül, Beton, XRD, Faz*

1. INTRODUCTION

Pozzolans are materials which have an amorphous siliceous or siliceous and aluminous content. In the presence of water, amorphous siliceous or siliceous and aluminous particles of pozzolanic material, reacts with portlandite ($Ca(OH)_2$) and forms calcium silicate and calcium silicate aluminate hydrates (Pavía and Regan, 2010). By the using the pozzolans in cement production the cost of concrete decreases, strength of the final product arises and also the environmental impacts of concrete as CO_2 emission and using of non-renewable sources, declines (Pavía and Regan, 2010; Topçu et al., 2007; Erdem et al., 2007). In this paper, pozzolanic materials such as natural and artificial pozzolan (perlite and fly ash, respectively) used as concrete binders. Each binder may be used either separately or together with cement to make comparison by the meanings of compressive strength and XRD test results.

Perlite is a glass which contains more than 65 wt. % silica. Turkey has the highest perlite deposits (70 % of the total perlite reserve of the world) in the world (Topçu et al., 2007). Its high water content (2wt%-5wt%) separates the perlite from other glassy igneous rocks. Due to the rapid heating to the 800 – 1150 ºC, the chemically bonded water in perlite decomposes and perlite transforms to have a soft and aerated spongy structure. During the formation of these air voids, perlite expands and reaches up to the 10 - 25 times of its original volume (Topçu et al., 2007; Erdem et al., 2007; Topçu and Işıkdağ, 2008; Malhotra et al., 2002). This material is named as "expanded perlite" and used in various constructional, horticultural and industrial

applications. In most of researches, perlite is considered as an aggregate due to its lightweight and low thermal conductivity properties but researches for clarifying pozzolanic properties of perlite was not yet investigated. In this paper, the pozzolanic effects of grounded perlite on fly ash based concrete is analyzed and discussed. In coal-fired power plants, after the burning of coal, some minerals and a small amount of carbon remains unburnt and most of them are carried away by gas flow and this process forms the ash. The molten ash solidifies rapidly and becomes spherical and glassy particles (Mindess et al., 2003; Abbott et al., 2004). To be partially replaced with Portland cement, fly ash is being used by many ready-mix companies. Despite the lower cost of fly ash, improvement in mechanical properties of fresh and hardened concretes, are the benefits of using fly ash (Hendrik and Amy, 2003; Binici et al., 2007, 2008).

It is well known that the fly ash contributing high calcium sulfate improves the late age mechanical properties of concrete (Binici et al., 2008, 2009; Zhang et al., 2012). To this end, another pozzolanic source which have amorphous silica in its composition such as perlite could be useful for fly ash based concrete hardening mechanism (Zhang et al., 2011; Zhang et al., 2012; Massazza, 2001).

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Materials

2.1.1 Cement

Portland cement used in this study was supplied from YİBİTAŞ Co. Inc. and classified as C32.5 Portland cement.

2.1.2 Perlite

For investing the pozzolanic effects of perlite, natural perlite was supplied from Erzincan Erper Mining Co. and was grounded in the range of -212+53 μm sizes. An XRF result of the perlite which is used in this work is represented in the Table 1.

2.1.3 Fly ash

Due to the high sulfate content, the fly ash used in this work, supplied from Kangal Coal Thermal Power Plant, is classified as C type according to ASTM C618 standards. XRF and XRD results of fly ash are given in Table 2 and Figure 1, respectively.

Table 1. Chemical composition of perlite from Erzincan Erper Mining Co.

Compound	Conc. (% wt.)
SiO_2	70.96
Al_2O_3	13.40
Fe_2O_3	1.16
MgO	0.28
CaO	1.72
Na_2O	3.20
K_2O	4.65
LOI	3.27

Table 2. XRF analysis results of Kangal fly ash.

Element	Conc. (% wt.)
Mg	4.20
Al	12.027
Si	23.36
S	11.73
K	1.133
Ca	42.25
Fe	5.30

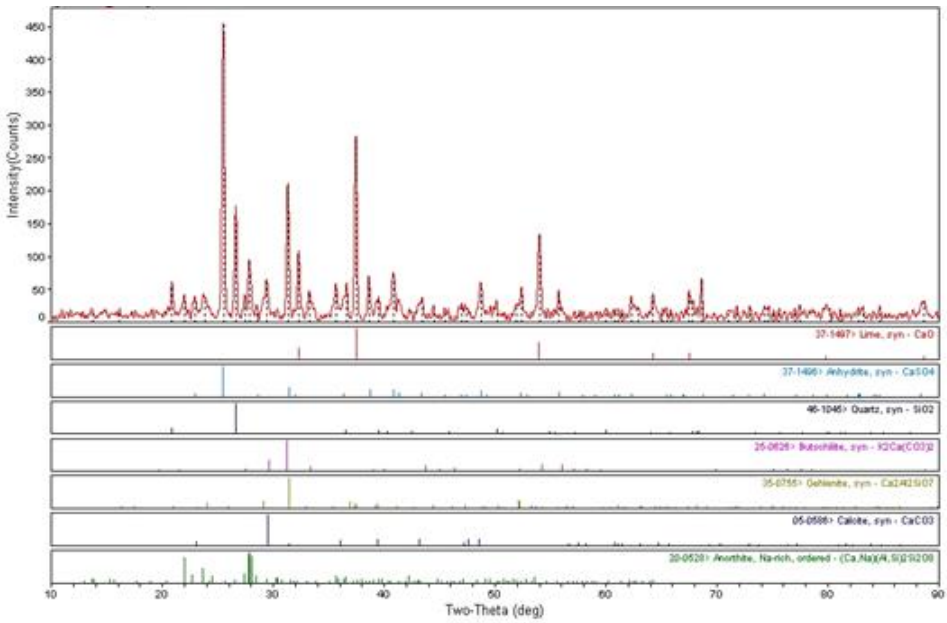


Figure 1. XRD pattern of Kangal fly ash.

2.2 Mix Proportions

All samples are prepared in the same way. In concrete manufacturing process first an amount of water after that the others, in perlite – fly ash – cement order, were fed into the mixer. After each ingredient added, slurry was mixed for 1 min. After all recipe was added, the slurry mixed 2 minutes. After mixing, slurries molded into 19x35 cylindrical molds and molded to prevent water to evaporate quickly. After molding, the samples were cured in 90% humidity in 40 ºC for 24 and 72 hours. After curing, the samples were kept in room temperature molded for 24 hours, and then the samples were unmolded.

In this study, in order to compare the effects of perlite and fly ash on concrete and clarify the influence of perlite on the fly ash based concrete, three types of mix designs were prepared.

2.2.1 Perlite-cement mix

In this mixture design only perlite and cement were used and proportions were chosen varying perlite contents from 90% to 20%. While naming the samples, a system such as "Perlite%Cement%Curing time" (example P20C8024 means the sample contributes 20 wt. % perlite and 80 percent by weight cement and cured 24 hours) was used.

2.2.2 Fly ash-cement mix

In this type of mixture, we used only fly ash and cement to manufacture fly ash based concretes, and we used the same coding system with "F" letter to refer fly ash (example F10C90 means that the sample contributes 10 wt% fly ash and 90 wt% cement). Mixing procedure was in the range of 10 wt %-60 wt % fly ash to keep concrete in fly ash based.

2.2.3 Fly ash-perlite-cement mix

To investigate the impacts of perlite on fly ash based concretes, cement content was kept 10 % by weight and fly ash replaced with perlite up to 40% by weight perlite content. In the naming same system was used and all mix proportions are represented in Table 3.

Table 3. Mix proportions. [a] samples cured for 24 hours only. [b] samples cured for 72 hours only

Sample Name	Perlite (% by weight)	Fly Ash (% by weight)	Cement (% by weight)
P20C80[a]	20	-	80
P40C60[a]	40	-	60
P50C50[a]	50	-	50
P60C40[a]	60	-	40
P70C30[a]	70	-	30
P80C20[a]	80	-	20
P90C10[a]	90	-	10
F60C40	-	60	40
F70C30	-	70	30
F80C20	-	80	20
F90C10	-	90	10
P10F80C10[b]	10	80	10
P20F70C10[b]	20	70	10
P30F60C10[b]	30	60	10
P40F50C10[b]	40	50	10

2.3 Testing Methods

2.3.1 Compressive strength measurements

For compressive strength measurements, samples kept in room temperature for 24 hours after unmolded for a stable drying. After first 24-hour period 1, 7 and 28 days' compressive strength of concrete samples were measured. The compressive strengths were measured by using UTEST UTM-4000 (Ankara, Turkey).

2.3.2 XRD and XRF analyzes

XRD analyzes were conducted with Rigaku (Japan) DMax 2200 (Cu Kα radiation in the 10-90º 2θ range, step of 1.5408 Å) and XRD patterns were analyzed with MDI Jade® 7.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1 Compressive Strength

Table 4 represents the compressive strength values of P-C samples. As expected, while the P/C ratio was rising, compressive strength of concrete was tending to fall. After 40 % by weight perlite content, the compressive strength of P-C samples was shown an immense decrement. This could be attributed to micro porosities on perlite particles.

According to Table 5 and Figure 2, for both curing times, compressive strength evolutions were found low in early ages. This must be noted, for both curing times, 7 days/1 day compressive strength ratios were found much higher than 28 days/7 days compressive strength values, for most samples. The fly ash which contributes high

amount of anhydrite, could be reacted as plaster, thus the hardening mechanism could be slowed.

Table 4. Compressive strength values of P-C samples cured at 40º C for 24 hours.

Sample Name	1 day	7 days	14 days
P20C80	17.5	24.3	39.5
P40C60	19.3	22.3	25.05
P50C50	15.1	21.2	24.7
P60C40	3.6	14.4	21.9
P70C30	3.5	12.2	21.16
P80C20	0.2	2	17.5
P90C10	0.1	1.8	13.4

Table 5. Compressive strength values of F-C samples cured on 40ºC for 24 and 72 hours.

Sample Name	24 hours cured			72 hours cured		
	1 day	7 days	28 days	1 day	7 days	28 days
F90C10	0.6	1.5	9.1	5.4	16.6	21.3
F80C20	1.7	3.7	16.2	7.4	18.5	27.3
F70C30	3.1	6.4	20.5	10.4	20.7	29
F60C40	8.9	12.8	25.7	16.6	19	31.2

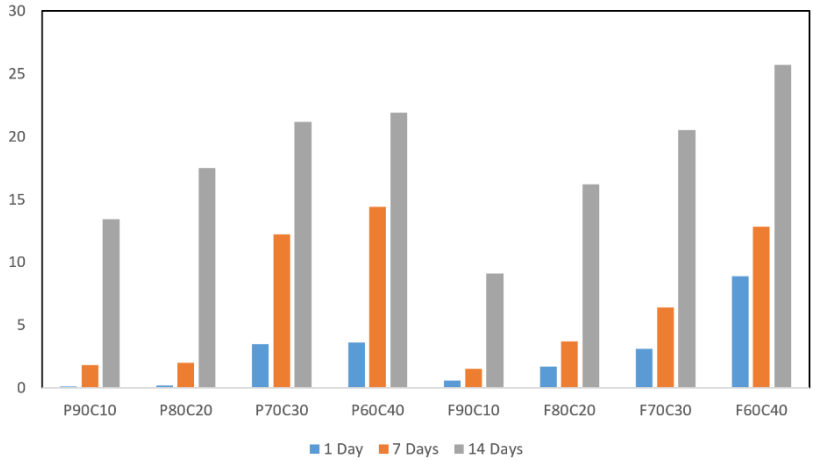


Figure 2. Comparison P-C and F-C samples cured on 40ºC for 24 hours.

Figure 2 shows the compressive strength development of on 40 ºC for 24 hours cured P-C and F-C samples. In lower cement ratios, P-C samples have higher compressive strength than F-C samples. But after %30 cement content, according to Figure 2, fly ash could be the better choice for compressive strength. From Figure 2, it can be clearly seen that after 7 days, the compressive strength of Kangal fly ash based concrete increases fabulously which can be compared to PC30 regular cement mixtures even with low amount of CO_2 emission to be released.

Table 6 shows the compressive strength evolution of P-F-C samples cured on 40ºC for 72 hours. In 28 days age, the compressive strength of P20F70C10 sample was measured as 33.7 MPa which was the best result. After 20 % perlite content compressive strength was started to decrease. This situation could be related to filling of micro pores of perlite particles with smaller fly ash particles. In P10F80C10 sample, low pore concentration could make the smaller unreacted fly ash particles act as free particles and due to the low adsorption with perlite and free fly ash particles could cause the compressive strength values to fall. Also in P30F60C10 and P40F50C10 samples, pore concentration were aroused due to this micro fly ash particles could not fill all the pores and compressive strength of samples were shown a decrease. In these perlite and fly ash particle sizes and mineral compositions, P20F70C10 recipe was the best choice for compressive strength.

Table 6. Compressive strength evolution of P-F-C samples cured on 40ºC for 72 hours

Sample Name	1 day	7 days	28 days
P10F80C10	9.7	15	23.6
P20F70C10	22.3	22.5	33.7
P30F60C10	13.9	20.4	22.6
P40F50C10	13.4	15.9	20

Figure 3 is representing the comparison of compressive strength evolutions of F-C and P-F-C samples cured on 40ºC for 72 hours. As stated above, while the preparing of the P-F-C samples cement content of concrete was kept constant as 10%. Thus in this comparison F90C10 could be the reference sample due to its 10% cement content. And also it was mentioned before that the P20F70C10 was the strongest sample of P-F-C series. According to Figure 3, up to the 40% perlite replacement for fly ash was enchanted the compressive strength of the samples.

Compressive Stress versus Strain curves are represented in Figure 4. Water could be trapped in the voids of porous concretes even after 90 days. This can be concluded to the increase of the mechanical strength. The increase in fly ash while the cement ratio is constant, the pozzolanic activity increases and binding possibility increases, this phenomena results in increased moderate mechanical strength up to 20 MPa even after plastic deformation increases up to 26 MPa.

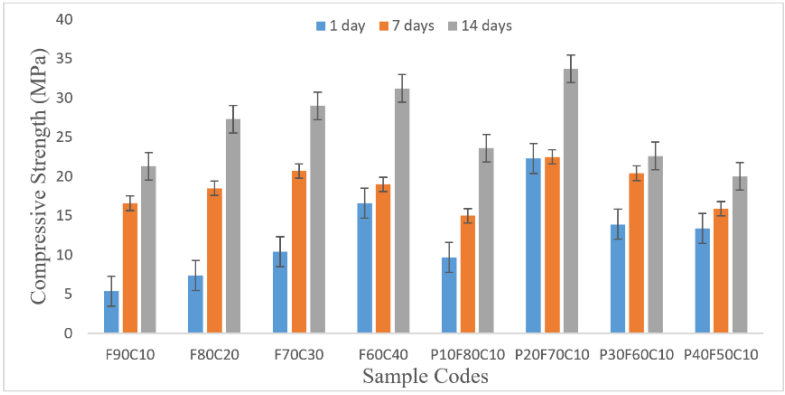


Figure 3. Comparison of compressive strength evolutions of F-C and P-F-C samples cured on 40ºC for 72 hours.

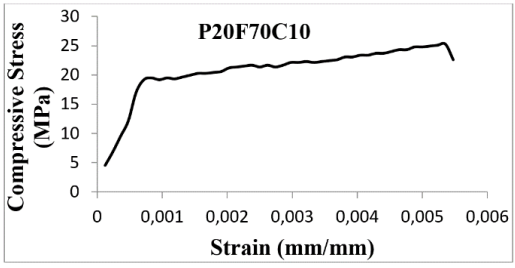


Figure 4. An example of compressive Stress-Strain curve of P20F70C10 code cured at 40ºC for 72 hours and aged in room temperature for 28 days.

4. CONCLUSIONS

Following conclusions can be derived from this study;

- The perlite and fly ash, which were obtained from Erper Co. Ltd. and Kangal Coal Thermal Power Plant, respectively, were successfully used instead of cement to reduce the amount of it.
- The perlite increases the water absorption capacity while the fly ash stands for pozzolanic activity.
- By increasing fly ash content with cement increases the strength of mortars of cured samples of 24 h and 72 h.
- The produced samples can be good candidates for pavement and road fillers and good absorbers of water after curing and have good mechanical strength compared to regular cement mortars of PC 32.5.

REFERENCES

Abbott, A.P., Boothby, D., Capper, G., Davies, D.L., Rasheed, R.K., 2004. Deep eutectic solvents formed between choline chloride and carboxylic acids: versatile alternatives to ionic liquids. Journal of the American Chemical Society, 126(29): 9142-9147.

Binici, H., Aksogan, O., Çagatay, I.H., Tokyay, M., Emsen, E., 2007. The effect of particle size distribution on the properties of blended cements incorporating GGBFS and natural pozzolan (NP). Powder Technol, 177:140–7.

Binici, H., Aksogan, O., Kaplan, H., Gorur, E.B., Bodur, M.N., 2008. Performance of ground blast furnace slag (GBS) and ground basaltic pumice (GBP) concrete against seawater attack. Constr Build Mater, 22:1515–26.

Binici, H., Aksogan, O., Kaplan, H., Görür, E.B., Bodur, M.N., 2009. Hydro-abrasive erosion of concrete incorporating ground blast-furnace slag and ground basaltic pumice. Constr Build Mater, 23:804–11.

Erdem, T.K., Meral, C., Tokyay, M., Erdoğan T.Y., 2007. Use of perlite as a pozzolanic addition in producing blended cements. Cement & Concrete Composites, 29, 13–21.

Malhotra, V.M., Mehta, P.K., 2002. High – Performance, High – Volume Fly Ash Concrete. Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc., Ottawa, Canada.

Massazza, F., 2001. Pozzolana and pozzolanic cements. Lea's Chemistry of Cement and Concrete, Butterworth-Heinemann, 471–636.

Mindess, S., Young, J.F., Darwin, D., 2003. Concrete, Second Edition. Prentice Hall, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ.

Pavía, S., Regan, D., 2010. Influence of cement kiln dust on the physical properties of calcium lime mortars. Materials and Structures, 43, 381-391.

Topçu İ., Topçu, B., Işıkdağ, B., 2007. Manufacture of high heat conductivity resistant clay bricks containing perlite. Building and Environment. 42, 3540-3546.

Topçu, İ., Topçu, B., Işıkdağ, B., 2008. Effect of expanded perlite aggregate on the properties of lightweight concrete. Journal of Materials Processing Technology, 204, 34-38.

Vanoss, H.G., Padovani, A.C., 2003. Cement manufacture and the environment Part II: Environmental challenges and opportunities. J Ind Ecol, 7(1): 93–126.

Zhang, W., Zhang, Y., Zhang G., 2012. Continuously monitoring early hydration process of low water to binder ratio cementitious material at elevated temperatures using a newly developed non-contact resistivity measurement apparatus. Constr Build Mater, 33:32–40.

Zhang, W., Zhang, Y., Zhang, G., 2011. Single and multiple dynamic impacts behaviour of ultra-high performance cementitious composite. J Wuhan Univ Technol Mater Sci, 26(6):1227–34.

Zhang, W., Zhang, Y., Zhang, G., 2012. Static, dynamic mechanical properties and microstructure characteristics of ultra-high performance cementitious composite. Sci Eng Compos Mater, 19:237–45.

PRODUCTION OF COPPER POWDER USING COPPER FLOTATION PLANT TAILINGS

BAKIR FLOTASYON TESİS ATIKLARINDAN TOZ BAKIR ÜRETİMİ

Zeynep YEŞİLYURT*, Hüseyin BAŞTÜRKCÜ, Mustafa ÖZER, Ali GÜNEY

Istanbul Technical University, Mineral Processing Engineering Department, Istanbul, Sarıyer, 34469, TURKEY

*: Corresponding Author: yesilyurtz@itu.edu.tr

ABSTRACT: Copper plays a major role in many areas of material science. There are higher value markets for ultrafine copper powder compared to bulk copper. The market price for the smaller particles tends to be several times greater than the market price for particles that are larger so the copper powder production method described here can improve the economics of mineral processing. The aim of this study is to synthesize high purity fine copper powder using copper processing plant tailings by reduction method using a non-toxic chemical. The tailing sample was subjected to two stages of water leaching as it contained sulfated copper and the pregnant leach solution was used as precursor for the chemical reduction of copper. Ascorbic acid was used as reducing and anti-oxidant agent. The impurities in the solution were removed by precipitation prior to chemical reduction process. Copper powder (99.55 % Cu according to Atomic Absorption Spectroscopy) of 22 μm d_{50} size was obtained. It was shown that it is possible to obtain value added products from the mineral processing plant tailings with a facile and environmentally-friendly procedure.

Keywords: Copper powder, Ascorbic acid, Chemical reduction, Flotation tailings

ÖZET: *Bakır malzeme biliminin birçok alanında büyük rol oynamaktadır. Çok ince parçacıklardan oluşan hammaddeler için pazar fiyatı, iri parçacıklardan oluşan aynı hammaddeye oranla kat kat fazla olma eğilimindedir. Bu çalışmada öne sürülen toz bakır gibi katma değeri yüksek ürünlerin üretimi maliyetli madencilik faaliyetleri için hem de atıklardan geri kazanım için ekonomik ve çevresel bir artı olacaktır. Bu çalışmanın amacı, bakır flotasyon tesisi atıklarından toksik olmayan bir kimyasal*

kullanarak indirgeme yöntemi ile yüksek saflıkta bakır tozu sentezlemektir. Atık numunesi, sülfatlanmış bakır içerdiği için iki aşamalı su liçi işlemine tabi tutulmuş ve yüklü çözelti, bakırın kimyasal indirgenmesi için kullanılmıştır. İndirgeyici ve antioksidan olarak askorbik asit kullanılmıştır. Çözeltideki safsızlıklar, kimyasal indirgeme işleminden önce çöktürülerek uzaklaştırılmıştır. d50 boyutu 22 um olan bakır tozu (Atomik Absorpsiyon Spektroskopisine göre% 99.55 Cu) elde edilmiştir. Kolay ve çevre dostu bir prosedürle cevher hazırlama tesis atıklarından katma değerli ürünlerin elde edilebileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Toz bakır, Askorbik asit, Kimyasal indirgeme, Flotasyon atıkları*

1. INTRODUCTION

Recovery of base metals from low grade ores, tailings, wastes or secondary resources has gained importance from the environmental point of view. Hydrometallurgical processes have been considered to be the most efficient method for the treatment of such low grade and waste materials. The efficiencies of the SX-EW process (Solvent Extraction-Electrowinning) for low-concentrated PLSs (Pregnant Leach Solutions) are very low and uneconomical. The process SX-EW also suffers from environmental pollutions because of the organic material utilization. Consequently, alternative processes instead of the conventional SX-EW are important. New processes or new products to gain all the potential from PLSs such as producing value added Cu powder may be a solution to the problems associated with the hydrometallurgical processing of the mentioned tailings (Vakylabad et al., 2016).

Copper powder has various applications such as the manufacture of self-lubricating bearings, electrical and electronic components and mechanical parts due to its unique and high electrical and thermal conductivity. Copper powder is irreplaceable in iron base bearings as 5–15 % copper powder is added as an alloying element for improved qualities. It is also used in the production of printing inks, welding electrodes, chemical and pharmaceutical industries (Wu et al, 2006).

Copper powder is produced mainly by four methods: reduction of copper oxide, atomization of molten metal, chemical precipitation and electrolytic deposition. Various low-grade materials are used for the production of copper powder by reduction method such as solid and liquid wastes generated during the processing of various primary ores.

Therefore, chemistry synthesis of copper particles is an alternative method for its preparation, especially when non-toxic reducing agents are used. A copper salt precursor, a reducing agent, a stabilizer, an antioxidant agent and pH adjusters are used for chemical reduction method (Wu, 2007; Qing-Ming, 2012).

Biçer and Şişman (2010) have described a method to synthesize copper particles, including submicron polyhedrons, micrometer rods, spherical nanoparticles, and nanowires using ascorbic acid as reducing agent and a cationic surfactant, CTAB as stabilizing agent. Argawal et al. (2006) produced high purity copper powders using hydrogen reduction of copper bleed solution from an Indian copper smelter.

The aim of this study is to produce copper powder which is considered as a high value market product using copper processing plant tailings. These flotation plant tailings are already sulfated due to atmosferic conditions through the years and cause severe environmental problems for the water sources nearby. Processing of these tailings is not just economical but also an environmental urgency. 66.3 % of copper and 8.9 % of iron was recovered in the solution with two stages of water leaching. As there is no acid consumption, leaching process proposed in the flowsheet is totally environmentally-friendly. The impurities mainly iron in the solution were removed by precipitation prior to chemical reduction process. The precipitate is on the other hand usable in construction industries. Ascorbic acid (Vitamin C) which is a green chemical was used for copper powder reduction from the solution.

2. MATERIALS AND METHOD

2.1 Sample

Copper tailing sample taken from the tailings dam of an old copper flotation plant was used in the tests. The tailings were mostly sulfated due to weathering. 80 % of the material was below 38 μm. Chemical analysis result of the sample is given in Table 1.

Table 1. Chemical Analysis of Copper Flotation Plant Tailings

Cu, %	Fe, %	Co, ppm	Zn, ppm	Mo, ppm	Pb, ppm	Ni, ppm	As, ppm	Mn, ppm	SiO_2, %
0.53	23.3	353	1500	99.2	96	37	120	437	18

2.2 Reagents

$Ca(OH)_2$ and 30 % Hydrogen Peroxide (H_2O_2) (Merck) were used for impurities removal from the leach solution. Ascorbic acid (Sigma Aldrich) was used as reducing

and antioxidant agent, and NaOH was used to adjust the pH during the chemical reduction of copper powder.

2.3 Leaching Experiments

Water leaching experiments were conducted on the sulfated flotation tailings on a magnetic stirring plate. Sink water of pH 7.8 was used for the leaching tests with a solid/liquid ratio kept as 1/2.5 and the leaching period as 30 minutes. Tests were held at room temperature. High mixing rate (600 rpm) was used in order to scrub the sample while leaching. The pH during leaching was measured between 2.5 and 2.4. A green flowsheet was adapted avoiding roasting pretreatment, acid usage or pH / temperature adjustment A flowsheet for ultrafine copper powder production is proposed in Figure 1.

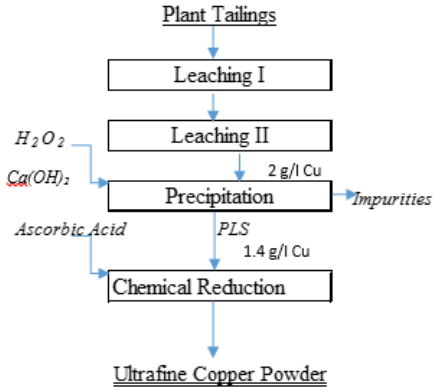


Figure 1. Proposed flowsheet for the production of ultrafine copper powder from copper flotation plant tailings

Precipitation tests were conducted on the leach solutions firstly with the addition of H_2O_2 (0, 50, 100 mL/L) then adding $Ca(OH)_2$ until the pH of the solution increases up to 3.0 at 60°C and mixing on magnetic plate for an hour. The precipitate was removed by filtration and the purified pregnant leach solution was obtained.

2.4 Chemical Reduction of Copper Powder

Ascorbic acid (10 % w/v) was prepared using distilled water. For the preparation of Cu powder, 40 mL of copper solution (1.4 g/l Cu pregnant leach solution) was mixed with 4 mL of ascorbic acid solution under rapid stirring. Then the solution of NaOH was added to the mixed copper salt solution under stirring to adjust the pH to 3.5. The initial

blue color of the reaction mixture eventually turned to orange, then ruby red finally brown-red. The reduction reaction was carried out by heating in a microwave oven (MD2610, Beko, Turkey) at 600 W for 2 minutes (Valodkar et al., 2011).

2.5 Characterization of Copper Powder

Cu powder dispersions were filtered and dried and the powder was subjected to chemical analysis using Atomic Absorption Spectroscopy. The size of the powders was analyzed on laser diffraction (Malvern Mastersizer 2000).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Water Leaching

Two stages of water leaching were conducted on the tailing sample. The leachate of the first stage was the solvent in the second stage in order to increase the concentration of metal ions. The major metal contents and recoveries are given in Table 2. Copper recovery of 66.3 % was obtained which could be maximized with acid addition. Although the recovery was low as 8.9 %, Fe ions made the majority of the impurities. Zn and Co ions concentration remained very low compared to Cu and Fe ions. Maximum copper concentration of the leachate was calculated as 2 g/l but this could be increased by additional leaching stages.

Tablo 2. Major metals contained in the solution after two stages of water leaching

Metal	Content mg/l	Metal Recovery, %
Cu	1056	66.3
Fe	6225	8.9
Zn	117	7.8
Co	25	7.1

3.2 Solution Purification by Precipitation

Major metals contained in the solution after precipitation is shown in Table 3. Only with the addition of an oxidizing agent satisfactory iron removal (99.7 %) was achieved. Increasing the concentration of the oxidizing agent the copper loss was minimized as only 29.2 %.

Tablo 3. Major metals precipitated

Precipitation Conditions	Cu		Fe		Zn		Co	
	mg/l	Prec. %	mg/l	Prec. %	mg/l	Prec. %	mg/l	Prec. %
0ml/l H_2O_2 + $Ca(OH)_2$(pH:3)60°C	423	59.9	1941	68.8	76	35.1	17	32
50ml/l H_2O_2 +$Ca(OH)_2$ (pH:3)60°C	600	43.3	2	99.7	79	32.5	20	20
100ml/l H_2O_2 + $Ca(OH)_2$ (pH:3)60°C	748	29.2	2	99.7	86	26.5	20	20

Prec.%= amount of metal ions removed from the solution by precipitation

3.3 Chemical Reduction

3.3.1 Copper powder characterization

Cu powder dispersions were filtered and dried and the powder was subjected to chemical analysis using Atomic Absorption Spectroscopy. The Cu content was measured as 99.55%. The chemical reduction process of ascorbic acid and copper ions is shown in equations (1) to (3). Zero valent copper particles can be obtained through the reduction of Cu^{2+} using ascorbic acid as reducing agent. The structure of ascorbic acid gives enough reducibility to convert Cu^{2+} ions into $Cu^{(0)}$. Ascorbic acid acts as a stable donor and is converted into dehydroascorbic acid. Dehydroascorbic acid and ascorbic acid together constitute the redox system (reduction potential is 0.06 V) which is sufficient to reduce Cu^{2+} to Cu (reduction potential is 0.34 V). The chemical reduction process occurs as follows when pH is around 3.0 (Valodkar et al., 2011)

$$Cu^{2+} + C_6H_8O_6 \rightarrow Cu + C_6H_6O_6 + 2H^+ \quad (1)$$

At pH of 6.5, the reaction occurs in two steps:

$$Cu^{2+} + 2OH^- \rightarrow Cu(OH)_2 \quad (2)$$

$$Cu(OH)_2 + C_6H_8O_6 \rightarrow Cu + C_6H_6O_6 + 2H_2O \quad (3)$$

3.3.2 Copper powder size distribution

The size distribution of the copper powder product is shown in Figure2. d_{10}, d_{50} and d_{80} was found 4.4 µm, 22.1 µm, 38,8 µm respectively. Since no stabilizing agent was used during synthesis, particle growth was not controlled and particles are mostly agglomerated. A stabilizing agent could be used in order to decrease the mean size of the powder product. Nano dispersions were even obtained with a proper stabilizing agent addition such as surfactants or natural polymers (Biçer and Şişman, 2010; Xiong et al., 2011).

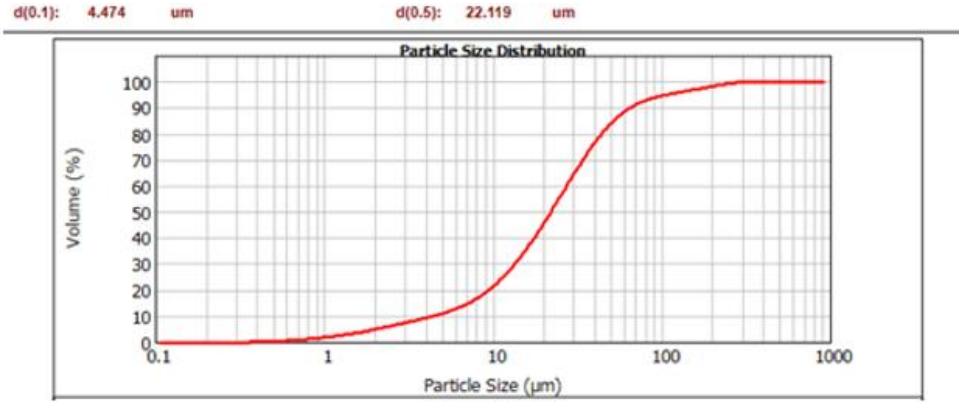


Figure 2. Copper powder particle size distribution

4. CONCLUSION

Copper powder (99.55 % Cu) of 22 µm d_{50} size was obtained after two stages of water leaching, impurities removal by precipitation and chemical reduction method using ascorbic acid. It was shown that it is possible to obtain value added products from the mineral processing plant tailings with a facile and environmentally-friendly procedure.

REFERENCES

Agrawal, A., Kumari, S., Bagchi, D., Kumar, V., Pandey, B.D., (2006), Hydrogen reduction of copper bleed solution from an Indian copper smelter for producing high purity copper powders, *Hydrometallurgy,* 84, 218–224.

Biçer, M., Şişman, İ., (2010), Controlled synthesis of copper nano/microstructures using ascorbic acid in aqueous CTAB solution, Powder Technology, 198, 279–284.

Qing-Ming, L., Yasunami, T., Kuruda,K., Okido, M., (2012), Preparation of Cu nanoparticles with ascorbic acid by aqueous solution reduction method, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 22, 2198−2203.

Vakylabad, A.B., Schaffie M., Naseri, A., Ranjbar, M., Manafi, Z., (2016), A procedure for processing of pregnant leach solution (PLS) produced from a chalcopyrite-ore bio-heap: CuO Nano-powder fabrication, *Hydrometallurgy,* 163, 24–32.

Valodkar, M.. Modi, S., Pal, A., Thakore, S.,(2011) Synthesis and anti-bacterial activity of Cu, Ag and Cu–Ag alloy nanoparticles: a green approach, *Mat. Res. Bull.*, 46, 384–389.

Wu, S., (2007) Preparation of fine copper powder using ascorbic acid as reducing agent and its application in MLCC, *Materials Letters*, 61, 1125–1129.

Wu S., Meng S., (2006), Preparation of micron size copper powder with chemical reduction method, *Materials Letters,* 60, 2438–2442.

Xiong,J., Wang, Y., Xue Q., Wu, X., (2011), Synthesis of highly stable dispersions of nanosized copper particles using L-ascorbic acid, *Green Chemistry*, 13, 900.

ATIKSULARDAN SİVAS BÖLGESİNE AİT ZEOLİT İLE AĞIRMETAL GİDERİMİ

HEAVY METAL REMOVAL USING ZEOLİTE (SIVAS REGION) FROM WASTEWATERS

Meltem SARIOGLU (CEBECİ)*, Mustafa ASKAL

Cumhuriyet Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas, TÜRKİYE

*Sorumlu Yazar: sarioglu@cumhuriyet.edu.tr

ÖZET: Ağırmetaller tekstil, boya, deri, kâğıt karton, maden, metal kaplama ve benzer çeşitli endüstrilerden gelen temel kirleticilerdendir. Ağırmetallerin çevreye etkilerini azaltmak için bazı teknolojiler geliştirilmiştir. Ağırmetal içeren endüstriler genellikle birden fazla prosesle örneğin adsorpsiyon gibi fizikokimyasal prosesle arıtılır. Bu çalışmada Sivas-Yıldızeli yöresine ait zeolit adsorbent olarak Nikel ağırmetal gşderiminde kullanılmış, kesikli laboratuvar ölçekli çalışmada başlangıç parametrelerinin etkisi pH (2-8), Ni konsantrasyonu (Co:25-200 mg/l), temas süresi (tc:2.5-1440 min) ve zeolite miktarı (m:1-15 g/l) çalışılmıştır.

Zeolitin adsorpsiyon öncesi ve sonrası yapısal ve morfolojisini anlamak için SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntüleri ve adsorpsiyonun türünü belirlemek için D-R adsopsiyon modeli kullanıldı. Adsorpsiyon kinetiği Pseudo-ikinci derece modeline uymaktadır. Desorpsiyon çalışmaları için 0,1 M HCl and NaOH seçildi.. Doğal zeolite, düşük fiatlı adsorbentlerden biri olarak, atıksulardan ağırmetal (Ni) gideriminde kullanılabilir.

Anahtar kelime: Ağır metal, Atık su, Adsorpsiyon, Zeolite, SEM

ABSTRACT:*Heavy metals are major pollutants of several industrial discharges such as textile, dye, tannery, pulp paper, mining, metal plating and so on.Some technologies have been developed for the removal of heavy metals from wastewaters to decrease their environmental impact. Wastewater heavy metal-bearing is generally treated using more than one process such as physical and chemical treatments such as adsorption. In this study, zeolite (Yıldızeli region, Turkey) was used as an adsorbent to remove heavy metal (nickel) and effects of initial pH (2-8), initial Ni concentration (Co:25-200 mg/l),*

contact time (tc:2.5-1440 min) and amount of zeolite (m:1-15 g/l) were studied by natural zeolite in a lab.-scale batch study

SEM (scanning electron microscope) images were used to understand morphology and structural character of zeolite and after adsorption process. D-R biosorption isotherm model was used in order to determine type of adsorption mechanism. Pseudo-second order model was suitable for adsorption kinetics. 0,1 M HCl and NaOH were used for desorption studies. Natural zeolite, one of the low-cost adsorbent, can be used for removal of heavy metal (Ni) from wastewaters.

Keywords: *Heavy metal, Wastewater, Adsorption, Zeolite, SEM*

1. GİRİŞ

Ağır metal kirliliği içeren atıksular, BOI değeri düşük, genellikle asidik, suda yasayan ve bu suyu kullanan canlılar için zehirleyici nitelikte, kendi kendine temizlenme ve arıtılmada etken mikroorganizmaları dahi öldürebilen özellikte inorganik karakterli sulardır. Kirliliğe sebep olan kursun, krom, civa, kadminyum, bakır, demir, nikel, çinko gibi ağır metal iyonları ile radyoaktif elementleri içeren çeşitli endüstrilerin atıksuları deniz, göl ve akarsu gibi yüzey sularını kirleten en önemli kaynak haline gelmiştir (Al-Asheh vd., 2003; D.S.İ, 1980).

Ağır metal kirliliği içeren atıksu kaynakları baslıca üç grupta toplanmaktadır (Aksu, 1998; D.S.İ. 1980; Mctcalf ve Eddy, 1991).

Maden Endüstrisi: Kömür ve diğer maden ocaklarının çalıştırılabilmesi için, madenden çıkarılarak atılması gereken asidik maden drenaj suları yüksek derişimlerde kalsiyum, magnezyum, demir ve düşük derişimlerde alüminyum, mangan ve diğer ağır metal iyonlarını içermektedir. Bakır, çinko, kursun, krom, gümüş, altın, nikel, uranyum gibi madenleri içeren cevherlerin topraktan çıkarılması, temizlenmesi, öğütülmesi ve saflaştırılması esnasında oldukça fazla su kullanılmakta ve bu sular yüksek derişimlerde adı geçen metal iyonlarını içermektedir.

Metal Endüstrisi: Basta demir-çelik endüstrisi olmak üzere, bakır, çinko, krom endüstrileri, metal kaplama, metal isleme gibi endüstrilerin çeşitli fiziksel ve kimyasal proseslerinde fazla miktarda su kullanılmakta ve bu endüstrilerin atıksuları da bu metal iyonlarını içermektedir.

Sanayi Tesisleri: Sanayi tesisleri atıksuları, en fazla ağır metal kirliliği ve zehirliliği içeren atıksulardır. Otomotiv fabrikaları, elektrik, elektronik, mutfak ve ev eşyaları üreten sanayi tesisleri, boru, kapsül, tüfek, makina ve boya endüstrilerinin atıksuları bu gruba girmektedir.

Ağır metal içeren atıksuların arıtımı, genelde isletmenin kapasitesine, atıksu debisi ve karakteristiklerine, prosese, arıtma tesisine, kullanılan kimyasallara bağlı olmakla birlikle, içmekle kimyasal olarak metal iyonunun çökelebilen bir bileşiği sekline dönüştürülmesi ilkesine dayanır. Çöktürmede, baslıca indirgeme-çökeltme, yükseltgeme-çökeltme ve nötralizasyon-çökeltme yöntemleri kullanılmaktadır. Ağır metal kirliliği içeren atıksuların arıtımında kullanılan diğer yöntemler arasında ise iyon değiştirme, adsorpsiyon ve elektrokoagülasyon sayılabilmektedir (Atımtay ve Yetiş, 1992). Uçucu kül, çeşitli silikatlar, zeolit, bentonit, anaerobik çamur, atık aktif çamur, çeşitli tarımsal atıklar (odun talaşı, pirinç kabuğu, pancar küspesi, vb.) da ağır metal kirliliğinin gideriminde araştırılan adsorbentlerdendir (Calace vd., 2003)

Bu çalışmada zeolit kuıllanılarak atıksulardan nikel giderimi çalışılmıştır. Nikel cevheri, baslıca paslanmaz ve alaşım çeliği üretiminde, demirsiz alaşımlarda, elektro kaplamada kullanılır. Nikelin uç ürünleri ise uçak, gemi ve kara taşıtlarının korozyona maruz parçalarının üretiminde, kimya sanayinde, elektrikli aletlerde, petrol sanayinde ve mutfak aletleri yapımında kullanılır ayrıca cama yeşil renk vermek amacıyla da kullanım alanı bulan nikel, bozuk para üretiminde ve dekoratif gümüş yerine kullanılmaktadır. (Ho, 2004). Zeolitler K, Na, Ca, Mg (potasyum, sodyum, kalsiyum, magnezyum) gibi alkali ve toprak alkali elementleri içeren sulu alüminosilikatlardır. Zeolit mineralleri birbirleriyle ilişkili katyonlar ve su molekülleri tarafından doldurulan ve birbirine bağlı boşlukların çevrelediği kafes sisteminde bir yapıya sahiptirler. Zeolit; volkanik cam, kristalin ve kristalin olmayan killer, feldispat, feldispatoyid gibi birçok minerallerden oluşmaktadır (Çerikcioğlu, 1997). Bir zeolit mineral tipinin kimyasal yapı bileşimi aşağıda verilmiştir:

$M_{2/n}$ O. $A1_2O_3$ $XSiO_2$. YH_2O

Burada; M; herhangi bir alkali (Na^+, K^+) veya toprak alkali (Ca^{++}, Mg^{++}, Ba^{++}, Sr^{++}) katyonu, n; katyonun değeri, X; 2'den 10'a kadar değişebilen sayılar ve Y; 2'den 7'ye kadar değişebilen sayılardır (Tsitsishvili, 1992).

Zeolitlerin baslıca fiziksel ve kimyasal özellikleri olan; iyon değişikliği yapabilme adsorpsiyon ve buna bağlı moleküler elek yapısı, silis içeriği, ayrıca tortul zeolitlerde açık renkli olma, hafiflik, küçük kristallerin gözenek yapısı zeolitlerin çok çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmalarına neden olmuştur. "Zeolit" kelime olarak "Kaynayan Tas" anlamındadır. Isıtıldığında patlayarak küçük parçalara ayrılması nedeni ile bu isim verilmiştir (DPT Raporu, 1996). Zeolitler K, Na, Ca, Mg (potasyum, sodyum, kalsiyum, magnezyum) gibi alkali ve toprak alkali elementleri içeren sulu alüminosilikatlardır. Kuvars ve feldispatlar gibi tektosilikat ailesinin üyesidirler ve SiO_4^{-4} tetra ederlerinin üç boyutlu dizilimi ile oluşurlar.

Ouki (1999) yaptığı çalışmada klinoptilolit ve sabazit ile ağır metal gideriminde %99'a ulasan arıtma verimleri elde etmiştir ve bu çalışmada zeolit türlerinin ağır metaller için seçicilik sıralamasını (Ouki, 1999) Klinoptilolit için Pb> Cu> Cd> Zn> Cr> Co> Ni olarak vermiştir.

Son elli yılda zeolit çalışmaları oldukça yoğun olarak devam etmesine rağmen doğal zeolitin kullanımı son yıllarda önem kazanmıştır. Doğal zeolitler, sulardan iyon değiştirme ile katyonları uzaklaştırmaktadır. Klinoptilolit zeoliti Pb^{+2}, Zn^{+2}, Cd^{+2}, Ni^{+2}, Fe^{+2} ve Mn^{+2} gibi ağır metal iyonlarına karsı oldukça yüksek kapasitede seçiciliğe sahiptir. Klinoptilolit zeoliti ülkemizde özellikle Ege Bölgesinde Bigadiç ve Gördes yörelerinden çıkarılmaktadır. İyon değiştirici olarak kullanılabilen zeolit, sentetik iyon değiştiricilerle kıyaslandığında ekonomik bir doğal maddedir. Kurama ve dig.'nin (1995), *"Doğal Klinoptilolitin İyon Değişim Özellikleri* Pb^{+2}, Cu^{+2}, Cd^{+2}, Hg^{+2} / Na^{+} *Dengesi"* başlıklı çalışmalarında, daha önce yapılan jeolojik araştırmalarla; zengin klinoptilolit rezervine sahip olduğu saptanan Bigadiç bölgesi zeolitlerinin ağır metal iyonları; Pb^{+2}, Cu^{+2}, Cd^{+2}, Hg^{+2} ile iyon değişim potansiyelleri incelenmiştir. Pb^{+2}, Cu^{+2}, Cd^{+2}, Hg^{+} iyonları ile çalışılan bu araştırmada, klinoptilolitin Pb^{+2} iyonları için yüksek seçimlilik gösterdiği belirlenmiştir. Değişim izotermleri dikkate alındığında değişim seçimliliği; $Pb^{+2} > Cu^{+2} > Cd^{+2} > Hg^{+2}$ şeklinde bir azalış göstermektedir.Literatürde yukarda verilen örnekler dışında son yıllarda da zeolitle ağır metal giderim çalışmaları devam etmektedir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1 Ağır Metal Çözeltilerinin Hazırlanması

Ni(II) çözeltisi; Nikel klorür ($NiCl_2.6H_2O$) kimyasalından gerekli miktarlar alınarak (4.0500 g) 1000 mg/L konsantrasyonunda 1L hacminde hazırlanmıştır. Farklı Ni(II) iyon derişimleri stok metal çözeltisinden gerekli seyreltmeler yapılarak elde edilmiştir.

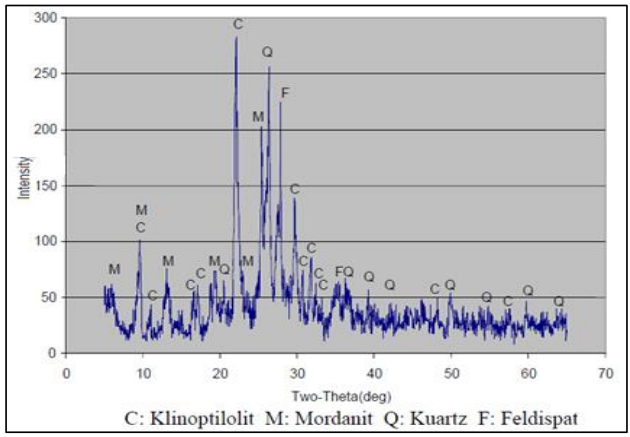
2.2 Kesikli Deneylerin Yürütülmesinde Kullanılan Cihazlar

Adsorpsiyon deneyleri kesikli sistemde 250 mL'lik erlenlerle 100 mL'lik hacimlerde çalışılmıştır. Kullanılan bu erlenlerin ağızları adsorpsiyon çözeltilerinin buharlaşmasını önlemek amacıyla alüminyum folyo ile kapatılmıştır. Deneyler, literatür incelenmesi sonucunda seçilen 130 rpm sabit karıştırma hızında çalkalamalı inkübatörde yürütülmüştür. Deney sonunda çözeltilerden biyosorbentler 4000 rpm'de santrifüjlenerek uzaklaştırılmıştır. Çözeltide kalan metal iyonları atomik absorpsiyon spektrofotometresi ile ölçülmüştür.

Deneylerde, WTW-(Inolab) marka pH metre kullanılarak pH ölçümleri yapılmıştır. Tüm deneysel çalışma boyunca santrifüjleme işlemlerinde Hettich (EBA 21) marka santrifüj kullanılmıştır. Kesikli sistem çalışmaları Gerhard marka çalkalamalı inkübatörde sürdürülmüştür. Nikel iyon derişimlerinin tayinleri atomik absorpsiyon spektrofotometresi (GBC Avanta S) kullanılarak Nikel (II) için λ: 217.9 nm, absorbans değerleri okunarak tayin edilmiştir.

2.3 Adsorbent Seçimi

Sivas Yıldızeli Yöresi zeolit örnekleri klinoptilolit, mordanit, feldispat ve kuartz karışımlarından oluşmaktadır. Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde Rigaku D Max III C marka X-ray diffractometer (XRD) ile minerolojik özellikleri belirlenmistir. Ön denemeden geçirilen uygun boyuttaki 0.125 mikrometrenin altındaki zeolit örneklerinin XRD sonuçları Şekil 1'de verilmiştir. XRD analiz sonuçlarına göre örnekteki temel minerallerin klinoptililt ve mordenit olduğu görülmektedir. FT-IR spektro ölçümleri için Mattson 1000 FTIR spectrohotometer (UK) kullanıldı. Zeolit örneklerinin doğal ve optimum koşullarda adsorplandıktan sonraki ağırmetal için yapısal değişimi incelendi. Örneklerin peleti Pellets KBr ile hazırlandı.



Şekil 1. X-ray diffraction (XRD) analizinin sonuçları

2.4. Desorpsiyon Çalışmaları

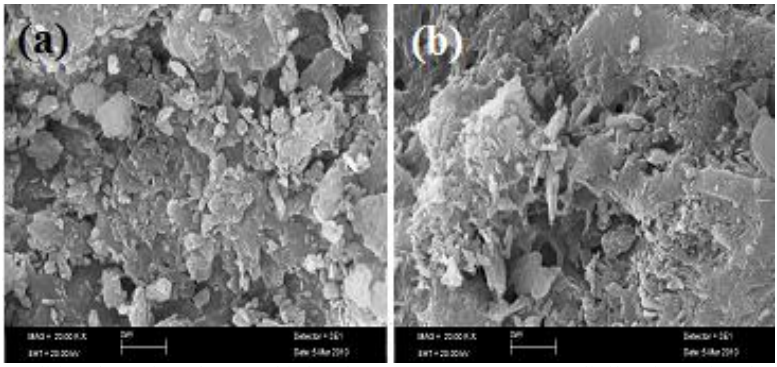
Doğal halde bulunan ve ön işlemden geçirilmiş olan zeolit kesikli sistem çalışmalarında doygunluğa ulaştıktan sonra, HCl ve NaOH kimyasalları desorbent olarak kullanılmış ve kesikli sistem çalışmalarında belirlenen koşullarda biyosorbentlere desorpsiyon işlemi uygulanmıştır. 100 ml hacmindeki desorbent çözeltilerine Ni(II) ile doygunluğa ulaşmış olan zeolit ilave edilmiş ve 15 dk, 90 dk ve 24 saat çalkalamalı inkübatörde temas ettirilmiştir. 15 dk, 90 dk ve 24 saat sonra çözeltiye geçen miktarları ölçülmüştür. Desorpsiyon oranı, Eşitlik 2.1 ile bulunmuştur (Gupta ve Rastogi, 2008; Deng vd., 2007).

*Desorpsiyon oranı (g/L) =[Desorbe edilen metal iyon miktarı (mg/L)/ Adsorbe edilen metal iyon miktarı (mg/g)] *100* [2.1]

3.BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. SEM Görüntüleri

SEM görüntülerine bakıldığında, zeolitin heterojen yapıya sahip olduğu, yüzey üzerinde boşluk ve gözeneklerin bulunduğu görülmektedir. Dış yüzeydeki bu gözenekler ve boşluklar, adsorpsiyon kapasitesi açısından önemlidir. Çalışmada kullanılan Ni adsorpsiyon gerçekleşmesinden sonraki SEM görüntülerinde kısmen boşlukların dolduğu ve kirleticilerin yüzeyde depolandığı düşünülmektedir (Şekil 2).

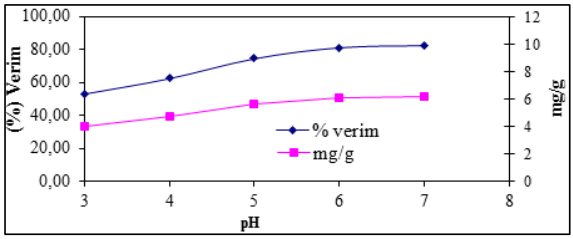


Şekil 2. a) Zeolitin adsorpsiyondan önceki(doğal) SEM görüntüsü, **b)** Zeolit ile Ni(II)'nin adsorpsiyondan sonraki SEM görüntüsü

3.2. pH'ın Adsorpsiyona Etkisi

Ortam pH'ının metallerin çözelti kimyasını, adsorben fonksiyonel grupların aktivitesini ve metalik iyonların rekabetini etkilediği için ağır metal adsorpsiyonunda önemli parametrelerden biri olduğu bilinmektedir (Veglio ve Beolchini, 1997).

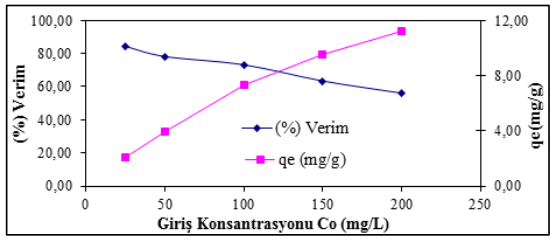
Zeolitte, Ni(II) için maksimum adsorpsiyon kapasitesi pH 6.0'de 6.1 mg/g olarak bulunmuştur (Şekil 3).Ayrıca pH'ın 6'dan büyük değerlerinde ise çözeltideki Ni(II) iyonlarının hidrolizi ile farklı hidrokso Ni(II) iyonları oluşmakta ve sonuçta Ni(II) iyonları nikel (II) hidroksit olarak çökelmeye başlamaktadır. pH>7 ise sulu çözeltiden Ni(II) gideriminde hem adsorpsiyon hem de çökelme ile giderim görülmektedir.



Şekil 3. pH'ın etkisi; Ni(II) adsorpsiyon (zeolit) kapasitesi ve % giderim verimi (Şartlar; Ni(II), Co:75 mg/L, pH:3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, Xo:10 g/L, T: 10°C, temas süresi:2 sa)

3.3. Başlangıç Kirletici Konsantrasyonunun Adsorpsiyona Etkisi

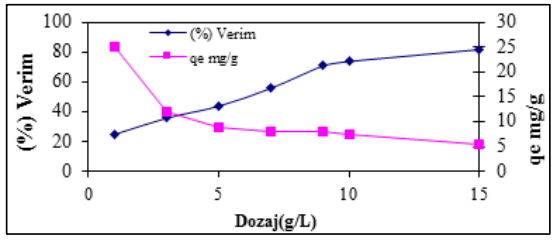
Başlangıç Ni(II) derişiminin adsorpsiyon kapasitesine etkisi, başlangıç kirletici derişimi 25-200 mg/L, 2 saat temas süresinde 20°C oda sıcaklığında, Ni(II) için belirlenen optimum pH olacak şekilde çalışılmıştır.(Sekil 4)



Şekil 4. Başlangıçtaki kirletici derişiminin etkisi; Ni(II)'nin adsorpsiyon (zeolit) kapasitesi ve % verimi (Şartlar; pH: 5.0, 5.0, 6.0, Xo:10 g/L, temas süresi: 2 sa, T: 20°C)

3.4. Adsorbent Derişiminin Adsorpsiyona Etkisi

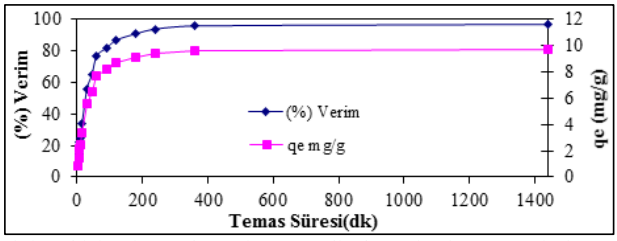
Adsorbent miktarının adsorpsiyonun kapasitesini etkilediği yapılan literatür çalışmalarından bilinmektedir. Şekil 5'den görüleceği üzere, zeolit miktarı 10g/L ye dek artmakta ve bu artış oranı 15 g/L de giderim verimi üzerinde fazla etkili olmadığı gözlendiğinden 10 g/L optimum dozaj olarak seçilmiştir.



Şekil 5. Adsorbent derişiminin etkisi; Ni(II)'in adsorpsiyon (zeolit) kapasitesi ve % giderim verimi (Şartlar; için pH: 6.0, Co:100mg/L, temas süresi: 2 sa, T: 20°C)

3.5. Temas Süresinin Adsorpsiyona Etkisi

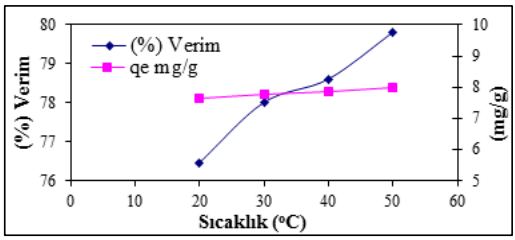
Şekil 6'da görüldüğü gibi temas süresi arttıkça Ni(II)'nin giderim verimi ve adsorpsiyon kapasitesi artmıştır. Temas süresi 60 dk ve üzerinde adsorpsiyon kapasitesi ve giderim verimi üzerinde çok fazla etkilemreyiceği kabul edildiğinden temas süresi 60 dk olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. Temas süresinin etkisi; Ni(II) adsorpsiyon (zeolit) kapasitesi ve % verimi (Şartlar; pH: 6.0, Xo:10 g/L, Co: 100mg/L, T: 20°C)

3.6. Sıcaklığın Adsorpsiyona Etkisi

Sıcaklığın birim adsorbent ağırlığı başına adsorplanan Ni(II)'ye etkisi optimum pH değeri olarak saptanan sırasıyla pH 6.0, başlangıç Ni(II) iyonlarının 100 mg/L derişiminde, temas süresi Ni(II) 60 dk ve Ni(II) için Xo 10 g/L olacak şekilde sıcaklık 20-50ºC aralığında değiştirilerek incelenmiştir. Şekil 7'de Ni için farklı sıcaklıklarda, birim adsorbent ağırlığı basına adsorplanan miktarlar ve giderim verimleri gösterilmektedir.



Şekil 7. Sıcaklık değişiminin adsorpsiyona etkisi; Ni(II)'nin adsorpsiyon (zeolit) kapasitesi ve % verimi,(Şartlar;pH: 6.0, Xo:10 g/L Co:100mg/L, temas süresi: 60 dk)

3.7. İzoterm Modellerinin Elde Edilmesi

Zeolit ile yapılan Ni adsoropsiyon izoterm sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Langmuir izoterminden görüleceği üzere zeolitin Ni için max adsorpsiyon kapasitesi 14,49 mg/g olarak belirlenmiştir. D-R izotermi adsorpsiyonun fiziksel adsopsiyon olduğunu güstermektedir. Adsorpsiyon mekanizmasının fiziksel ya da kimyasal olup olmadığını belirlemek için adsorpsiyon enerjisi hesaplanmıştır. Adsorpsiyon enerjisinin eşitliği ise aşağıda verilmiştir $E=1/(-2\ \beta)1/2$

E değeri 8 ve 16 kj/mol arasında ise adsorpsiyon mekanizması kimyasaldır. Eğer E<8kj/mol ise adsoprsiyon mekanizması fizikseldir denilebilir (Sarioglu ve Güler 2002). Doğal zeolit için E değeri 7.454 kj/mol olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 1. Ni(II)'in Zeolitle Adsorpsiyonu için Langmuir, Freundlich ve D-R izoterm Sabitleri

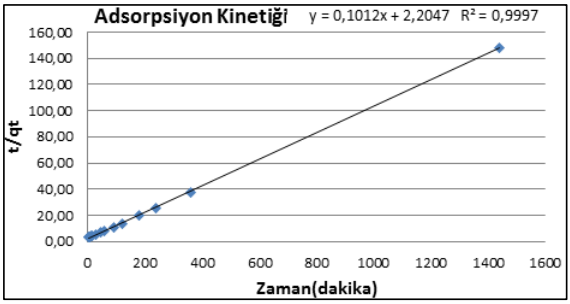
	Langmuir			**Freundlich**			**D-R**			
Ni-Zeolit	(L/mg)		R^2	k_F (L/g)	n	R^2	q_m (mol/g)	B	E	R^2
	qm	b	0.994	1,03	1,812	0,984	0,000077	mol^2/KJ^2	kj/mol	0.997
	14,49	0,0373						-0,009	7,454	

3.8. Kinetik Sabitlerin İncelenmesi

Ni(II) iyonlarının zeolite adsorpsiyonunda , adsorpsiyon kinetiği belirlenmek istenmiştir ve deneysel verilere, yalancı (Pseudo) ikinci derece kinetik modeli uygulanmış ve kinetik sabitler hesaplanmıştır (Çizelge 2, Şekil 8).

Çizelge 2. Ni(II) adsorpsiyonunda elde edilen yalancı ikinci (Pseudo) derece kinetik model adsorpsiyon sabitleri $q_{deneysel}$ (mg/g) ve q_{teorik} değerleri kısmen yakındır.

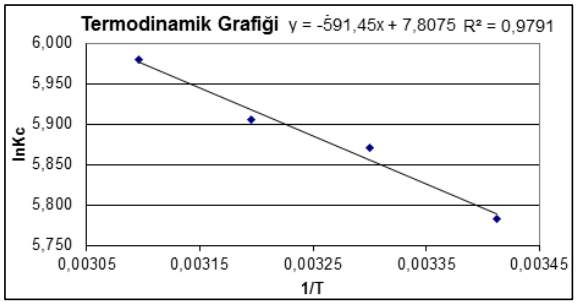
	$q_{deneysel}$ (mg/g)	$k_{2,ad}$	q_{teorik} (mg/g)	h (mg/g.dk)	R^2
Ni(II)-Zeolit	8.20	0.0046	9.804	0.454	9.999



Şekil 8. Ni(II) iyonlarının zeolite adsorpsiyonunda elde edilen yalancı ikinci (Pseudo) derece kinetik model grafiği (Şartlar: pH: 6.0, Xo:1 g/L, Co: 100 mg/L)

3.9. Termodinamik Parametrelerin Belirlenmesi

Şekil 9 ve Çizelge 3'de termodinamik grafiği ve buna bağlı olarak termodinamik parametreler verilmiştir.



Şekil 9. Ni(II) iyonlarının zeolite adsorpsiyonunda 20ºC-50ºC sıcaklık aralığı için Van't Hoff grafiği (Şartlar pH:6.0, Xo:10g/L, Co:100 mg/L)

Çizelge 3.3 Ni(II) adsorpsiyonunda, 20ºC-40ºC sıcaklık aralıkları için Termodinamik Parametreler

	T(K)	Kc(qe/Ce*1000)	ΔG(kj/mol)	ΔS(kj/molK)	ΔH(kj/mol)
Ni(II)-Zeolit	293	324,628	-14,087	0,0649	4,917
	303	354,545	-14,789	0,0649	4,917
	313	367,290	-15,369	0,0649	4,917
	323	395,050	-16,056	0,0649	4,917

3.10. Desorpsiyon Çalışması

Desorpsiyon çalışması sonuçları Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Ni(II)-Zeolit Desorpsiyon çalışması

t(zaman)	HCl			NaOH		
	ABS	Ce	%, Desorpsiyon	ABS	Ce	%, Desorpsiyon
15 dak	0,065	2,44	2,51	0,147	7,17	2,52
90 dak	0,145	6,11	3,51	0,174	8,61	5,82
180 dak	0,185	8,50	6,29	0,225	12,72	7,28
1440 dak	0,230	10,28	8,26	0,288	14,39	9,51

4. SONUÇ

Sivas bölgesine ait doğal zeolit ile atıksulardan nikel giderimi araştırılmış ve deney sonuçları izoterm modellerine uymuştur. NaOH ile desorpsiyon daha iyi sonuç vermiştir. Deneysel verilere, yalancı (Pseudo) ikinci derece kinetik modeli uygulanmış ve kinetik sabitler hesaplanmıştır.Bu zeolitin Ni iyonunu için maksimum adsopsiyon kapasitesi 14.49 olarak belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

Aksu, Z., 1998. Biosorption of Heavy Metals by Mieroalgae in Bateh and Continuous Systems, Algae for Wastewater Treatment, (Wong, Y.S., Tam, N.F.Y.,-eds), 37-53, Germany.

Al-Asheh. S., Banat, F. and Al-Rousan. D., 2003. Beneficial Reuse of Chicken Feathers of Heavy Metals From Wastewater, Journal of Cleaner Production 11, 321-326.

Atımtay, A. ve Yetis. Ü., 1992. Atıksu Özelliklen ve Analizleri, Endüstriyel Atıksu Arıtım Kitabı İçinden. (Editörler; Tanyolac, A., Çelebi, S.), TMMOB Kimya Mühendisleri Odası Yayınları, Bölüm 3, 67-83, Ankara.

Calace, N., Nardi, E., Petronio, B.M., Pietroletti, M. and Tosti, G., 2003. Metal Ion Removal From Water by Sorption on Paper Mill Sludge, Cehemosphere, 51, 9, 797-803.

Çerikçioglu, B., 1997. Doğal Zeolitler, Yüksek Lisans Semineri, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Sivas.

D.S.İ., 1980. Metal Kaplama Sanayi Atıksuları, D.S.İ. Genel Müdürlüğü, Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Yayını, Ankara, K_-703.

Deng, L., Su, Y., Su, H., Wang, X. and Zhu, X., 2007. Sorption and Desorption of Lead(II) From Wastewater by Green Algae Cladophora fasciculari,s Journal of Hazardous Materials, 143, 220–225.

DPT, 1996. VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Özel ihtisas Komisyonu Raporu, DiğerEndüstri Mineralleri, Cilt-1, Ankara, Yayın No; DPT: 2421-Ö_K:480.

Ho. Y.S. and McKAY, G., 1999. Pseudo-Second Order Model For Sorption Processes, Process Biochem., 34, 45 1-465.

Gupta, V.K. and Rastogi, A., 2008. Sorption and Desorption Studies of Chromium(VI) From Nonviable Cyanobacterium Nostoc muscorum Biomass, Journal of Hazardous Materials, 154, 347–354.

Kurama, H., Kaya, M., 1995. Doğal klinoptilolitin İyon Değişim Özellikleri Pb++, Cu++, Hg++/Na+ Dengesi, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 24-33.

Metcallf, L. and Eddy, H.P., 1991. Wastewater Engineering, 3 rd. Ed., Mc Graw Hill, N.Y., 48-126.

Ouki S.K., Kavannagh M., 1999. "Treatment of Metals-Contaminated Wastewaters by Use of Natural Zeolites", Water Science & Technology, Vol.39, No. 10-11, pp 115-122.

Sarıoğlu, M., Güler, Ü.A., 2012. Doğal ve Aktifleştirilmiş Anaerobik Çamur Kullanılarak Metilen Mavi Boyasının Biyosorpsiyonu:Denge, Kinetik ve Termodinamik Çalışmalar, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13, 41, İzmir.

Tsitsishvili, G.V., 1978. Adsorption and Catalytic Properties of Same Soviet Natural Zeolites, Natural Zeolites: Occurence, Properties, Use, Ed. L.B. Sand and F.A. Mumpton, Pergainon Press, pp. 397-401.

Veglio, F. and Beolchini, F., 1997. Removal of Metals by Biosorption: A review, Hydrometallurgy. 44, 301-316.

ATIK KÜLLERİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE İNCELİĞİN ETKİSİ

THE EFFECT OF FINENESS ON THE RECYCLING OF WASTE FLY ASHES

İbrahim ÇAVUŞOĞLU[1*], Demet DEMİR ŞAHİN[1], Ali OSMAN YILMAZ[2]

1: Gümüşhane Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, TÜRKİYE

2: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon, TÜRKİYE

*Sorumlu Yazar: cavusogluibrahim@hotmail.com

ÖZET: Termik santrallerde kömürün yanması sonucu oluşan uçucu küllerin çevre üzerinde yaratacağı olumsuz sorunları ortadan kaldırmak için farklı kullanım alanlarında değerlendirilmeleri gerekir. Uçucu küller puzolanik özelliklere sahip olduğundan en yaygın çimento ve betonda doğrudan ya da bir takım fiziksel işlemlerden geçirilerek kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada Çayırhan Termik Santrali'nden temin edilmiş uçucu külün inceliğinin puzolanik özelliğine katkısı incelenmiştir. Uçucu kül öğütme işlemine tabi tutularak (bilyeli değirmende 10, 20, 30, 45 ve 60 dk) fiziksel özellikleri değiştirilmiş ve puzolanik aktivite indeks değerlerindeki değişimler incelenmiştir. Orijinal ve öğütülmemiş malzemeler üzerine tane boyu analizi, özgül yüzey alanı tayini (blaine), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve puzolanik aktivite indeksi belirleme deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak öğütülmüş numunelerin aktivite indeks değerlerinin orijinal küllere göre yüksek çıktığı ve çimento sektöründe kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık malzeme, İncelik, Puzolanik aktivite, Uçucu küller

ABSTRACT: *Fly ash resulting from coal burning in thermal power plants needs to be evaluated in different areas of use in order to eliminate the negative problems that may arise on the environment. Since fly ash has pozzolanic properties, it is most commonly used in cement and concrete directly or through a number of physical processes. In this study, a contribution of the fineness of fly ash obtained from Çayırhan Thermal Power Plant to its pozzolanic characteristic was investigated. Fly ashes were first milled (ball*

mill 10, 20, 30, 45 ve 60 min) to change their physical properties and then, the changes in their pozzolanic activity index values were investigated. Some experiments were carried out on milled and raw materials to determine grain size, specific surface area (blaine), scanning electron microscopy (SEM) and pozzolanic activity index. As a result, it was found that activity index values of milled samples were higher than original fly ashes and suitable for use in the cement industry.

Keywords: *Waste material, Fineness, Fly ashes, Pozzolanic activity*

1. GİRİŞ

Uçucu kül, termik santrallerde pulverize haldeki kömürün yanması sonucu meydana gelen ve sonrasında baca gazları ile taşınarak siklon veya elektro filtrelerde toplanan atık malzemelerdir. Yüksek sıcaklıklarda kömürün yakılması sonrasında meydana gelen ergimiş malzeme soğuyarak, gaz akışı ile beraber kısmen veya tamamen küresel şekilli taneciklere dönüşmektedir. Çok ince tanecikli olan bu malzemeler baca gazları ile sürüklenmelerinden dolayı uçucu kül olarak adlandırılmaktadırlar (Görhan vd., 2008). Atık malzeme olarak bilinen uçucu küller, puzolanik özelliklerinden dolayı da değerli bir yan ürün olarak da kabul edilmektedirler.

Puzolanik malzeme, tek başına bağlayıcılık özelliği çok az ya da hiç olmayan fakat öğütüldüklerinde normal sıcaklık ve rutubetli ortamda sönmüş kireç ($Ca(OH)_2$) ile kimyasal reaksiyona girerek ilave bağlayıcı bileşikler oluşturan silisli veya silisli alüminli malzemeler olarak tanımlanmaktadır (Demir, 2009). Puzolanlar, gerek çimento yapımı sırasında klinkerle birlikte öğütülerek, gerekse çimentoya değişik oranlarda katılarak beton yapımında kullanılmaktadır. Puzolanların çimento yerine kullanılmasıyla çimentoya pek çok özellik kazandırmasının yanında malzemeden ekonomik anlamda da kazanç sağlamaktadır.

Uçucu küller puzolanik özelliklerinden dolayı puzolan madde olarak kullanılmaktadırlar. Ancak beton yapımında çimentoya ilave edilecek veya çimento üretimi sırasında klinkere katılacak puzolanların belirli bir özellikte olması gerekmektedir. Her iki kullanım durumunda da kullanılacak uçucu külün mutlaka puzolanik özelliğinin tespit edilmesi gerekmektedir. Puzolanik aktivitesi yeterli seviyede olmayan uçucu küller bu iki amaç için kullanılmamaktadırlar. Puzolanik özelliği belirlenmiş olan uçucu külün çimento yapımında kullanılması için bu özelliğine

ek olarak, kimyasal (SiO_3 + Al_2O_3 + Fe_2O_3, SO_3, kızdırma kaybı, alkaliler vb.) ve fiziksel özelliklerinin (incelik, su alma kapasitesi vb.) de bilinmesi gerekmektedir (Güler vd., 2005).

Uçucu küller ilave edildikleri çimento hamurlarında dayanım bakımından kontrol numunesine göre erken kür sürelerinde bir düşüşe, ilerleyen kür sürelerinde ise artışa sebebiyet verdikleri bilinmektedir (Erdoğan, 1997; Yazıcı ve Arel, 2012). Uçucu küller genellikle betonun özelliklerini doldurma etkisi sayesinde değiştirtiği, puzolanik özelliklerinin bu bakımdan daha yetersiz kaldığı görülmektedir (Aiqin vd., 2003). Bünyelerinde bulundurdukları silisyum, aluminyum ve demir oksitli bileşenlerden dolayı puzolanik özelliğe ve çok ince tanecikli, amorf yapıya sahiptirler. Bünyelerinde bulundurdukları silisyumlu ve aluminyumlu malzemeler hidratasyon sırasında oluşan kalsiyum hidroksitle ($Ca(OH)_2$) tepkimeye girerek ilave kalsiyum silika hidratları (C-S-H) oluştururlar ve bu sayede beton veya çimentolu harçların dayanımında bir artış sağlarlar. Bunun yanında uçucu küllerin çok ince tanecikler içermesinden dolayı beton veya çimentolu harçlar içerisinde boşlukları doldurma eğilimleri vardır ve daha kompakt bir malzeme oluştururlar (Yazıcı ve Arel, 2012).

Uçucu küllerde inceliğin etkileri ile ilgili olarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Felekoğlu vd., (2009) öğütülmüş yüksek kalsiyumlu uçucu külün aktivite indeksi üzerine inceliğin etkisini incelemiştir. Yaptıkları çalışmada uçucu külü 3 farklı devirde (1000, 2000 ve 3000) öğütme işlemine tabi tutmuş ve orjinal kül ve öğütülmüş küller ile ikame oranı %20 olacak biçimde numuneler oluşturmuşlardır. Uçucu küllü numunelerin dayanım indekslerinin kontrol numunesine göre (yani sadece çimento kullanılan numune) 7 ve 28 günlük kür sürelerinde düşük olduğunu ancak 90 günlük kür sürelerinde uçucu küllerle oluşturulan numunelerin dayanım indeks değerlerinin kontrol numunesinden yüksek olduğunu belirlemişlerdir. En yüksek dayanım indeksi değerine 1000 devirde yani daha az inceliğe sahip öğütülmüş numunede olduğunu tespit etmişlerdir. Dayanım değerinin artmasının inceliğin artmasıyla orantılı olduğunu, ancak inceliğin artmasıyla yüzey alanının arttığı ve numunelerdeki su ihtiyacını arttırdığını ve artan su ihtiyacıyla beraber dayanımda düşüşler gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Bu yüzden de her bir kül için optimum bir incelik değerinin saptanması gerektiğini açıklamışlardır.

Diğer bir çalışmada, Kiattikomol vd., (2001) uçucu külleri 3 farklı boyutta (ince, orta ve kaba) sınıflandırmış ve beton içerisinde %20 oranında çimento yerine ikame olarak kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada uçucu külün inceliğinin artmasıyla puzolanik aktivite indeksinin arttığını ve bunun sonucunda hazırlanan numunelerin dayanım değerlerinin de arttığını belirtmişlerdir. Çalışmada, aktivite indeksi üzerine malzeme inceliğinin etkisinin kimyasal bileşiminden daha etkili olduğunu vurgulamışlardır.

Chindaprasirt vd., (2005) yaptıkları çalışmada uçucu kül inceliğinin çimento hamurunda porozite ve dayanıma olan etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında F tipi uçucu kül kullanmış ve çimento yerine %20 ve %40 seviyelerinde ikame olarak kullanarak numuneler oluşturmuşlardır. Çalışma sonucunda portland çimentosu ile hazırlanan harç numunelerinin basınç dayanımlarının uçucu küllerle hazırlanandan daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada ayrıca ince öğütülmüş uçucu küllerle oluşturulan harçların erken dayanımlarının iri küllerle yapılanlara göre daha yüksek çıktığını belirtmişlerdir. Öğütülmüş küllerle yapılan çimentolu harçların orijinal külle yapılanlara göre daha kompakt olduğunu ve bu durumun numune dayanımlarına olumlu yansıdığını belirtmişlerdir.

Yapılan çalışmalardan da anlaşıldığı gibi uçucu küllerin çimento veya beton içerisinde yardımcı bağlayıcı veya doldurma etkisi şeklinde kullanımlarını arttırmak için öğütme gibi bir takım fiziksel işlemlerden geçirilmeleri gerekmektedir. Bu çalışmada, Çayırhan termik santralından alınan uçucu küllerin öğütülerek daha ince boyuta getirilmesi sağlanmış ve öğütmenin puzolanik aktivite üzerine olan etkileri incelenmiştir. Çalışmanın amacı, öğütmenin küllerin aktivitesi üzerine arttırıcı etkisini ortaya çıkarmak ve santral atığı olan uçucu küllerin çimentolu malzemeler içerisinde kullanımının arttırılmasını sağlamaktır. Böylelikle uçucu küllerin çevre üzerinde yaratacağı olumsuz sorunları ortadan kaldırmak için daha fazla kullanımlarını sağlayarak çevre dostu bir malzeme haline getirilmeleri sağlanacaktır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

Bu çalışmada malzeme olarak Çayırhan Termik Santrali'nden alınan uçucu kül kullanılmıştır. Kullanılan kül koyu gri renkli olup özgül ağırlık değeri 2,13 gr/cm^3

olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Çalışmada kullanılan uçucu külün kimyasal bileşimi yapılan XRF analizi ile belirlenmiştir. Bu analiz sonucuna göre külün kimyasal bileşimi ve standartlarda yer alan sınır değerler Çizelge 1'de verilmiştir. Külün kimyasal bileşimi standartlarda yer alan değerlerle karşılaştırılığında Silisyum, Alimünyum ve Demiroksitli bileşenlerin (SAF) toplamı %70'den büyük olduğundan F sınıfı uçucu kül grubuna girmektedir. Ancak CaO miktarı bakımından da C sınıfı kül sınıfında yeraldığı görülmektedir. Genel itibari ile külleri tanımlarken SAF toplamı dikkate alındığından Çayırhan külünün F sınıfı kül sınıfına daha yakın olduğu anlaşılmaktadır. Uçucu külün %85'inden fazlası SiO_2, Al_2O_3, CaO, ve Fe_2O_3'den oluşmaktadır. Külün SO_3 değerinin Türk Standartlarında yer alan değere göre yüksek olduğu da görülmüştür.

Şekil 1. Uçucu külün görünümü.

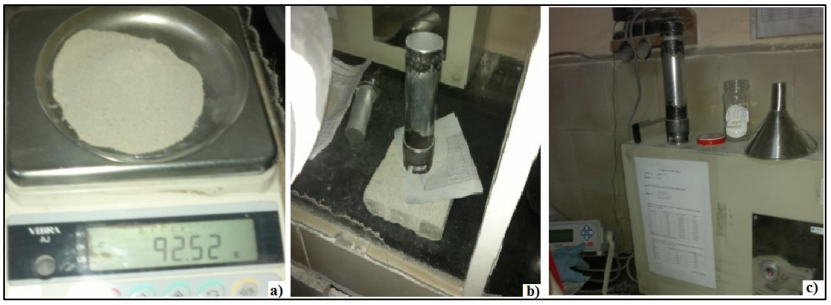
Çizelge 1. Çayırhan uçucu külünün kimyasal bileşimi.

Bileşen (%)	Uçucu Kül (Orjinal)	Uçucu Kül (60 dk öğt.)	ASTM C 618 Sınıflandırma		TS EN 450-1 Standardı (%)
			F (%)	C (%)	
SiO_2	50,42	51,65			
Al_2O_3	13,76	13,70			
Fe_2O_3	8,47	8,29			
S+A+F	72,65	73,64	> 70	> 50	> 70
CaO	11,28	10,93	< 10	> 10	
MgO	3,40	3,37	< 5	< 5	< 4
Na_2O	2,81	2,79	< 1,5	< 1,5	< 5
K_2O	4,32	4,22	_	_	< 5
SO_3	4,79	4,25	< 5	< 5	< 3

2.2. Yöntem

Çalışmada kullanılan uçucu küller farklı öğütme sürelerine tabi tutularak (10, 20, 30, 45 ve 60 dk) bilyeli değirmende öğütülmüştür. Orijinal ve farklı öğütme sürelerinde öğütülmüş uçucu küllerin tane boyu analizleri Mastersizer cihazı kullanılarak yapılmıştır. Farklı sürelerde öğütülmüş uçucu küllerin öğütmenin etkisi ile malzemenin inceliğinde oluşturduğu değişimin belirlenmesi için Blaine (özgül yüzey alan) analizi

yapılmıştır. Bu analiz 1 gr uçucu külün içinde bulunan tanelerin cm^2 cinsinden yüzey alanlarının ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Bütün kül numunelerine özgül ağırlık belirleme testi yapıldıktan sonra Blaine değeri hesaplama safhasına geçilmiştir. Blaine cihazına numunelerin özgül ağırlık değerleri girildikten sonra vakum yapması beklenmiş ve ardından sonuç değeri okunmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. Uçucu kül için blaine analizi; numunenin tartılması (a), cihazın numune haznesine numunenin yerleştirilmesi (b), numunenin vakum yapılarak blaine değerinin cihazdan okunması (c).

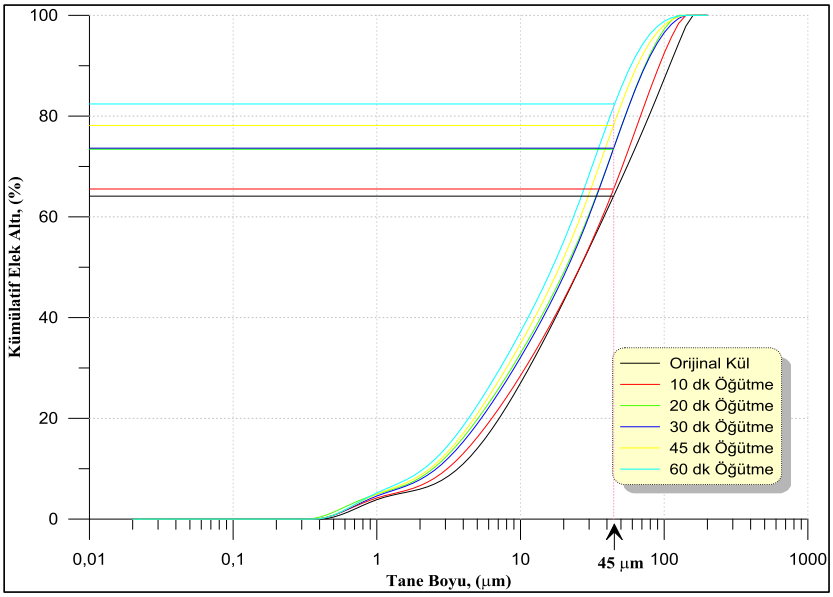
Uçucu külün öğütülmesi ile tane şeklinde ve yüzey durumunda oluşabilecek değişikliklerin belirlenmesi için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizi yapılmıştır. Bu analiz ile tanelerin şekli (yuvarlak, köşeli) ve yüzey durumu (pürüzlü, pürüzsüz) hakkında fikir sahibi olması sağlanmıştır. Son olarak uçucu küllerin puzolanik özelliklerinin belirlenmesi için puzolanik aktvite indeksi belirleme deneyi yapılmıştır. Bu deney TS EN 450-1 standardında ifade edilen 28 ve 90 günlük puzolanik aktivite indeksi deneyi ile belirlenmiştir. Bu deney orijinal ve öğütülmüş her bir kül numunesi için gerçekleştirilmiş ve her bir numune için 6 farklı karışım numunesi dökülerek dayanım değerlerinin ortalaması alınmıştır. Bunun yanında bağlayıcı olarak sadece çimento içeren (%100 çimento) 6 farklı numune dökülerek yine dayanım değerlerinin ortalaması da bulunmuştur. Bulunan bu iki ortalama değerin birbirine oranının yüzde olarak ifade edilmesi ile puzolanik aktivite indeksi değerleri belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

3.1. Tane Boyu Analizi

Çalışmada atık malzeme olarak kullanılan normal ve farklı sürelerde öğütülmüş uçucu küllere ait tane boyu analizi deney sonuçları Şekil 3'de verilmiştir. Orijinal kül ve

öğütülmüş numunelere ait tane boyu analizi grafiği incelendiğinde tanelerin öğütme işlemi sonrasında malzemenin öğütme zamanına bağlı olarak belirli oranlarda inceliğinin arttığı görülmektedir. Tane boyu ile ilgili olarak uçucu küllerin beton içerisinde kullanılmalarına yönelik bir takım standart değerler mevcuttur. TS EN 450-1 standardına uçucu küllerin uygunluk kriterine göre 45 µm elek üzerinde kalan malzeme miktarının %40'dan daha küçük, ASTM C618-12'ye göre %34'den daha küçük olması gerektiği belirtilmiştir. Yapılan tane boyu analizi sonucunda 45 µm elek üstü kalan malzeme miktarları orijinal, 10 dk, 20 dk, 30dk, 45 dk ve 60 dk öğütülmüş numuneler için sırasıyla %36, %35, %27, %26, %22 ve %18 olarak belirlenmiştir.



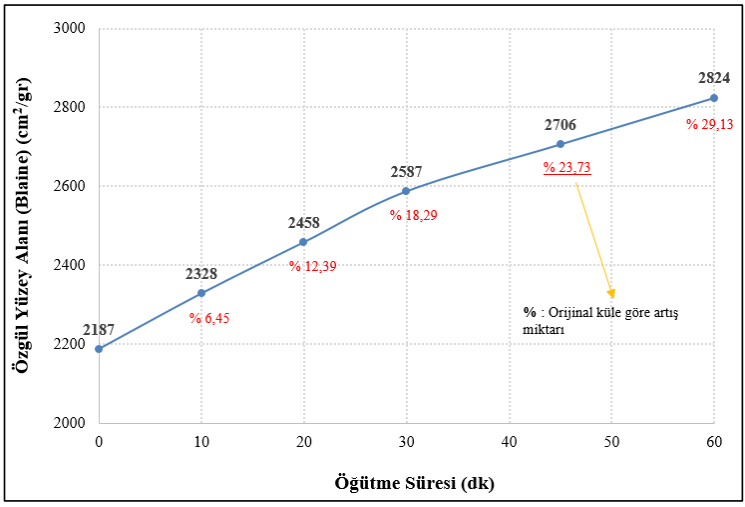
Şekil 3. Uçucu küllerin tane boyu analiz grafiği

3.2. Yüzey Alanı Tayini (Blaine)

Orijinal kül ve bilyeli değirmende öğütülen (10, 20, 30, 45 ve 60 dk) malzemelere yapılan yüzey alanı tayini deney (Blaine) sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Şekil incelendiğinde öğütme süresinin artmasıyla Blaine değerlerinin arttığı görülmektedir. Orjinal külün Blaine değeri başlangıçta 2187 cm^2/gr iken, 60 dk öğütme sonunda 2824 cm^2/gr olarak tespit edilmiştir.

Şekil 4'te öğütmeyle beraber uçucu kül tanelerinin yüzey alanında meydana gelen artış (%) miktarlarını da görmekteyiz. Birinci öğütme dakikası olan 10 dk öğütme sonunda yüzey alanında %6,45'lik bir artış söz konusu olmuştur. 60 dk öğütme

sonrasında ise yüzey alanındaki artış miktarı %29,13 seviyesinde gerçekleşmiştir. Küllerde inceliğin artmasının dayanıma olumlu yansıdığı ancak fazla oranlarda incelik miktarının artışının dayanımda düşüşlere sebebiyet verdiği bilinmektedir (Felekoğlu vd., 2009). Uçucu küllerde inceliğin artması çimento hamuru içerisinde doldurma etkisi (filler effect) yaratarak boşluk miktarını azaltmakta ve dolayısıyla dayanım değerlerini yükseltmektedir. Ancak inceliğin fazla oranlarda artmasıyla uçucu küllerin yüzey alanında yüksek bir artış sağlamakta ve böylelikle çimento hamurunun su ihtiyacında bir artış görülmektedir. Artan su miktarıyla su/çimento oranında bir artış ve akabinde dayanımda düşüşler görülmektedir. Bundan dolayı optimum bir incelik değeri belirlenmesi gerekmektedir.

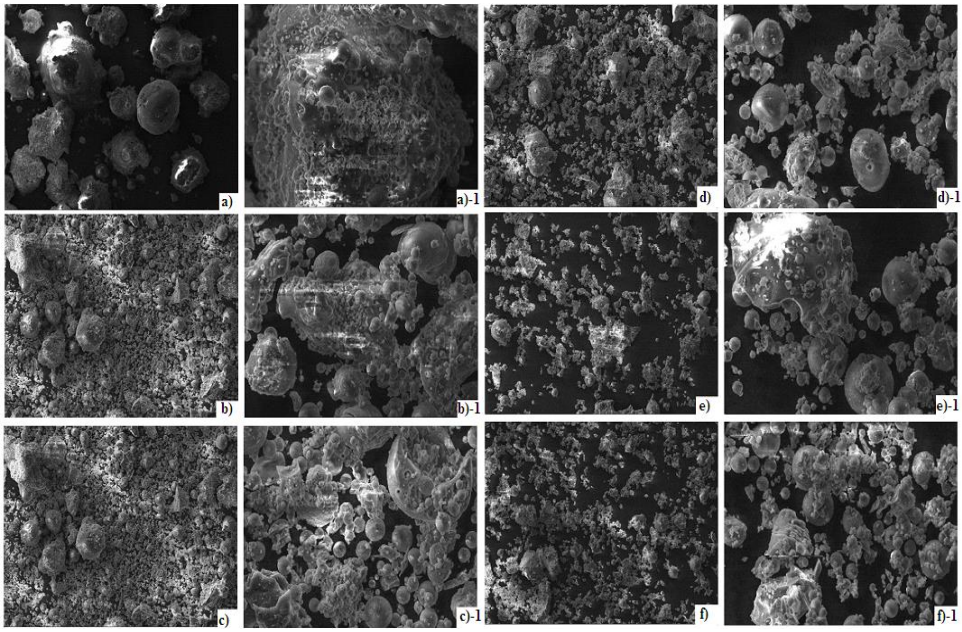


Şekil 4. Farklı sürelerde öğütülmeye tabi tutulmuş uçucu külün özgül yüzey alanı değerleri

3.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizi

Çalışmada kullanılan külün morfolojik yapısında öğütme ile oluşan şekil ve yapı durumunun belirlenmesi için Şekil 5'te gösterildiği gibi Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizi yapılmıştır.

Bu analize göre taneciklerin genel itibari ile morfolojik yapısı küresel tanelerden oluşmuştur. SEM analiz görüntüleri incelendiğinde artan öğütme süresiyle tanelerin oldukça inceldiği, incelen tanelerin bazılarının küresel formunu koruduğu bazılarının ise küresellikten uzaklaştığı belirgindir. Öğütme ile artan incelik ve küreselliğin bu malzemelerle oluşturulacak olan karışımlarda su ihtiyacını arttırması beklenmektedir.



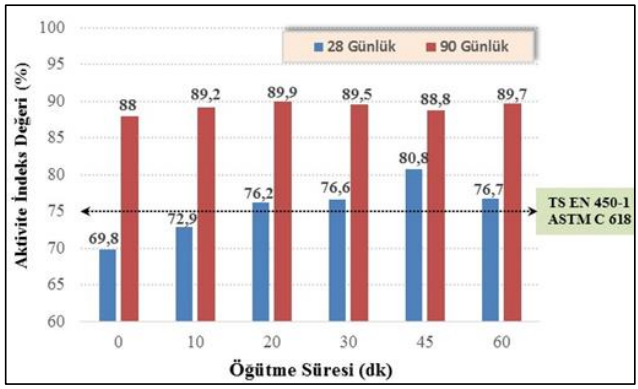
Şekil 5. Uçucu külün SEM analizi görüntüleri (500 ve 3500 kat büyütme). (a: orijinal kül; b:10 dk; c:20 dk; d:30 dk; e:45 dk; f:60 dk)

Morfolojik incelemeler ile ilgili daha önce yapılan çalışmada (Felekoğlu vd., 2009) küresel ve pürüzsüz iç parçacık şekline sahip uçucu küllerin öğütme sayesinde yüzeylerinin pürüzlü bir şekil aldığını, öğütme ile tanenin küresel şeklini ilk şekline göre aynı olmayacağı ve küresellikten uzaklaşacağı ifade edilmiştir. Sonuç olarak pürüzlü yüzeyler arttıkça harcın su isteğinin de artacağı belirtilmiştir. Bazı çalışmalarda da (Türker vd., 2009) uçucu küllerde bulunan küresel olmayan taneciklerin kömürden gelen ve yanma reaksiyonlarına katılmamış mineraller (kuvars, feldspatlar gibi) ve düzensiz şekilli ve gözenekli yapılardan (kil kalıntıları, yanmamış karbon gibi) oluştuğunu belirtmişlerdir. Uçucu külleri oluşturan parçacıkların morfolojisi üzerine ısınma ve soğuma işlemlerinin önemli bir etkisi olduğu bilinmektedir. Küresel ve amorf şekillerden oluşmuş uçucu kül parçacıklarının oluşması yanma olayından sonra soğumanın hızlı bir şekilde olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir (Kutchko ve Kim, 2006).

3.4. Puzolanik Aktivite İndeksi

Uçucu küllün puzolanik özelliklerinin belirlenmesi için öğütülmemiş ve her bir öğütme süresi için 28 ve 90 günlük puzolanik aktivite indeksi deneyi yapılmıştır. Şekil 6,

küllerin aktivite indeksi değerlerinin öğütme zamanına göre değişimini göstermektedir. Aktivite indeksi değerinin Türk ve Amerikan standartlarında 7 veya 28 günlük kür sürelerinde %75 olması istenmiştir. Bu değer kül ilave edilen numunenin basınç dayanım değerinin portland çimentosu ile yapılan kontrol numunesinin dayanım değerine oranı olarak hesaplanmaktadır.

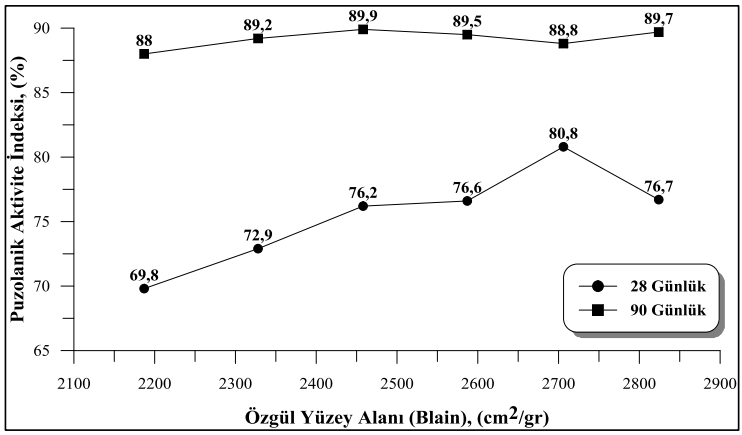


Şekil 6. Orijinal ve öğütülmüş numunelerin aktivite indeks değerleri

Şekil 6 incelendiğinde, deney sonuçları 28 günlük kür süresinde aktivite indeks değerlerinin öğütme süresiyle beraber (60 dk hariç) doğrusal olarak arttığını göstermektedir. Orijinal kül ve 10 dk öğütülmüş numunenin 28 günlük aktivite indeks değerlerinin TS EN 450-1 ve ASTM C 618 standart değerlerinin altında kaldığı, diğer bütün numunelerin standart değerleri sağladığı görülmüştür. 28 günlük kür süresi boyunca en yüksek indeks değeri %80,8 ile 45 dk öğütme yapılan numuneden elde edilmiştir. En düşük değer ise orijinal kül ile yapılan numuneden %69,8 oranında elde edilmiştir. 90 günlük kür süresi sonunda numunelerin aktivite indeks değerlerine bakıldığında orijinal külle oluşturulan numunenin öğütülmüş küllerle yapılandan biraz daha düşük çıktığı görülmüştür. Yine standartlarda 90 günlük kür süresi sonunda numunelerin indeks değerlerinin %85'i sağlaması gerektiği belirtilmektedir. Yapılan deneyler sonucunda tüm numunelerin 90 günlük süre sonunda standart değerleri sağladığı görülmektedir.

Şekil 7'deki grafikte numunelerin özgül yüzey alanı değerleri ile aktivite indeksi sonuçları arasındaki ilişki gösterilmektedir. Özgül yüzey alanının artmasıyla aktivite indeksi değerinin arttığı, ancak özgül yüzeyin çok fazla arttırılması durumunda (2824 cm^2/gr) aktivite indeksi değerinin düşmeye başladığı tespit edilmiştir. Bu durum 60 dk

öğütülmüş numunede belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada kullanılan uçucu külün 28 günlük aktivite indeks değerinin standartları sağlayabilmesi için özgül yüzey alanı değerinin yaklaşık olarak 2400 cm^2/gr'dan yüksek olması gerektiği belirlenmiştir. Ancak yüzey alanı değerinin 2800 cm^2/gr'dan daha yüksek olması durumunda da aktivite indeks değerinin eğiliminin düşmeye doğru olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7. Özgül yüzey alanı puzolanik aktivite indeksi değişimi grafiği

Uçucu küllerin puzolanik özelliklerinin sadece öğütme ile çok fazla değişmediği bunun yanında farklı parametrelerinde etkisinin olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Aydın vd., (2010) çalışmalarında harçların dayanım aktivite indeksi değerinin azalması ve su miktarını artması uçucu küllerin aşırı öğütülmesi ile düzensiz parçacıkların oluşması ve yüzey alanının artmasından ileri geldiği sonucuna varmıştır. Das (2006) yaptığı çalışmada ise öğütme ile inceliğe bağlı olarak puzolanik özellikleri çok fazla değişmediği bunun yanında farklı parametrelerinde puzolanik özellikler üzerinde etkisinin olabileceğini göz önünde bulundurmuştur. Bu parametreleri yüksek kalsiyum içeriği, camsı faz miktarı, inceliği, kızdırma kaybı (LOI) ve puzolanik aktivite indeksi olarak belirtmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekildedir;

- Çalışmada kullanılan uçucu kül üzerine yapılan kimyasal analizi sonucuna göre, kimyasal bileşimi bakımından F sınıfı uçucu kül grubunda olduğu,

- Kullanılan uçucu külün orjinal ve öğütülmüş olarak tane boyu analizi standartlarında belirtilen 45 mm elek üstü miktarının %40'tan az olmaması gerektiğini sağladıkları,
- Yapılan özgül yüzey alan (Blaine) testi sonuçlarına göre öğütme süresi arttıkça malzemenin yüzey alanı değerinin arttığı,
- Yapılan SEM analiz sonucu tanelerin yüzeylerinin küresel şekilde olduğu, ancak öğütmenin etkisiyle de bazı tanelerin küresel olarak formunu koruduğu bazılarının ise küresellikten uzaklaşarak köşeli şekle sahip olduğu,
- Uçucu külün 28 günlük puzolanik aktivite indeksi değerinin öğütmeyle beraber arttığı, 60 dk öğütme süresinde bu değerin düştüğü, orjinal ve 10 dk öğütülmüş numunelerin aktivite indeks değerlerinin standartları karşılamadığı,
- Uçucu kül gibi atık malzemelerin bir takım fiziksel değişim süreçlerinden geçirilerek inşaat edüstrisinde çimentoya alternatif veya çimento yapımında doğrudan kullanılabileceği,
- Bunun sonucunda atık malzemelerin kullanımının arttırılacağı ve madenciliğin çevreye daha az zarar verebileceği
- Uçucu küllerin fiziksel özelliklerinin yanı sıra diğer özelliklerinin (kimyasal bileşen, kalsiyum içerisiği, kızdırma kaybı, SO_3 miktarı vb. gibi) de aktivite indeksi üzerine olan etkilerinin incelenmesi gerektiği,

sonuçlarına varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje (BAP) ofisi tarafından 13.F5118.02.1 kodlu proje ile desteklenmiştir. Yazarlar bu destekten ötürü GÜBAP birimine teşekkürü bir borç bilir.

KAYNAKLAR

Ahmaruzzaman, M. A., 2010. Review On The Utilization Of Fly Ash, Progress In Energy And Combustion Science, 36(3), 327-363.

ASTM C 618, 1993. Standard specifi cation for fly ash for use as a mineral ad- mixture in portland cement concrete. American Society for Testing Materials, Annual Book of ASTM Standard, pp.310-312.

ASTM C 618-12, 1994. Standart specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use ın concrete, Annual Book Of ASTM Standarts, Pennsylvania, USA.

Aydın, S., Karatay, Ç. ve Baradan. B., 2010. The Effect of grinding process on mechanical properties and alkali-silica reaction resistance of fly ash ıncorporated cement mortars, Powder Technology, 197(1-2), 68-72.

Chindaprasirt, P., Chai, J., and Sinsire, T., 2005. Effect of fly ash fineness on compressive strength and pore size of blended cement paste, Cement and Concrete Resource, 27(4), 425-428.

Das, S.K., 2006. A Simplified Model For Prediction Of Puzolanik Characteristics Of Fly Ash, Based On Chimical Composition. 36(10), 1827-1832.

Demir, İ., 2009. Aynı oranda ikame edilen silis dumanı ve uçucu külün betonun mekanik özellikleri üzerine etkisi, International Journal of Engineering Research and Devolopment, 1(2), pp. 1-7.

Felekoğlu, B., Türkel, S. ve Kalyoncu, H., 2009. Optimization of fininess to maximize the strength activity of high-calcium ground fly ash –portland cement composites, Construction and Building Materials, 23 (5), 2053-2061.

Görhan, G., Kahraman, E., Başpınar, M.S., ve Demir, İ., 2008. Uçucu Kül Bölüm 1: Oluşumu, Sınıflandırılması ve Kullanım Alanları, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt No: 1305-631, s: 85-94.

Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, Ü., ve Mordoğan, H., 2005. Uçucu küllerin özellikleri ve kullanım alanları, Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, İzmir, pp.419-423.

Karayiğit, A.I, Gayer, R.A, Querol, X. ve Onacak, T., 2000. Contents of major and trace elements in feed coals from turkish coal-fired power plants, Applied Geochemistry, 44 (2), 169-184.

Kutchko, B.G. ve Kim, A.G., 2006. Fly ash characterization by sem-eds, Fuel, 85 (17-18), 2537-2544.

TS EN 450-1, 2008. Kül –Betonda Kullanılan-Bölüm 1, Tarif, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, 24 s.

Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F. Ve Yeğinobalı, A., 2009. Türkiye'deki uçucu küllerin sınıflandırılması ve özellikleri, Türkiye Çimento Müstahsiller Birliği TÇMB/AR-GE/Y.03.03, pp.114.

Yeğinobalı, A. ve Ertün, T., 2009. Çimento standartları ve mineral katkılar, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, TÇMB/AR-GE/Y.04.01., pp.50.

AÇIK OCAK PATLATMALARINDA TOZ DAĞILIMININ GAUSS MODELİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF DUST ISSUES IN OPEN-PIT MINE BLASTS WITH A GAUSSIAN MODEL

Zekeriya DURAN[1]*, Bülent ERDEM[2], Tuğba DOĞAN[2]

1: Cumhuriyet Üniversitesi Sivas Meslek Yüksekokulu, Sivas, TÜRKİYE

2: Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: zduran@cumhuriyet.edu.tr

ÖZET: Bu çalışma kapsamında; açık ocak madenciliğinde basamak patlatması sırasında açığa çıkan tozun etkileri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayımladığı yönetmeliklerdeki sınır değerler dikkate alınarak Gauss modellemesi ile değerlendirilmiştir. Yıllık üretim, aylık ve günlük çalışma süreleri ve basamak patlatma parametreleri geliştirilen algoritmaya veri olarak girilmektedir. Yönetmelikte çevresel sorunlara neden olmayacağı öngörülen toz etkisi, alt izin limitlerine dayanılarak hesaplanmaktadır. Algoritma, Sivas ilindeki bir ocakta yapılan patlatmalarda kullanılan tasarım parametrelerinin değerleri ile test edilmiştir. Algoritma, patlatma tasarım parametrelerini, yönetmelikte öngörülen sınırlara uyumlaştırabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Patlatma kaynaklı toz, Emisyon faktörü, Gauss modeli, PM_{10}.

ABSTRACT: *In this study; blasting-induced effects from open-pit mining were analyzed using an in-house computer program by taking into account the limits of the regulations issued by the Ministry of Environment and Urbanization of Turkey. Yearly production rate, monthly and daily working hours and bench blasting parameters are entered into the developed algorithm as inputs. Dust emission that is predicted not to cause environmental impact is calculated based on the lower acceptable limit in the regulation. The algorithm has been tested with the design parameters used for blasting in an operating mine in the province of Sivas. With the use of the algorithm, blast design can be made compatible to the limits described in the relevant regulations.*

Keywords: *Blast induced dust, Emission factor, Gaussian model, PM_{10}.*

1. GİRİŞ

Madencilikte; delme, patlatma, kazı, yükleme, taşıma ve stoklama faaliyetleri sırasında hava koşullarına bağlı olarak atmosfere bir miktar toz yayılmaktadır. Günümüzde patlatmalı kazı işlemleri maden hammaddelerini elde etmenin en kolay ve en hızlı yöntemlerinden biri olduğu için, patlatma kaynaklı çevresel etkilerden biri olan tozun miktarı ve yayılımı da artan bir şekilde önem kazanmaktadır. Ancak patlatma sırasında açığa çıkan tozun miktarını ve yayılımını belirlemek oldukça zordur. Bunun için maden işletmesi çalışmaya başlamadan önce daha önce çalışma yapılan benzer maden işletmelerindeki ve/veya ülkeler bazında ilgili yönetmeliklerde belirtilen toz emisyon faktörleri kullanılarak toz modellemesi yapılabilir. Tozun yayılımı için ise SCREEN3, ISCT3, ISC-PRIME ve AERMOD gibi bilgisayar programları veya matematiksel modellerden faydalanılabilir.

2. PATLATMA KAYNAKLI TOZ MODELLEMELERİ

Madencilik faaliyetleri sonucu açığa çıkan toz emisyonunun çıkış yüksekliği tozun kaynağına göre farklılık gösterebilmektedir. Patlatma kaynaklı tozun çıkış yüksekliği, diğer faaliyetlerden çıkan toz emisyonunun yüksekliğinden daha fazla olabilmektedir. Attalla vd., (2008) tarafından Avustralya'da New South Wales bölgesindeki bir kömür madeninde yapılan patlatma sırasında alınan kayıttan yararlanılarak tozun atmosferde çıkış yüksekliği 150 m olarak ölçmüşlerdir. Diğer taraftan patlatma sırasında açığa çıkan tozun yüksekliği aynı işletme koşullarında bile değişkenlik gösterebilir. Bu da toz yayılımı modellemesindeki hesaplamalarında yanılgılara sebep olabilmektedir. Bunun için toz yalımım modellemesi için patlatma sonrası açığa çıkan tozun çıkış yüksekliğinin ağırlık merkezini temsil edecek şekilde ortalama bir yükseklik alınmalıdır. Ayrıca patlatma sırasında açığa çıkan tozun atmosferdeki yayılmasında; patlatma anındaki rüzgâr hızı ve yönü, sıcaklık, güneş ışığı oranı, bulutluluk ve yağış gibi bölgenin meteorolojik özellikleri ile arazi yapısı da etkili olabilmektedir.

Patlatma diğer madencilik faaliyetleri durduğu zaman gerçekleştiği için açığa çıkan toz ve yayılımı diğer faaliyetlerden bağımsız olarak hesaplanmalıdır. Toz dağılım hesaplamalarında kullanılan program tabanlı bilgisayar modelleri, aslında matematiksel modellerin bilgisayar yazılımlarıdır. Günümüzde dispersiyon modeli kullanılarak yapılan hava kalitesi modelleme çalışmalarında EPA tarafından kabul görmüş modeller

tercih edilmektedir. EPA, yarıçapı 50 km'den az olan bir bölgenin modellemesinde kararlı hal Gauss dispersiyon modellerini önermektedir. Bunlar SCREEN3, ISCT3, ISC-PRIME ve AERMOD dispersiyon modelleridir (US-EPA, 1995). Ancak yukarıdaki modellerin uygulama zorluklarının olması, pahalı olması ve istatistiki verilere çok ihtiyaç duyulmasından dolayı daha çok matematiksel modeller tercih edilmektedir.

Uygulamada matematiksel modellerden en çok kullanılanı gauss modelidir (Demirci, 1998; Güllü, 2001; Değerli ve Ünver, 2002; Cora and Hung, 2003; Reed, 2005). Bu toz dağılımı modeli, nokta kaynaklı emisyon (toz üreten kaynaklar) için uygun bir matematiksel model olmakla birlikte, nokta olmayan kaynak için de kullanılabilir. Bu model, ayrıca hava kirletici emisyonlar ve meteorolojik değişikliklerle ilgili kararlı durumun var olduğunu varsaymaktadır (Vardoulakis vd., 2003). Bu modelde toz emisyonu sabit ve eşit, rüzgâr yönü ve hızı da sabit olarak kabul edilmektedir. Ayrıca Gauss modelleri, anlık meteoroloji veriler basit olduğu zaman, düz arazilerde çok iyi çalışmaktadır. Gauss modellemesinin dezavantajlarından biri, düşük rüzgar hızlarında emisyon kaynağının 100 m daha yakınlarında modellemenin yapılamayışıdır (Demirarslan vd., 2008).

Bu model, zaman zaman meteorolojik veriler karmaşık hal aldığında, dağlık alanlarda, uzun mesafeler için iyi çalışamamaktadır. Çünkü modelde arazi yapısındaki düzensizliklerin toz yayılımı üzerindeki etkileri göz ardı edilmiştir. Ayrıca kirleticilerin gauss dağılım eşitliği ile dağıldığı varsayılmakta ve dağılımın normal olduğu kabul edilmektedir. Dolayısıyla bu modelleme genelde dağılımın devamlı olduğu durumlar ile kaynaktan yer seviyesine veya daha üst seviyelerdeki kirletici konsantrasyonların tahmininde kullanılmaktadır.

Yukarıda sayılan olumsuzluklara rağmen ülkemizdeki toz yayılımı modellemelerinde en çok Gauss modeli tercih edilmektedir. Ülkemizde endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan toz emisyonunun değerlendirilmesi, 20 Aralık 2014 tarih ve 29211 sayılı Resmi Gazete' de yayımlanan yönetmelik ile değiştirilen 3 Temmuz 2009 tarih ve 27277 sayılı Resmi Gazete' de yayımlanan Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (SKHKKY) esas alınarak yapılmaktadır.

Bu Yönetmelik bacadan ve baca dışı yerlerden olmak üzere tüm emisyon kaynaklarını kapsamaktadır. Baca dışı yerlerden kaynaklanan emisyon kategorisi altındaki madencilik faaliyetlerinden oluşan toz emisyonu için normal işletme

şartlarında ve haftalık iş günlerindeki işletme saatleri için işletmenin tamamından yayılan kütlesel emisyon debisi Yönetmelik Ek-2 Tablo 2.1'de verilmiştir. İlgili Yönetmelikte "Saatlik kütlesel debinin 1 kg'ı aşması halinde, tesis etki alanında emisyonların Hava Kirlenmesi Katkı Değeri (HKKD) mümkünse saatlik, aksi takdirde, günlük, aylık ve yıllık olarak hesaplanır" maddesi bulunmaktadır. Bu yönetmelikte patlatma sonrası oluşan toz miktarının kütlesel debisinin saatlik tabanda hesaplanmasına yönelik herhangi bir ifade bulunmamaktadır. Bilindiği gibi patlatma işlemi çok kısa bir zaman diliminde (< 5 s) gerçekleştirilmekle birlikte kayda değer oranda toz emisyonu oluşmaktadır. Ancak ilgili yönetmelikte birkaç saniyede meydana gelen bir toz emisyonunun saatlik eşdeğerini hesaplamaya yönelik bir kılavuz bulunmamaktadır.

İlgili yönetmeliğe göre; patlatma sonrası açığa çıkan toz miktarının kestirimi için Ek – 1'deki 'Toz Emisyonu Kütlesel Debi Hesaplamalarında Kullanılacak Emisyon Faktörleri – taş çıkarma, kırma ve sınıflandırma tesisler' başlığı altında kontrolsüz patlatmalar için toz emisyon faktörü 0,080 kg/ton ibaresi bulunmaktadır. Ayrıca ilgili yönetmelik patlatma işlemini kontrol edebilen bir faaliyet olarak görmemektedir. Dolayısıyla patlatma işlemi kontrolsüz bir faaliyet olarak değerlendirilmeli ve patlatma sonrası ortaya çıkan toza ait kütlesel debi hesaplamasında kontrolsüz emisyon faktörleri kullanılmalıdır. İlgili yönetmeliğe göre patlatma sırasında açığa çıkan toz için, PM_{10} değerinin hesabı için herhangi bir bölüntü verilmemektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı web sayfalarında sunulan yerüstü madenciliği projelerine ilişkin çevresel etki değerlendirme çalışmaları incelendiğinde üretim faaliyetlerinden ve patlatmadan kaynaklanan toz emisyon debisi ayrı ayrı değerlendirilmekte ve her iki kaynak türü için çöken tozda %80, PM_{10} değerinde %20 bölüntü değeri kabul edilmektedir. Diğer taraftan USEPA, 1998 tarafından PM_{10} miktarı, toplam toz miktarının 0,52 ile çarpılmasından elde edildiğini varsaymaktadır.

3. BİLGİSAYAR MODELİ ve ÖRNEK UYGULAMA

3.1 Giriş

Patlatma kaynaklı çevresel faktörlerin etkisi için geliştirilen model, Sivas il sınırları içerisindeki bir maden işletmesinde denenmiştir. Maden işletmesi için ana girdi parametreleri, çalışma ve patlatma parametreleri olarak iki ana grup altında toplanmış ve Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. İşletme girdi parametreleri

Maden işletmesi çalışma parametreleri	
Yıllık üretim miktarı (m³)	550 000
Çalışılan ay sayısı (ay/yıl)	10
Ayda çalışılan gün sayısı (gün)	25
Kayaç yoğunluğu (g/cm³)	2,7
Patlatma yerine en yakın yapının mesafesi (m)	900
Patlatma parametreleri	
Ateşleme sistemi	Nonel sistem
Delik çapı (mm)	89
Delik eğimi (°)	78
Basamak yüksekliği (m)	10,0
Dip delgi (m)	1,0
Delik boyu (m)	11,0
Delikler arası mesafe (m)	3,6
Yük mesafesi (m)	3,0
Sıkılama boyu (m)	3,0
Yıllık çalışma süreleri (gün/yıl)	250
Yıllık üretim miktarı (ton/yıl)	1485 000
Aylık üretim miktarı (ton/ay)	148 500
Aylık üretim miktarı (m³/ay)	55 000
Günlük üretim miktarı (ton/gün)	5 940
Günlük üretim miktarı (m³/gün)	2200
Bir delikteki teorik hacim (m³)	108
Bir delikteki teorik hacim (ton)	291,60
Yıllık toplam delik sayısı (adet)	5093

3.2 Toz Modelleme

Bu modellemede toz yayılımı için, 02.11.1986 tarih 19269 sayılı Resmi Gazete' de yayımlanan Hava Kirliliği Yönetmeliği'nde havada asılı kalan ve çöken toz hesabı için verilen eşitliklerden, katsayılar ve kabullerden (Eşitlik 1, 2 ve 3) yararlanılmıştır.

$$C(x,y,z)=\frac{10^6}{86400\cdot 2\pi}\frac{Q}{U_h\cdot\sigma_y\cdot\sigma_z}\exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right]\left[\exp\left(\frac{-(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right)+\exp\left(\frac{-(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right)\right] \quad [1]$$

$$C(x,y,z)=\frac{10^6}{86400\cdot 2\pi}\frac{Q_i}{U_h\cdot\sigma_y\cdot\sigma_z}\exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right]\cdot \left[\exp\left(\frac{-(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right)+\exp\left(\frac{-(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right)\right]\cdot\exp\left[-\sqrt{\frac{2V_{di}}{\pi U_h}\int_0^x\left(\frac{1}{\sigma_{z(\xi)}}\cdot\exp\left(\frac{-h^2}{2\sigma_z^2(\xi)}\right)\right)d\xi}\right] \quad [2]$$

$$d(x,y)=86400\cdot\sum_{i=1}^{4}V_{di}\cdot C_{i(x,y,0)} \quad [3]$$

Patlatma sırasında açığa çıkan toz miktarının hesabında ise; ilgili yönetmelikte olan (0,080 kg/ton) ile karşılaştırma yapmak üzere EPA'nın belirlediği patlatma toz emisyon faktörleri kullanılmıştır (USEPA, 1998). Ayrıca modelde toz emisyonu için kullanılan sınır değerlerini karşılaştırmak için, (20.12.2014 tarih ve 29211 sayılı Resmi

Gazete'de yayımlanan 'Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrol Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik'in (Değişik başlık: RG-20.12.2014-29211) 'Ek-1 İşletmeler İçin Hava Emisyonu Esas ve Sınır Değerleri') kullanılmıştır (Çizelge 2). Toz etki değerlendirmesi yapmak için Eşitlikler 1, 2 ve 3 bir teknik hesaplama yazılımı aracılığıyla modellenmiştir.

Çizelge 2. Tesis etki alanında uzun ve kısa vadeli sınır değerler ve azaltım tablosu

Parametre	Süre	Sınır değer [µg/m³] Çöken toz [mg/m²-gün]	YIL						
			2014	2015	2016	2017	2018	2019-2023	2024 ve sonrası
Havada asılı parçacık madde (PM 10)	KVS	100*	100	90	80	70	60	50	50
	UVS	60*	60	56	52	48	44	40	40
Çöken toz	KVS	390*	390	390	390	390	390	390	390
	UVS	210*	210	210	210	210	210	210	210

*Sınır değer 2024 yılı hedeflerine ulaşılana kadar yıllık eşit olarak azaltılacaktır.

Modelleme için aşağıdaki kabuller de kullanılmıştır.

a) Her iki modelde patlatma sonrası açığa çıkan tozun %48'i 10 mikrondan büyük parçacıklar meydana getireceği ve çökeceği, geriye kalan %52'lik kısmın havada asılı kalacağı ve rüzgârın etkisiyle seyrelerek dağılacağı kabul edilmiştir.
b) Patlatma yapılan sahadaki rüzgâr hızlarını temsil etmek üzere en yakındaki istasyonlardaki yıllar bazında rüzgâr verileri Sivas Meteoroloji İl Müdürlüğünden alınmıştır.
c) Patlatma sonrası açığa çıkan toz miktarı (kg/patlatma) günlük açığa çıkan toz miktarı olarak kabul edilmiştir.
d) Patlatma kaynaklı toz zeminden itibaren dağılmaya başladığı ve tozun zeminden itibaren ağırlık merkezi (h); 10 m, 20 m ve 50 m olarak kabul edilmiştir.
e) Havada asılı toz yayılımı için tepe noktasının zeminden ortalama yüksekliği z = 2 m olarak kabul edilmiştir.
f) Çöken toz yayılımı hesabı için tepe noktasının zeminden ortalama yüksekliği z = 0 m olarak kabul edilmiştir.

Modelde; işletmenin mevcut girdi ve patlatma parametreleri (Çizelge 1) değiştirilmeden patlatma sırasında bir atımdaki delik sayısına bağlı olarak açığa çıkan toz miktarına (kg) göre, havada asılı kalan ve çöken toz yayılımını hesaplamak için Eşitlikler 1, 2 ve 3 kullanılmış ve Çizelge 2'de verilen sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Buna göre delik sayısı birer birer arttırılarak her defasında havada

asılı kalan ve çöken toz dağılımı, 900 m mesafedeki yapı temel alınarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak bir atımdaki delik sayısının 120 olduğu durumda havada asılı kalan toz parçacık dağılımı Çizelge 2'de verilen sınır değerlere yaklaştığı için model sonuçlandırılmıştır. Bu durumda bir atımdaki delik sayısına göre, aylık ve yıllık patlatma sayıları, atım başına üretilen malzeme miktarı ile toz miktarları Çizelge 3'te ve bir atımdaki patlatma verilerine göre mesafeye bağlı olarak havada asılı kalan ve çöken toz dağılımları sırasıyla Çizelge 4 ve 5'de verilmiştir.

Patlatma sırasında açığa çıkan toz miktarı, aşağıdaki eşitliğe göre de hesaplanabilmektedir (USEPA, 1998). Burada patlama sırasında açığa çıkan toz miktarı; patlatma alanı, patlatılacak malzemenin nem içeriği (%) ve delik uzunluğu ile ilişkilendirilmiştir (Eşitlik 4).

$$EF = 344 \cdot A^{0,8} \cdot M^{-1,9} \cdot D^{-1,8} \quad [4]$$

Burada; EF: emisyon faktörü (kg/ton), A: patlatma alanı (m²), M: Nem içeriği (%) ve D: Patlatma deliği boyu (m).

Çevre Bakanlığının ilgili yönetmelik ve eklerine göre belirlenen maksimum delik sayısı ve patlatma paterni değiştirilmeden USEPA (1998) yaklaşımı ile tekrar toz modellemesi yapılmıştır. Buna göre bir atımdaki patlatma verileri ile havada asılı kalan toz ve çöken toz miktarları Çizelge 6'da verilmiştir.

Modele göre patlatma sonrası açığa çıkan toz miktarına göre havada asılı kalan ve çöken toz parçacık dağılımı sırasıyla Çizelgeler 7 ile 8'de verilmiştir. Ayrıca granit gibi sert kayaçların patlatmalarında toz emisyon oranının 0,16 lb/ton olduğu (Pedco, 1976), kömür madeni patlatmasında 49,8 lb/patlatma ve diğer madenlerin patlatmalarında toz emisyon oranının 0,001 – 0,16 lb/ton (OEP, 1983) olduğu belirtilmiştir. USEPA (1991) ile Richards ve Brozell (2001) patlatmalardaki toz emisyon değerinin belirlenmesi için aşağıdaki denklemi önermiştir (Eşitlik 5).

Çizelge 3. Bir atımdaki delik sayısının 120 olduğu durumdaki çıktı parametreleri

Bir atımdaki delik sayısı (adet)	120	Yüzey gecikme kapsülü sayısı (adet)	120
Yıllık patlatma sayısı (adet)	42	Elektrikli kapsül sayısı (adet)	1
Aylık patlatma sayısı (adet)	4,24	Özgül şarj (kg/m³)	0,38
Patlatma sayısı (gün/ay)	5,89	Gecikme başına düşen p. miktarı (kg)	42
Atımdaki malzeme miktarı (ton)	34 992	Atımda açığa toz miktarı (kg)	2799,36
Atımdaki ANFO miktarı (kg)	4886,4	Çöken toz miktarı (kg)	1343,70
Delik içi elektriksiz kapsül sayısı (adet)	120	Havada asılı kalan toz miktarı (kg)	1455,66

Çizelge 4. Yönetmeliğe göre havada asılı kalan parçacık dağılımı (μg/m³)

Mesafe	100 m			300 m			500 m			700 m			900 m		
Yön	10 m	20 m	50 m	10 m	20 m	50 m	10 m	20 m	50 m	10 m	20 m	50 m	10 m	20 m	50 m
K	2802.8	1993.3	183.4	372.9	361.8	293.1	140.0	138.7	129.6	73.3	72.9	70.6	45.1	45.0	44.2
KKD	3097.6	2203.1	202.7	412.0	399.8	323.8	154.7	153.2	143.2	80.9	80.6	78.0	49.9	49.7	48.8
KD	3923.2	2790.2	256.8	521.3	505.8	409.7	195.8	193.9	181.1	102.4	101.9	98.7	63.1	62.9	61.8
DKD	2942.8	2093.0	192.6	391.5	379.9	307.6	147.0	145.6	136.0	76.9	76.6	74.1	47.4	47.3	46.4
D	1731.4	1231.4	113.3	230.7	223.8	181.3	86.6	85.8	80.2	45.3	45.1	43.7	27.9	27.8	27.3
DGD	1635.2	1163.0	107.0	217.9	211.4	171.2	81.8	81.0	75.7	42.8	42.6	41.3	26.4	26.3	25.8
GD	1783.8	1268.7	116.8	237.6	230.6	186.7	89.2	88.4	82.6	46.7	46.5	45.0	28.8	28.7	28.2
GGD	2102.3	1495.2	137.6	279.9	271.6	220.0	105.1	104.1	97.3	55.0	54.7	53.0	33.9	33.8	33.2
G	2802.8	1993.3	183.4	372.9	361.8	293.1	140.0	138.7	129.6	73.3	72.9	70.6	45.1	45.0	44.2
GGB	2675.4	1902.8	175.1	356.0	345.4	279.8	133.7	132.4	123.7	69.9	69.6	67.4	43.1	43.0	42.2
GB	2452.5	1744.3	160.5	326.4	316.8	256.5	122.6	121.4	113.4	64.1	63.8	61.8	39.5	39.4	38.7
BGB	2452.5	1744.3	160.5	326.4	316.8	256.5	122.6	121.4	113.4	64.1	63.8	61.8	39.5	39.4	38.7
B	2802.8	1993.3	183.4	372.9	361.8	293.1	140.0	138.7	129.6	73.3	72.9	70.6	45.1	45.0	44.2
BKB	2354.5	1674.5	154.1	313.4	304.1	246.3	117.7	116.6	108.9	61.6	61.3	59.4	37.9	37.8	37.1
KB	2675.4	1902.8	175.1	356.0	345.4	279.8	133.7	132.4	123.7	69.9	69.6	67.4	43.1	43.0	42.2
KKB	3097.6	2203.1	202.7	412.0	399.8	323.8	154.7	153.2	143.2	80.9	80.6	78.0	49.9	49.7	48.8

Çizelge 5. Yönetmeliğe göre çöken parçacık dağılımı (µg/m³)

Mesafe	100 m			300 m			500 m			700 m			900 m		
Yön	10 m	20 m	50 m	10 m	20 m	50 m	10 m	20 m	50 m	10 m	20 m	50 m	10 m	20 m	50 m
K	11197.3	7938.6	714.7	1353.46	1313.27	1063.45	508.2	503.3	470.2	265.8	264.6	256.2	138.92	138.61	136.51
KKD	12373.3	8772.3	789.8	1488.40	1444.21	1169.48	558.8	553.4	517.0	292.3	291.0	281.7	152.77	152.43	150.12
KD	15663.2	11104.73	999.8	1861.03	1805.77	1462.26	698.8	692.0	646.5	365.5	363.8	352.3	191.01	190.60	187.70
DKD	11756.0	8334.7	750.4	1417.69	1375.59	1113.92	532.3	527.1	492.5	278.4	277.2	268.4	145.51	145.19	142.99
D	6921.5	4907.2	441.8	853.74	828.39	670.81	320.6	317.5	296.6	167.7	166.9	161.6	87.63	87.43	86.11
DGD	6537.5	4634.9	417.3	808.06	784.07	634.92	303.4	300.5	280.7	158.7	158.0	153.0	82.94	82.76	81.50
GD	7131.0	5055.7	455.2	878.59	852.50	690.33	329.9	326.7	305.2	172.6	171.8	166.3	90.18	89.98	88.61
GGD	8402.4	5957.1	536.3	1028.55	998.01	808.16	386.2	382.5	357.3	202.0	201.1	194.7	105.57	105.34	103.74
G	11197.3	7938.6	714.7	1353.46	1313.27	1063.45	508.2	503.3	470.2	265.8	264.6	256.2	138.92	138.61	136.51
GGB	10689.4	7578.5	682.3	1294.86	1256.41	1017.41	486.2	481.5	449.8	254.3	253.1	245.1	132.90	132.61	130.60
GB	9800.2	6948.1	625.6	1191.82	1156.43	936.45	447.5	443.2	414.0	234.1	233.0	225.6	122.33	122.06	120.20
BGB	9800.2	6948.1	625.6	1191.82	1156.43	936.45	447.5	443.2	414.0	234.1	233.0	225.6	122.33	122.06	120.20
B	11197.3	7938.6	714.7	1353.46	1313.27	1063.45	508.2	503.3	470.2	265.8	264.6	256.2	138.92	138.61	136.51
BKB	9408.9	6670.6	600.6	1146.27	1112.24	900.66	430.4	426.2	398.2	225.1	224.1	217.0	117.65	117.39	115.61
KB	10689.4	7578.5	682.3	1294.86	1256.41	1017.41	486.2	481.5	449.8	254.3	253.1	245.1	132.90	132.61	130.60
KKB	12373.3	8772.3	789.8	1488.40	1444.21	1169.48	558.8	553.4	517.0	292.3	291.0	281.7	152.77	152.43	150.12

Çizelge 6. USEPA'ya (1998) göre toz dağılımı

Bir atımdaki delik sayısı (adet)	120
Delikler arası mesafe (m)	3,6
Dilim kalınlığı (m)	3,0
Basamak yüksekliği (m)	10
Delik boyu (m)	11
Patlatılacak malzemenin nem içeriği (%)	2,1
Atımda açığa toz miktarı (kg)	346,67
Çöken toz miktarı (kg)	166,40
Havada asılı kalan toz miktarı (kg)	180,27

$$E = 0{,}00022 \cdot A^{1,5} \quad [5]$$

Burada; E: Toplam askıda partikül emisyon faktörü (kg/patlatma), PM_{10}: 0,52·E

Buna göre, bu modellemede patlatma alanı 1296 m² olduğu için E = 10,26 ve PM_{10} = 5,33 kg/patlatma olarak bulunmuştur. Bu yaklaşıma göre ülkemizdeki ilgili yönetmeliğe patlatma sonrası açığa çıkan toz miktarı çok az olduğu için modelleme yapılmasına gereksinim duyulmamaktadır.

Patlatma sırasında açığa çıkan toz miktarının belirlenmesi için farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu yaklaşımlardaki farklılıkların temel nedeni, patlatma sırasında açığa çıkan toz miktarının, patlatılan malzemenin yapısına bağlı olarak değişkenlik göstermesidir. Dolayısıyla patlatma sırasında açığa çıkan toz miktarlarını kesin olarak hesaplamak için ocak bazında çalışma yapılması gerekmektedir. Maden işletmeleri faaliyete geçmeden önce maden ile ilgili proje tanıtım dosyası (PTD) raporu hazırlamak zorunda olduğundan, patlatma kaynaklı emisyon hesapları için yukarıda belirtilen kabullerden yararlanılabilir.

4. TARTIŞMA

Ülkemiz mevzuatına ve USEPA'ya göre havada asılı ve çöken toz parçacıkların yönlere göre yayılım grafikleri aşağıda verilmiştir. Aşağıdaki Çizelgelerde patlatma sonrası yıllar bazında rüzgar hızının en az olduğu kuzeydoğu ve en çok olduğu güneydoğu yönündeki havada asılı (Şekil 1a,b) ve çöken (Şekil 2a,b) toz dağılım grafikleri görülmektedir. Yapılan modellemeye göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

a) Her iki modelde de patlatma sonrası açığa çıkan tozun çıkış yüksekliği mesafeye bağlı olarak havada asılı kalan ve çöken toz miktarını değişmektedir. Buna göre tozun çıkış yüksekliği arttıkça patlatma bölgesinde havada asılı kalan ve çöken toz

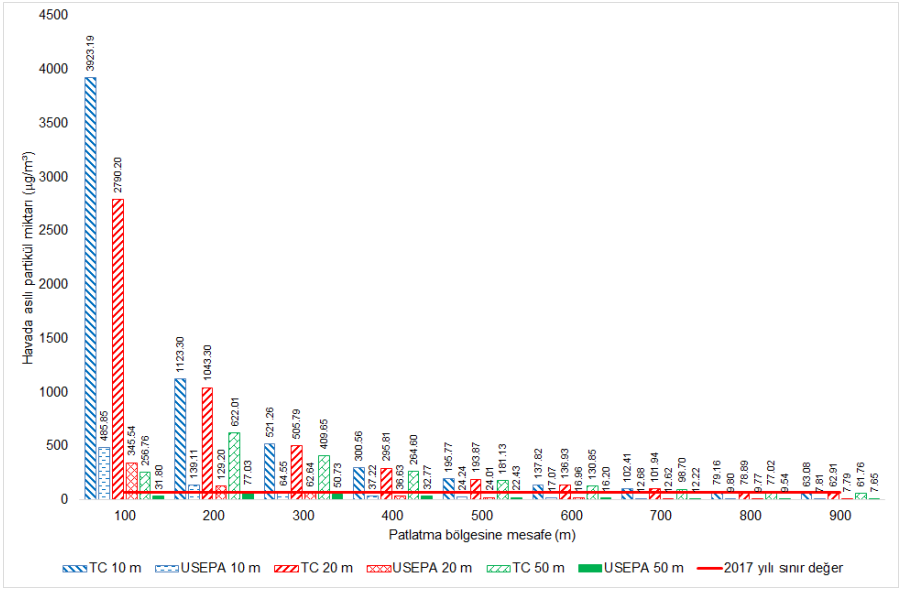
miktarları azalmakta ve tozların dağılımı rüzgârın etkisiyle patlatma bölgesinin dışına taşınmaktadır.

b) Ülkemizdeki ilgili yönetmeliğe göre patlatma sonrası açığa çıkan tozun çıkış yüksekliğine göre havada asılı ve çöken toz miktarları patlatma bölgesi civarında (<400 m) değişirken patlatma bölgesi dışında (>400 m) çok fazla değişmemektedir. USEPA'ya göre bu mesafe 250 m civarındadır.

c) Çevre ve Şehircilik Bakanlığının ilgili yönetmelikteki sınır değerine göre havada asılı toz yayılımı için yönlere bağlı olarak rüzgâr hızının en düşük olduğu yöndeki etkin mesafesi 800m, rüzgar hızının en yüksek olduğu yöndeki etkin mesafesi 600m civarlarında iken, USEPA'ya göre bu mesafe 300 m ve 200 m civarındadır. Dolayısıyla toz modellemesinde rüzgar hızı önemli parametrelerden birisidir.

d) Çevre ve Şehircilik Bakanlığının ilgili yönetmeliklerine göre çöken toz yayılımı için yönlere bağlı olarak etkin mesafe 700 civarında iken, USEPA'ya bu mesafe 300 m civarındadır.

e) Çevre ve Şehircilik Bakanlığının ilgili yönetmeliklerine patlatma sonrası yönlere bağlı havada asılı toz ve çöken toz yayılımında yaklaşık 8 kat fark bulunmaktadır.



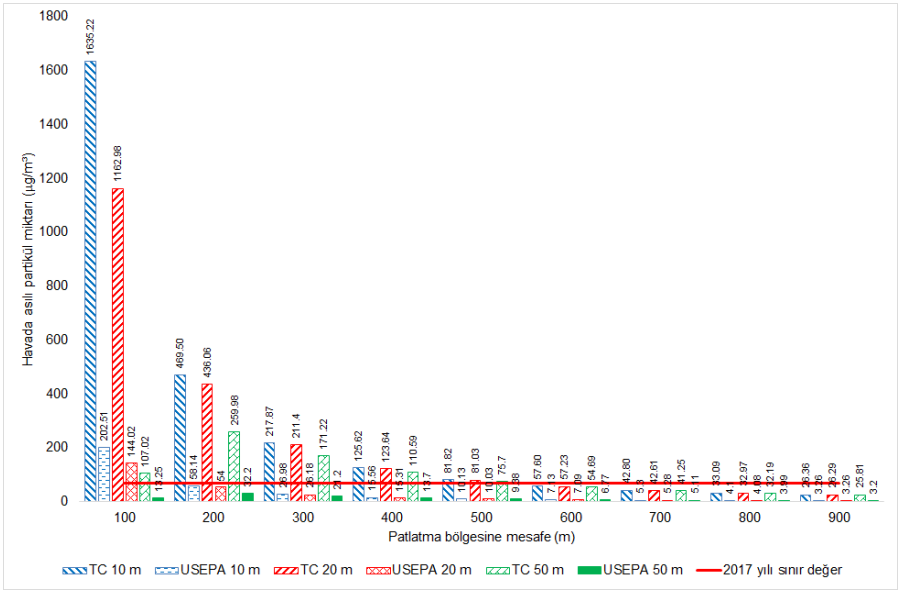
Şekil 1a. Kuzeydoğu yönünde havada asılı toz yayılım grafiği

Çizelge 7. USEPA'ya (1998) göre havada asılı kalan parçacık dağılımı (µg/m³)

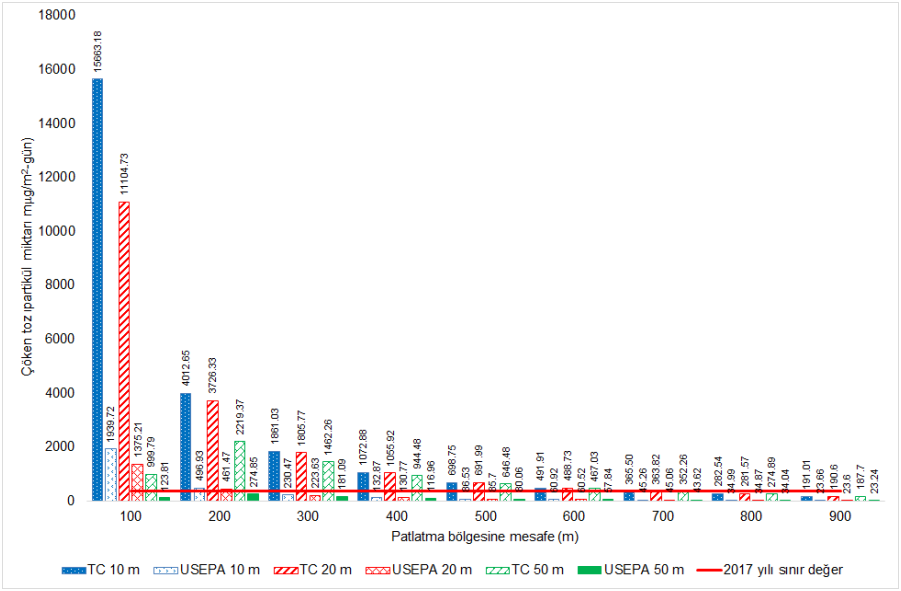
Mesafe	100 m			300 m			500 m			700 m			900 m		
Yön	10 m	20 m	50 m	10 m	20 m	50 m	10 m	20 m	50 m	10 m	20 m	50 m	10 m	20 m	50 m
K	347.1	246.9	22.7	46.2	44.8	36.3	17.3	17.2	16.1	9.1	9.0	8.7	5.6	5.6	5.5
KKD	383.6	272.8	25.1	51.0	49.5	40.1	19.2	19.0	17.7	10.0	10.0	9.7	6.2	6.2	6.0
KD	485.9	345.5	31.8	64.6	62.6	50.7	24.2	24.0	22.4	12.7	12.6	12.2	7.8	7.8	7.7
DKD	364.4	259.2	23.9	48.5	47.0	38.1	18.2	18.0	16.9	9.5	9.5	9.2	5.9	5.9	5.7
D	214.4	152.5	14.0	28.6	27.7	22.5	10.7	10.6	9.9	5.6	5.6	5.4	3.5	3.5	3.4
DGD	202.5	144.0	13.3	27.0	26.2	21.2	10.1	10.0	9.4	5.3	5.3	5.1	3.3	3.3	3.2
GD	220.9	157.1	14.5	29.4	28.6	23.1	11.1	10.9	10.2	5.8	5.8	5.6	3.6	3.6	3.5
GGD	260.4	185.2	17.0	34.7	33.6	27.2	13.0	12.9	12.1	6.8	6.8	6.6	4.2	4.2	4.1
G	347.1	246.9	22.7	46.2	44.8	36.3	17.3	17.2	16.1	9.1	9.0	8.7	5.6	5.6	5.5
GGB	331.3	235.6	21.7	44.1	42.8	34.7	16.6	16.4	15.3	8.7	8.6	8.4	5.3	5.3	5.2
GB	303.7	216.0	19.9	40.4	39.2	31.8	15.2	15.0	14.1	7.9	7.9	7.7	4.9	4.9	4.8
BGB	303.7	216.0	19.9	40.4	39.2	31.8	15.2	15.0	14.1	7.9	7.9	7.7	4.9	4.9	4.8
B	347.1	246.9	22.7	46.2	44.8	36.3	17.3	17.2	16.1	9.1	9.0	8.7	5.6	5.6	5.5
BKB	291.6	207.4	19.1	38.8	37.7	30.5	14.6	14.4	13.5	7.6	7.6	7.4	4.7	4.7	4.6
KB	331.3	235.6	21.7	44.1	42.8	34.7	16.6	16.4	15.3	8.7	8.6	8.4	5.3	5.3	5.2
KKB	383.6	272.8	25.1	51.0	49.5	40.1	19.2	19.0	17.7	10.0	10.0	9.7	6.2	6.2	6.0

Çizelge 8. USEPA'ya (1998) göre çöken tozun dağılımı (μg/m³)

Mesafe	100 m			300 m			500 m			700 m			900 m		
Yön	10 m	20 m	50 m	10 m	20 m	50 m	10 m	20 m	50 m	10 m	20 m	50 m	10 m	20 m	50 m
K	1386.7	983.1	88.5	167.6	162.6	131.7	62.9	62.3	58.2	32.9	32.8	31.7	17.2	17.2	16.9
KKD	1532.3	1086.4	97.8	184.3	178.9	144.8	69.2	68.5	64.0	36.2	36.0	34.9	18.9	18.9	18.6
KD	1939.7	1375.2	123.8	230.5	223.6	181.1	86.5	85.7	80.1	45.3	45.1	43.6	23.7	23.6	23.2
DKD	1455.9	1032.2	92.9	175.6	170.4	138.0	65.9	65.3	61.0	34.5	34.3	33.2	18.0	18.0	17.7
D	857.2	607.7	54.7	105.7	102.6	83.1	39.7	39.3	36.7	20.8	20.7	20.0	10.9	10.8	10.7
DGD	809.6	574.0	51.7	100.1	97.1	78.6	37.6	37.2	34.8	19.7	19.6	18.9	10.3	10.3	10.1
GD	883.1	626.1	56.4	108.8	105.6	85.5	40.9	40.5	37.8	21.4	21.3	20.6	11.2	11.1	11.0
GGD	1040.6	737.7	66.4	127.4	123.6	100.1	47.8	47.4	44.3	25.0	24.9	24.1	13.1	13.1	12.9
G	1386.7	983.1	88.5	167.6	162.6	131.7	62.9	62.3	58.2	32.9	32.8	31.7	17.2	17.2	16.9
GGB	1323.8	938.5	84.5	160.4	155.6	126.0	60.2	59.6	55.7	31.5	31.4	30.4	16.5	16.4	16.2
GB	1213.7	860.5	77.5	147.6	143.2	116.0	55.4	54.9	51.3	29.0	28.9	27.9	15.2	15.1	14.9
BGB	1213.7	860.5	77.5	147.6	143.2	116.0	55.4	54.9	51.3	29.0	28.9	27.9	15.2	15.1	14.9
B	1386.7	983.1	88.5	167.6	162.6	131.7	62.9	62.3	58.2	32.9	32.8	31.7	17.2	17.2	16.9
BKB	1165.2	826.1	74.4	142.0	137.7	111.5	53.3	52.8	49.3	27.9	27.8	26.9	14.6	14.5	14.3
KB	1323.8	938.5	84.5	160.4	155.6	126.0	60.2	59.6	55.7	31.5	31.4	30.4	16.5	16.4	16.2
KKB	1532.3	1086.4	97.8	184.3	178.9	144.8	69.2	68.5	64.0	36.2	36.0	34.9	18.9	18.9	18.6



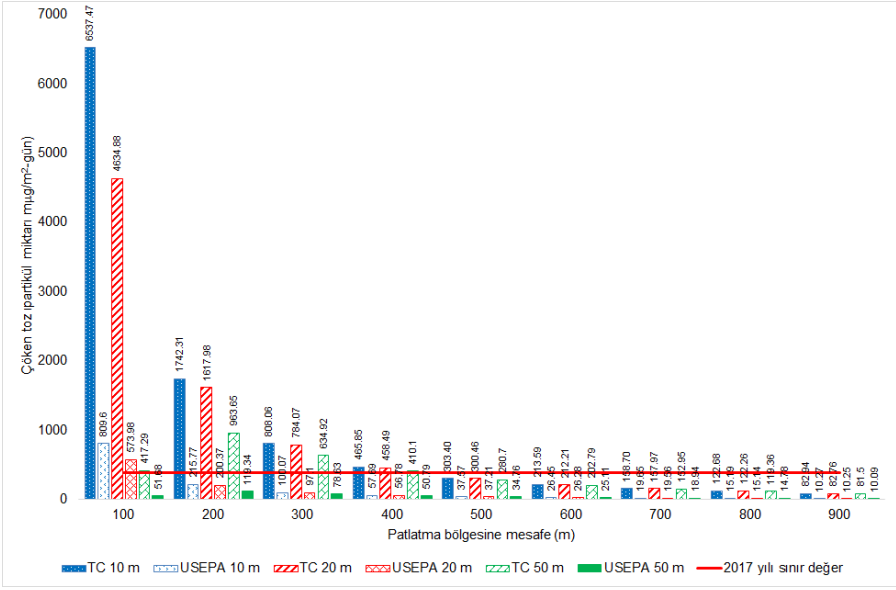
Şekil 1b. Güneydoğu yönünde havada asılı toz yayılım grafiği



Şekil 2a. Kuzeydoğu yönünde çöken toz yayılım grafiği

5. SONUÇLAR

Patlatmanın çevresel etkilerinin değerlendirildiği bu modelleme ile Sivas ilindeki bir maden işletmesinin daha önce hazırladığı işletme projesindeki patlatma parametresi değerleri çevresel faktörler dikkate alınarak değiştirilmiş ve çevre mevzuatı ile uyumlu hale getirilmesi amaçlanmıştır. Modelleme sonuçları aşağıdaki gibidir:



Şekil 2b. Güneydoğu yönünde çöken toz yayılım grafiği

a) Yapılan modellemede patlatma kaynaklı çevresel faktörlerden toz emisyonu ve yayılımı değerlendirilmiştir.

b) Yapılan toz modellemesi ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın ilgili yönetmeliklerindeki toz sınır değerlerine göre patlatma paterni değiştirilmeden, bir atımdaki delik sayısının maksimum 120 adet olacağı bulunmuş olup patlatma kaynaklı toz yayılımı bu değer üzerinden modellenmiştir.

c) Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın ilgili yönetmelik sınır değerlerine ilaveten dünyada genel anlamda kabul gören USEPA (1998) yaklaşımına göre patlatma sonrası havada asılı kalan ve çöken toz miktarı hesaplanmıştır. Bu işletmede Yönetmelik ekine göre patlatma sırasında açığa çıkan toz miktarı (120 adet delik için) 2799,36 kg iken USEPA'ya (1998) göre bu miktar 346,67 kg olarak bulunmuştur. Dolayısıyla patlatma paterni için açığa çıkan toz miktarı arasında yaklaşık 8 kat farklılık bulunmaktadır. Bu farklılığın temel sebebi patlatma sonrası açığa çıkan toz miktarı Yönetmelik ekine göre sabit (0,08 kg/ton) alınırken, USEPA'ya (1998) göre bu değer; patlatma alanı, patlatılacak malzemenin nem içeriği ve delik boyuna bağlı olarak hesaplanmasıdır. USEPA'ya (1998) göre bir maden işletmesinde patlatma sonrası açığa çıkan toz miktarının düşük olması,

patlatılan malzemenin nem içeriğinin yüksek ve patlatma yapılan delik boyunun uzun olmasına bağlıdır.

d) USEPA'ya (1998) göre patlatma sırasında açığa çıkan toz parçacık miktarı (havada asılı kalan ve çöken), Yönetmelik ekindeki değere göre daha düşük olduğu için 800 m uzaktaki yapıdaki emisyon oranı da daha düşük olacaktır.
e) Günde bir den fazla patlatma yapılacaksa her iki patlatmada açığa çıkan toz miktarlarının toplamı dikkate alınmalıdır.
f) Patlatma anlık olduğu için (< 5 s) açığa çıkan tozun yayılımı patlatma anındaki hava şartlarından (rüzgâr hızı, yönü vb.) dolayı değişkenlik gösterebilir. Bunun için toz yayılım modellemesinde kullanılmak üzere maden sahasına en yakın rüzgâr istasyonundaki verilerin yıllar bazında ortalamaları esas alınmalıdır.
g) Toz dağılım modellemesinde havada asılı kalan toz miktarı, çöken toz miktarına göre daha önemlidir.
h) Yönetmelik eki ve USEPA (1998) tarafından patlatma sonrası açığa çıkan toz miktarının hesabında patlatma sonrası gevşetilen malzeme miktarı önemlidir. Bunun için patlatmadaki delik sayısı sabit tutulup delik paterni değiştirilerek patlatma sonrası açığa çıkacak toz miktarı düşürülebilir.
i) Patlatma sonrası açığa çıkan tozun çıkış yüksekliği maden sahası civarında (<400 m) değişkenlik gösterirken, maden sahasından daha uzak mesafelerde çok fazla değişkenlik göstermemektedir. Dolayısıyla maden sahasının dışında kalan yerleşim yerleri için çok fazla bir önemi bulunmamaktadır.
j) Gauss modelinde arazi yapısındaki düzensizliklerin toz yayılımı üzerindeki etkileri göz ardı edilmektedir. Maden işletmesi çalışmaya başlayıp ocak sahası derinleştikçe tozun yayılımının etki mesafeleri değişerek düşme eğilimde olacaktır.

Sonuç olarak; patlatma sonucu açığa çıkan tozun miktarı ve yayılımı ile ilgili farklı yaklaşımlar ile maden işletmesi çalışmaya başlamadan önce projelendirme aşamasında dikkate alındığında işletme ile çevre yerleşim sakinleri arasında oluşabilecek muhtemel şikayet ve anlaşmazlıklar asgari düzeye indirilebilir. Diğer taraftan maden işletmeleri işletme projeleri ve ÇED raporlarındaki patlatma tasarımlarında bir atımdaki delik sayısını belirlemek için patlatma kaynaklı çevresel faktörlerin tümünü dikkate almak zorundadırlar. Ancak bu şekilde işletme çalışmaya başladıktan sonra tekrar proje revizyonuna gereksinim duymayacaktır.

KAYNAKLAR

Attalla, M., Day, S., Lilley, W., Morgan, S., 2008. NOx emissions from blasting operations in open-cut coal mining, Atmospheric Environment, 42, 7874-7883.

Cora, M.G., Hung, Y.T., 2003. Air dispersion modelling: a tool for environmental evaluation and improvement, Environmental Quality Management, Spring, 75-86 (DOI: 10,1002/tqem,10075).

Değerli, E., Ünver, B., 2002. Açık ocaklarda toz dağılımının bir bilgisayar yazılımı ile değerlendirilmesi, Madencilik, Cilt 41, Sayı 3, 3-17.

Demirarslan, O., Çetin, Ş., Ayberk, S., 2008. Hava kirliliği belirlemelerinde modelleme yaklaşımı ve modelleme aşamasında karşılaşılabilecek sorunlar, Çevre Sorunları Sempozyumu, Kocaeli.

Demirci, E., 1998. Samsun'da hava kirliliğinin matematiksel modellerle incelenmesi ve modellerin karşılaştırılması, Yüksek lisans tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.

Güllü, G, 2001. ÇED Çalışmalarında hava kalitesi modellemesi, Eğitim Seminerleri-1, Çevre Mühendisliğinde Bilişim Teknolojileri, Çevre Mühendisleri Odası, Ankara.

OEP, 1983. Supplement No. 1 - Reasonably available control measures for fugitive dust sources, Ohio Environmental Protection Agency Division of Air Pollution Control Engineering Section, Ohio, USA.

Pedco, 1976. Evaluation of fugitive dust emissions from mining task 1 - Report identification of fugitive dust sources associated with mining, Pedco Environmental.

Reed, W., 2005. Significant dust dispersion models for mining operations, Tech.Rep. IC 9478. NIOSH, Pittsburgh, PA, USA.

Richards, J, Brozell, T, 2001. Compilation of national stone, sand and gravel association Sponsored emission factor and air quality studies 1991–2001, Arlington, Virginia: National Stone, Sand and Gravel Association.

USEPA, 1991. Review of surface coal mining emissions factors, U,S, Environmental Protection Agency, Office of air quality planning and standards, Research Triangle Park, North Carolina.

USEPA, 1998. Compilation of air pollutant emission factors, AP-42, Fourth Edition, Office of air quality planning and standards, research triangle park, North Carolina, 27711.

Vardoulakis, S., Fisher, B.E.A., Pericleous, K., 2003. Modelling air quality in street canyons: a review, Atmospheric Environment, Vol. 37 (2), pp: 155-182.

TOZ MODELİNDE KULLANILAN SİMGELER

x, y, z	:	Tepe noktasındaki kartezyen koordinatlar (x: yayılma yönünde ve bu yayılma yönüne dik durumlarda y: yatay, z:dikey)
C(x,y,z)	:	Tepe noktasında herhangi bir yayılma durumu için hava kirlenmesine katkı değeri (HKD) (mg/m^3 konsantrasyon biriminde)
d (x,y)	:	Çöken toz miktarı (mg/m^2-gün)
(ζ)	:	x yönünde integrasyon değişkeni
z	:	Tepe noktasının zeminden yüksekliği (m)
h	:	Tozun zeminden itibaren dağılmaya başladığı yükseklik (m),
Q	:	Emisyon kaynağından çıkan emisyonların kütlesel debisi (kg/patlatma, kg/gün)
U_h	:	Rüzgâr hızı (m/s)
V_{di}	:	Havada asılı taneciklerin alçalma hızı (m/s)

σ_y, σ_z : Yatay ve dikey yayılma parametreleri (m)
KVS : Kısa Vadeli Sınır Değerleri
UVS : Uzun Vadeli Sınır Değerleri
$\sigma_y\sigma_z$: Yatay ve dikey yayılım katsayıları (m)
σ_y : $F * X^f$
σ_z : $G * X^g$
(F ve G katsayıları ile f ve g üstel değerleri 02.11.1986 tarih 19269 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Hava Kirliliği Yönetmeliği"ndeki eşitlikler kullanılmıştır.)

V

Mine Closure and Rehabilitation

Maden Ocağı Kapama ve Rehabilitasyon

TERKEDİLMİŞ MADEN SAHALARININ TEMİZLENMESİ VE HALEN ÇALIŞAN MADENLERİN FAALİYET SONRASI KAPATILMASI

THE RECLAMATION OF ABANDONED MINING SITES AND MINE CLOSURE AFTER OPERATION OF THE WORKING MINES

Şinasi ESKİKAYA

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar: eskikaya@itu.edu.tr

ÖZET: İlk madencilik faaliyetlerinin yer aldığı 3000 yıl öncesinden başlayarak, madencilik olayları arkalarında pek çok problemli saha bırakmıştır. Ancak, konunun çok ciddi boyutlara ulaşması endüstri devriminin sonrasına rastlamaktadır. Zira ondan önce hemen tüm madenler, yüksek tenörlü kısımlar alınarak işletildiği için, mecburen küçük ölçekli olmuşlardır. Endüstri devriminden sonra yer alan çok büyük ölçekli madencilik faaliyetleri ise, arkalarında milyonlarca ton büyüklüğünde atık bırakmışlardır (Moskowitz, 2014; Corpwatch Report, 2007). Kaderlerine terk edilen bu sahalar bu gün doğaya zarar vermekte ve her türden canlılar için tehdit oluşturmaktadır. Sadece Birleşik Amerika'da ve sadece metal madenciliği sonucu, yakın zamana kadar işletildikten sonra terk edilmiş olan maden sahası sayısı 557 650 olup bunların ıslah edilmesi için MPC tahminine göre, 71,5 milyar dolar gerekmektedir (Bale, 2014; UNEP, 2001; Riccardi, 2015). Aynı sorunla karşılaşmamak için pek çok ülke, 25-30 senedir, faaliyetleri sona eren madenlerin çevreye zarar vermeyecek şekilde kapatılması için mevzuat geliştirmişlerdir (Mathisen, 2015). Ancak bu husus, özellikle gelişmekte olan ülkelerde halen birçok sorun içermekte, bunların başında da finans zorluğu yer almaktadır. Ülkemize gelince, uluslararası yayınlarda, gelişmiş ülkelerin yanı sıra, "Mali, Moğolistan, Namibya, Filipinler, Vietnam, Fiji, Peru, Ekvador, Guyana, Kosta Rika, Tacikistan, Özbekistan, Kırgızistan ve hatta Suudi Arabistan ve İran" gibi gelişmekte olan pek çok ülke faaliyetleri sona eren madenlerin çevreye zarar vermeyecek şekilde kapatılması sürecinde daha etkili biçimde yer alırken, Türkiye'nin

hiç adının geçmemesi, bu konuda bir anlam ifade eder sanıyorum. Dolayısıyla konunun bir an önce ve ciddiyetle ele alınıp incelenmesinin zamanı gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Terkedilmiş madenler, Maden kapama, Mali garanti, Teminat, Teminat mektubu

ABSTRACT: *Since the beginning of primitive mining some 3000 years ago, mining activities have left their mark on the landscape, as the ancient areas of metal working, namely abandoned mines. However, the activities associated with mining extraction after the industrial revolution have left largest scars. Because, prior to the industrial revolution, most mining were for high-grade minerals and therefore had required comparatively modest excavation. With the industrial revolution however, came large-scale mining and they have left behind enormous tonnage of waste rocks and tailings. Reclamation of such areas is not an easy job and even well developed countries are faced with the huge problem of cleaning mining debris for decades. For example only in the United States of America and only hard rock mining left behind 557650 abandoned mine sites nationwide and the cost of cleaning up them, according to MPC's estimate, will be as much as 71.5 billion USD dollars. On the other hand, the term of mine closure is totally different from abandoned mines. It can be said that, in the vast majority of the developing countries "effective environmental reclamation and rehabilitation measures" were taken following mine closure. However, this issue is still problematic because of many existing laws and regulations are too general. In many countries mine closure requirements are undermined by inefficient and ineffective monitoring, arising mainly because "lack of financial and technical resources. "As come to our country, it is interesting to note that, the name of Turkey is not taken in any of the international publications. Therefore, before being too late, it is the time to consider the whole issue at once and much more seriously.*

Keywords: *Abandoned mines, Mine closure, Financial guaranty, Surety bonds, Letter of credit*

"We know mining is not everything, but without mining, everything is nothing."

Dr. Max Planck

1. GİRİŞ

Madenciliğin başladığı ilk yıllardan bu yana, maden ocakları rezervlerinin tükenmesi ya da ekonomik özelliklerini yitirmeleri nedeniyle olduğu gibi bırakılarak terk edilmişlerdir. kimin işlettiği belli olmayan, belli olduğu durumlarda da o işletmecilerin bulunamadığı bu tür madenler artık "terk edilmiş madenler" (abandoned mines) olarak nitelenmektedir. Madenciliğin çok yoğun olarak yapıldığı birçok ülkede, "hardrock mines" olarak adlandırılan, sadece metal ve endüstriyel mineral madenciliğinden kalan, ABD de 557 650, Avustralya'da 40000, Kanada'da 10139 ve Güney Afrika'da 6000 terk edilmiş statüde maden bulunmaktadır (Swart, 2003; Van vd., 2012). Canlı hayatına verilen önemin artması ve çevre bilincinin uyanması, bu madenleri artık birer tehlike kaynağı sınıfına sokmaktadır. 20-25 yıllık geçmişi olan bu uyanışa göre, terk edilmiş madenler, madencilik sektörü için "Aşilin topuğu" mahiyetindedir. Bu gibi sahaları temizlemek artık öyle masraflı ve zahmetlidir ki, ülke idareleri bazı çözümler aramaya ve bunun uygun yollarını bulmaya yönelmişler ve bu konuda büyük çaba göstermeye başlamışlardır (Kazaz, 2013). Son 20-25 senedir uygulanan maden kapama (mine closure) böyle bir arayışın sonucudur. Hükümetler ruhsat verirken, madenin terk edilmesi safhasında nasıl bir iyileştirme (rehabilitasyon) yapılacağına dair bir proje ve ekinde, bunun uygulama masraflarını karşılayacak bir mali teminat istemektedirler.

2. TERKEDİLMİŞ MADENLER KONUSU

Tüm dünyada 62 çeşit mineralin madenciliği yapılmaktadır. İşletme şekli ya yeraltı ya da açık işletme biçimindedir. Her iki şekilde de madencilik sonrası ortaya çıkan durum, bir tehlike kaynağı olmaya adaydır. Mesela yeraltı madenciliğinde maden çalışırken gelen sular pompalanarak uzaklaştırılmakta, madencilik faaliyeti bitip te pompalama durunca galeri ve kuyular dahil, açılan bütün boşluklar su ile dolmaktadır. Açık işletmeler için de durum aynıdır. Kırılma, açılma ve çökme sonucu açığa çıkan yüz milyarlarca minik kayaç yüzeyi, bu su ile temas haline gelerek içlerindeki sülfitler yüzünden suya asidik bir karakter kazandırmaktadır. Bu asidik su, gene kayaçlarda bulunan *kurşun, çinko, demir, kadmiyum* ve benzeri diğer metallerle kimyasal olarak etkileşime girip bünyesine alarak daha da kirli bir nitelik kazanmaktadır. Bu kirli sular bazen yüzey sularına, çoğu defa da yeraltı sularına karışarak çok ciddi tehlikeler oluşturmaktadır. PH ve sıcaklık bakımından suyun karakterinin değişmesi, bitki örtüsü

dahil, bütün canlı hayatını olumsuz yönde değiştirmektedir. Özellikle endemik olanlar çevre şartlarındaki değişime karşı çok daha hassastırlar. Kirli/zehirli suyolu ile kaybolan bitki örtüsünü aynen geri kazanmak genellikle mümkün olmaz. Ayrıca kirliliğin çok uzun süre kalıcı olduğunu da unutmamak gerekir: bir pirit madeninin terk edilmesinden 90 sene sonra bile suyun pH derecesinin çok düşük olduğu ve mikroorganizma olarak sadece pirit yiyen bakterilerin bulunduğu göz önüne alınırsa olayın ciddiyeti hakkında bir fikir edinilmiş olunur. Kaldı ki, madencilikten arta kalan pasalar zehirli olmasalar bile, gene de etrafa yayıldıklarında tarım toprağını veya mevcut bitki örtüsünü kaplayarak zararlı olmaktadırlar. Terkedilmiş madenlerden kaynaklanan sorunlar, genellikle:

- Başta insan olmak üzere diğer canlıların sağlık ve güvenliği,
- Çevre tahribatı,
- Estetik görünüm

  olarak özetlenebilir. Halkın şikâyeti genellikle estetik görüntüde yoğunlaşmakta, asıl tehlike, yani kimyasal ve fiziksel kirlenmeler daha geç dile getirilmektedir.

Diğer yandan, varlığı bilinse bile terk edilmiş madenleri incelemek kolay değildir. Ortaya çıkan sorunların kaynağı genellikle:

- Madenin, hiç reklamasyon yapılmadan terk edilmiş olması,
- Hükümetlerin yeterli olmayan politikaları,
- Sahanın madencilik dışında başka bir amaç için kullanılmak istenmesi,
- Sahaya ait bilgilerin kaybolması

  gibi hususlardır.

Sorunları şu şekilde düzenlemek te mümkündür:

- Madencilikle ilgili olanlar
- Politika ve İdare ile ilgili olanlar
- Yerleşimle ilgili olanlar
- Verilerle ilgili olanlar.

Bu son düzenlemedeki başlıkları biraz açmakta yarar vardır.

Madencilikle İlgili Olanlar: Genellikle, ya eskiden beri usul edinilmiş olmasından dolayı, ya da herhangi bir sebeple şirketin iflası halinde, sahayı gereği gibi ıslah etmeden terk etmek mecburiyetinde kalınır. Unutmamak gerekir ki, fiziki ve

kimyevi kirlenme hakkında çok şeyin bilinmediği devirlerde sahayı olduğu gibi terk etmek her yerde ve her zaman rastlanan bir uygulama idi.

Politika ve İdare ile İlgili Olanlar: Madencilik çok eski tarihlere uzanmakla birlikte şu andaki politika ancak 20. yüzyılın sonlarında oluşmaya başlamıştır. Kaldı ki pek çok ülkede hala da oluşmamıştır. Bu konuda en ileri düzeyde olan Kanada'da bile, terk edilmiş madenler ile ilgili sorumluluk, 40 yıl içinde beş makam değiştirmiştir. Bu da bazı boşlukların doğmasına ve üst üste çakışmalara yol açmış bulunmaktadır (Ismi, 2015).

Yerleşim ile İlgili Olanlar: Bir çok sivil yapı, temizlenmemiş maden sahası üzerine kurulmuş olup sonradan ortaya çıkan sorunlarla boğuşmak mecburiyeti hasıl olmuştur. İnsanlar buraya yerleşirken muhtemelen "*herhalde tehlikeli olsa önceden ikaz edilirdik"* diye düşünmüş olmalılar.

Verilerle İlgili Olanlar: Gerçi maden faal iken bütün belge ve haritalar hükümete verilmekte ise de, lazım olduğu zaman bunların ortaya çıkması sorun olmaktadır.

2.1. ABD'deki Uygulama

Bu ülkenin 32 eyaletinde, "*hardrock madencilik"* e sahne olup ta terk edilmiş maden saha sayısı 557 650 olarak tahmin edilmektedir. Gene bir tahmine göre bunların toplam temizleme masrafı 32 milyar dolardan 72 milyar dolara kadar uzanmaktadır. Duruma göre, birkaç yüz bin dolardan başlayıp yüzlerce milyon dolara ulaşabilen temizleme masrafları için ABD'de bir sınıflandırma yapılmış ve tahmini bir liste düzenlenmiştir (Çizelge 1). MPC ye göre (*Mineral Policy Center)* bunların toplam temizleme masrafı,72 milyar dolara kadar uzanabilir.

ABD de, çevre sorunları ile uğraşmak üzere, EPA (*Environmental Protection Agency*) kurulmuştur. Bu kurum en fazla kirliliğe sebep olan terk edilmiş madenleri tespit etmiş ve listesine almıştır. 50 maden sahasını içine alan bu liste "*Superfund listesi"* olarak bilinmektedir. EPA'nın mücadelesi öncelikle bu sahalara yöneliktir. Gelirinin çok büyük kısmı da petrol endüstrisinden sağlanmaktadır.

ABD deki eyaletlerde, terk edilmiş madenler veya maden kapama ile ilgili çeşitli yasal düzenlemeler vardır. Federal ölçekte ise, daha eski olan CWA (Clean Water Act) ile oldukça yeni olan CERCLA (Comprehensive Environmental Response and Liability

Act) etkin durumdadır. Her iki yasal mevzuatta yer almakla birlikte CERCLA da daha kuvvetle vurgulanan ve tenkitlere yol açan husus, temizleme yükümlülüğünün geriye doğru genişletilmiş olmasıdır. Şöyle ki, eğer bir madenci, önceden çalıştırılıp terk edilmiş olan bir madendeki kalan rezervi işletmek veya yeni teknolojiden yararlanarak önceden kalmış milyonlarca ton atık içindeki cevheri kazanmak isterse, o kişi kendisinden önce yapılan madencilik dolayısıyla kirlenmiş olan tüm sahayı temizlemek sorumluluğu ile karşı karşıya kalmaktadır.

Çizelge 1. ABD'de terkedilmiş madenlerin sınıflaması ve saha başına düşen tahmini temizleme masrafı ($x10^3$ USD).

Kategori	Saha Sayısı	Toplamdaki payı (%)	Saha Özelliği	Saha Başına Temizleme Masrafı ($x10^3$ $)
Reklamasyon yapılmış zararsız	194500	34,88	Emniyet ve sağlık sorunu yok	-
Görüntü bozukluğu	231900	41,59	Atık yığını, zayıf bitki örtüsü, ciddi erozyon	4,4
Emniyetsiz, tehlike	116300	20,86	Kuyu, galeri, göçükler, gevşek arazi	19,5
Yüzey suyu kirlenmesi	14400	2,58	Asitli su drenajı, yüzey suyunun ağır metallerle kirlenmesi	1000-3000
Yeraltı suyu kirlenmesi	500	0,09	Asitli su drenajı, yeraltı suyunun ağır metallerle kirlenmesi	7500-12500
Yüksek maliyet gerektirenlerin listesi	50	0,01	Çok büyük kirlenme ve tehlike	25000-350000
Toplam	557 650	Toplam Temizleme Masrafı		72×10^9 $

*(Bu liste 32 eyaletteki maden sahalarını içermektedir.)

Aslında ABD kongresinde 1977 de kabul edilen ve kömür madenciliğinin çevre ile ilişkisini konu alan bir yasal düzenleme daha vardır: SMCRA yani "*Surface Mining Control and Reclamation Act"*. Başta açık işletmeler olmak üzere, uygulamalar ile ilgili bir de ofis kurulmuştur: OSMRE (The Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement).

2.2 Terkedilmiş Maden Örnekleri

2.2.1 Iron Mountain Mine

"*Richmond Mine"* olarak ta bilinen ve Kaliforniya eyaletinde yer alan bu maden, yeryüzünde kirliliğe en fazla yol açan madenlerden biridir (Clarke, 2015). Nitekim madenden sızan suyun asitlik derecesi, bir pilinkinin 6300 katıdır. O kadar ki EPA, sızıntıyı önlemek için bazı galeri ağızlarını betonarme kapaklarla kapatmış, ama bir süre sonra asitli su kapak betonunu ve içindeki demiri kemirmeye başlamıştır. Maden 1860

yılında üretime başlamış ve kapandığı 1960 yılına kadar milyonlarca ton *demir, gümüş, altın, çinko* ve *pirit* üretilmiştir. Ağır yağış dönemlerinde asitli sular derelere akmakta, oradan Sacremento nehrine ulaşıp Ridding halkının içme suyu kaynağı olan Keswick barajını kirletmektedir.1967 de sadece bir haftada 47 000 alabalık ölmüştür.1999 da ABD'nin saygın bilim dergilerinin birinde çıkan bir makalede maden, İncil'deki cehenneme benzetilmektedir. Nitekim madendeki piritler suların ve oksijenin varlığı ile oksitlenmekte, bu kimyasal reaksiyon sonucu açığa çıkan ısı, döngüsel olarak reaksiyonları yeniden harekete geçirmektedir. Maden içindeki sıcaklık o kadar yüksektir ki bazıları da bunu demirci ocağına benzetmektedir. ABD deki jeoloji uzmanları, galeri ağızlarının kapatılması durumunda, madenin, içinde 360 milyon litrelik asitli su bulunan bir *yüksek fırın* niteliği kazanacağını iddia etmektedirler. Ayrıca potansiyel tehlikenin 3000 yıl süreceği ve sızıntıya sebep olan, başta altın madenleri olmak üzere, çok sayıda buna benzer başka maden bulunduğu da gene iddialar arsındadır.

2.2.2 Sulphur Banc Mine

Kuzey Kaliforniya'daki Clear Lake (Temiz Göl) eyaletteki en büyük göldür.175 km^2 lik bu gölde dünyanın başka hiçbir yerinde rastlanmayan canlılar yaşamaktadır. İşte bu göl söz konusu madenden sadece 100 metre uzaklıkta bulunmaktadır.Maden 1856 da boraks madeni olarak işletmeye açılmıştır.Gerçi işletmeciler bu madende civa olduğunun da farkındadırlar ama fiyatların düşüklüğü sebebiyle bir süre üretmemişlerdir. Bilindiği gibi civa, aynen siyanür gibi iyi bir altın ayrıştırıcısıdır. Nitekim altına hücum başlayıp ta civa fiyatları yükselince,1873 de bu madende civa da üretilmeye başlanmış ve bu durum 1905 yılına kadar devam etmiştir.10 yıllık aradan sonra maden bu defa açık işletme olarak faaliyete geçmiştir. Kapandığı 1957 yılına kadar,1.5 milyon m^3 *civa ve arsenikle* kirlenmiş olanlar da dahil, tüm atıklar saha içindeki 150 dönümlük alana ve bizzat Temiz Gölün içine boşaltılmıştır. Öyle ki bu atıklar gölün doğu tarafında 450 metre uzunluğunda bir şerit oluşturmaktadır. Netice olarak yörede yaşayan insanlar yüksek derecede *civa* ve *arsenik* etkisine maruz kalmışlardır. İşin daha da ilginç tarafı bu zehirli atıklar kaplama malzemesi olarak yollara serilmiş ve hatta evlerin temellerinde bile kullanılmıştır. Açık ocaktaki 23 dönümlük bir alanı kaplayan asitli su birikintisi, içinde *civa, arsenik ve antimuan* bulunan atıklar dolayısıyla pek kirli

durumdadır. EPA, tehlikeden dolayı sahayı çitle çevirmiş ve gölün etrafındaki gezinti yolunu bile yaya trafiğine kapatmıştır.

2.2.3 Jamestown Mine ve Harvard Pit

Bu altın madeni 30 yıl çalışmış olup halen, Toulumne Nehri'nin bir kolu olan Woods Creek deresine önemli miktarda kirli su taşımaktadır. Sahadaki üç açık işletmeden biri olan Harvard Ocağı da, madenin terk edildiği 1994 yılından bu yana yeraltı suyu ile dolu durumdadır. Bu su, deniz seviyesinden 450 metre yükseklik kazandığı anda taşarak kayaçların içinden geçip Woods Creek deresine ulaşacaktır. Zaten arsenik ile kirli olan su, geçtiği yerlerde kayaçlardaki sülfat ve nitratı da bünyesine alarak daha da kirlenecektir.

2.2.4 Mount Polley Mine

Kanada British Columbia'da bulunan Mount Polley madeninin atık barajı, 2014 yılı Ağustos ayının ilk haftasında patlamış ve metre mesabesinde kalınlığa erişen gri renkli sulu atık çamuru, geçtiği her yere zarar vererek Fraser Nehri'ne ulaşmıştır. Meydana gelen hasar hayal bile edilemeyecek kadar büyüktür. 743 milyon m^3 potansiyel olarak zehirli, ama 370 milyon m^3 kesin olarak zehirli atık çamuru sulak alanlar ile göl ve nehir tabanını kaplamış durumdadır (Page, 2015; Brad, 2015). *Arsenik, sülfür ve civa* gibi zararlı maddeler içeren bu atık çamuru, olimpik boyuttaki 6000 yüzme havuzunu dolduracak boyuttadır. Bu atığın içinde 45 ton *kurşun*, 152 ton *bakır*, yarım ton *civa* ve diğer çeşitli metaller bulunmaktadır. Kirlenen göllerden biri dünyadaki en büyük somon balığı yuvasıdır. Atık bölgedeki yüzlerce kişinin faydalandığı içme sularını da kirletmiştir (Ismi, 2015).

2.3 Atık Barajları

Dünyada madencilik kaynaklı 3500 atık barajı olduğu tahmin edilmektedir. ABD deki yasal mevzuatın gevşekliğinden dolayı,dünyadaki baraj patlamalarının %39'u, ABD'de meydana gelmiştir. EPA'ya göre, batı eyaletlerindeki su havzalarının %40'ı madencilik faaliyetleri dolayısıyla kirlenmiş durumdadır.2015 yılında, Mount Polley faciasından sonra, baraj konusu ciddiyetle ele alınıp incelenmiştir. Lindsay Newland Bowker ve Dr.

David Chambers tarafından hazırlanan raporda (Newland Bowker, L. ve Chambers, D., 2015) öne çıkan hususlar şöyle özetlenebilir:

- Ciddi baraj patlamaları giderek artmaktadır. Son 70 yıldaki 67 baraj patlamasının yarısı (33 tanesi) son 20 yılda meydana gelmiştir.
- Bunun başlıca sebeplerinden biri, madencilerin, ekonomiklik kaygısıyla 5 milyon m^3 den daha büyük kapasitede baraj yapmalarıdır.
- Bu tür baraj facialarından doğan masraf, baraj başına ortalama 543 milyon dolardır.
- Ekonomik ve ekolojik kayıplar çoğunlukla kalıcı ve geri kazanılamaz durumdadır. Rehabilitasyonun mümkün olduğu durumlarda da, genellikle madencinin gücü yetmediği için, bütün iş devletin üzerine kalmaktadır.
- 2010—2019 arasında 11 büyük baraj faciası olacağı ve bunun masrafının da 6 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir.

Raporun yazarlarından Dr.Chambers'e göre, madencilik faaliyetleri bu şekilde devam ederse, baraj patlamaları kaçınılmazdır. Eninde geçinde mutlaka meydana gelecektir. Nitekim Kaliforniya Riverside Üniversitesi profesörlerinden Henry Voux da "Bu barajların *kurşun*geçirmez *sağlamlıkta olduğu ve hiçbir sızıntıya meydan vermeyeceği* şeklindeki iddialara inanırsanız kendinizi kandırmış olursunuz" demektedir.

Barajların büyüklüğü daha çok tenöre bağlıdır. Altın madenciliğinde tenör düşüktür ve dolayısıyla birim ağırlıkta metal elde etmek için çok miktarda kayaç kullanmak gerekir. Nitekim tonda 3,5 gram altın olması durumunda bir ton altın elde etmek için 1.270.000 ton atık meydana gelmektedir. Ayrıca 550.000 kWh enerji ve 260.000 m^3 suya ihtiyaç vardır. Havaya salınan sera gazı da 18.000 tondur. Altın madenciliği yapılan yerlerde ya su sıkıntısı çekilmekte ya da bölge kuraklıktan etkilenmektedir. Altın madenciliği dolayısıyla dünyada her 42 saniyede bir, Eyfel Kulesi yüksekliğinde atık meydana gelmektedir.

3. MADEN KAPAMA

3.1 Mali Garanti Araçları

Ülkeler, terk edilmiş madenlerden doğan sorunlardan bazı dersler çıkararak "kirleten öder" prensibi ile madenciliğin çevreye verdiği zararları o madeni çalıştırana yüklemek istemektedir (Dondo, S. J., 2014; Slight vd., 2015; Miller, G. G., 2005; ICMM, 2005;

Olivari, 2014; Samarin, 2014). Bunun için izlenen yol, ruhsat verilmesi sırasında, ”*maden terk edilirken, hasıl olan zararın nasıl telafi edileceğine*” dair bir “*proje”* ile, bu projenin uygulanabilmesi için gerekli masrafı karşılayacak bir” *mali garanti belgesi”* istemektir (Clark ve Clark, 2000). Kapatma projesi, madencilik faaliyetleri sırasında değişen şartlara göre tadil edilebilir ve doğal olarak mali teminat miktarı da buna uygun hale getirilir. Değişik ülkelerde uygulanan çok çeşitli mali garanti araçları vardır. Bunlar özetle:

- Teminat mektubu (Letter of Credit)
- Teminat tahvili (Surety bond)
- Finansal kurum fonu (Trust fund)
- Nakit ödeme (Cash)
- Sigortalama (Insurance scheme)
- Birim tonaj esası (Unit levy)
- Kademeli ödeme (Sinking fund)
- Varlık rehini (Pledge of asset)
- Tahvil havuzu (Fund pool)
- Sorumluluk devri (Transfer of liability)

şeklindedir. Burada gerek bu terimlerin açıklamasına, gerekse olumlu-olumsuz yanlarına girilmeyecektir. Bu mali araçların bir kısmı kuvvetli bir kısmı zayıftır. Hangi tür mali garanti isteneceği, bir yandan yapılacak işin hacmine, cinsine ve süresine, bir yandan da teminatı verecek olan kurumun mali yapısına bağlıdır.

Mali garanti aracının sermayeyi bağlama olayı, şirketler için önemli olmaktadır. Mesela uluslararası bir madencilik şirketi, 1998 yılında, başlıcası Avustralya’da olmak üzere, çok sayıda mali garanti belgesi verdiğini ve 2004 yılında 60 milyon dolarlık yükümlülük altına girdiğini beyan etmiştir (EPA, 2015). ABD’ de bir şirket ise,iki saha için 170 milyon dolarlık teminat vermiştir. Ama şu da bir gerçektir ki, verilen teminat hiçbir zaman fiili durumla örtüşmemekte ve garanti edilen miktardaki masrafları karşılamamaktadır. Nitekim Avustralya’da (Australian Goverment, 2006) gene 2004 yılındaki 3365 tahvilin toplam değeri 608.3 milyon dolar olmasına rağmen, bu miktar yapılacak işin masraflarının ancak % 25 ini karşılayacak durumdadır.

2004 yılında yapılan bir incelemeye göre 22 bağımsız devlette ve 29 eyalette tercih edilmiş bulunan mali araçların dağılımı şu şekildedir:

Çizelge 2. 2004 Yılındaki incelemeye göre 22 bağımsız devlette ve 29 eyaletteki mali araçların dağılımı.

Adet	Mali Garanti Araç Cinsi
15	Teminat mektubu (Letter of Credit)
10	Banka garantisi (Bank Guarantee)
9	Kurumsal garanti (Corporate Guarantee)
7	Performans tahvili (Performance Bond)
5	Bilanço (Balance scheme)
5	Bizzat fonlama (Self Funding)
5	Araç gerekmiyor (No instrument)
4	Nakit güven fonu(Cash-trust fund)
4	Reklamasyon tahvili (Reclamation bond)
3	Nakit depolama (Cash Deposit)
2	Teminat tahvili (Surety bond)
1	Varlık ipoteği (Pledge of asset)
1	Kefalet depozitesi (Deposit of Security)
1	Banka hesabı (Bank Account)
1	Bizzat tahvil (Self-bonding)

Kayda değer bir husus ta şudur: bazı ülkelerin yasal mevzuatında Exit Ticket (Çıkış bileti) diye bir uygulama vardır. Bazı hallerde kapamadan sonra çevre ile ilgili yapılması gereken işler çok zaman alabilmektedir. Saha ile ilgili, bu işlerden doğan sorumluluk ise, ilgili şirketin tepesinde adeta bir Demokles kılıcı gibi asılı durmaktadır. Hem bu sorumluluktan kurtulup sahadan tamamen çekilmek, hem de sermaye için önemli bir bağ teşkil eden mali garanti belgesini geri almak için, şirketler hükümete bir defada, (müzakereler sonunda belirlenecek) bir parayı ödeyerek her bakımdan serbest kalmaktadırlar.

3.2. Türkiye'deki Durum

Bu konuda Türkiye'de 2010 yılından başlayarak, genelde maden kapama konusunu da içine alan bazı yasal düzenlemeler yapılmıştır. Bunların ilki:

- 23 Ocak 2010 tarih ve 27471 sayılı resmi gazetede yayınlanan " *Madencilik Faaliyetleri İle Boşalan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği*"dir. Altı sayfa olan bu yönetmelik beş bölümden ve on altı maddeden oluşmakta olup, üç tane de eki vardır.
- 28 Eylül 2012 tarih ve 28425 sayılı resmi gazetede yayınlanan "*Yönetmelik değişikliği*"ni konu alan tek sayfalık belge.
- 18 Şubat 2015 tarih ve 29271 sayılı resmi gazetede yayınlanan " *Maden Kanunu ile Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun*" olup dokuz sayfa ve otuz maddeden oluşmaktadır. Bunun 7.sayfadaki 17. Maddesi, madencilik faaliyetlerini

ve özellikle de madencilik sonrası çevre düzenlemesi işlerini konu almakta ve bu iyileştirme masrafları için madenciden peşin olarak alınacak mali teminattan bahsetmektedir.

- 2 Nisan 2015 tarih ve 29314 sayılı "*Atık Yönetmeliği"* başlıklı belge. On bir sayfa ve yirmi dokuz maddeden oluşan bu yönetmeliğin muhtelif yerlerinde, *Maden Atıklarının* yer aldığı bir Ek-4 listesinden söz edilmektedir.

Bu belgelerin incelenmesinden çıkan bazı sonuçlar özetle şöyledir:

- Konu her belgede parça parça işlenmiş olup bazı hallerde tekrarlar vardır ve genellikle dağınıktır.
- Kullanılan terimler çoğu defa geneldir. Anlayışa bağlı olarak değişik yerlerde farklı uygulamaların olması mümkündür.
- Alınması önerilen tedbirlerin oturduğu bilimsel temeller zayıftır.
- En önemli hususlardan biri olmasına rağmen parasal teminatlar ve onların şekilleri ile ilgili hiç detay yoktur.
- Bu belgeler hazırlanırken, bu konuda örnek alınmaya değer ülkelerin mevzuatları dikkate alınmış mıdır, belli değildir.
- Belgelerde "*Terk edilmiş Madenler"* konusu hiç yer almamaktadır.

Bu tespitleri daha da çoğaltmak mümkündür. Ancak uygulama kısmı daha da önemlidir. Adaletli ve olması lazım geldiği şekilde bir uygulama için ise:

a) İyi anlaşılır şekilde yazılmış ve yoruma mümkün olduğu kadar az yer veren bir yönetmeliğin hazırlanması,
b) Bu yönetmelikte yer alan hususların nasıl uygulanacağını iyi bilen yetişmiş ve kaliteli elemanların varlığı gereklidir. Bu cümleden olmak üzere, şahsi fikrim olarak yapılması gereken işleri şöyle sıralamak mümkündür:

1- Konu ile ilgili bir komisyon teşkil edilmelidir.
2- Bu komisyonun hazırlayacağı rapor, bütün ilgili tarafların katılacağı, en az bir gün süreli bir toplantıda enine boyuna tartışılmalıdır.
3- Bu rapor çerçevesinde;

- Ülkemizdeki terk edilmiş maden sahaları, adet cins ve yer olarak ve çevre ile ilişkileri bakımından incelenip tespit edilmesinin ana esasları belirlenmelidir.
- Maden kapama ve çevre düzenleme olayı daha basit esaslara bağlanarak yasal düzenleme yenilenmelidir.

- Mümkünse uygulamadan sorumlu tek bir makam olmalı ve onun içi çeşitli uzmanlarla doldurulmalıdır.
- "*Madencilik sonrası çevre düzenlemesi ile ilgili projenin yapılması ve öngörülen uygulamaya ait gerçekçi bir masraf tespiti*" uzmanlık isteyen bir iştir. Bu işi yapacak kişi veya kurumların akredite olması gerekir.
- Madencilik sonrası çevre düzenlenmesi için alınacak mali teminat şekillerine ait esaslar tespit edilip belirtilmelidir. Dikkat edilecek husus, teminat miktarının, ne madencinin taşıyamayacağı kadar fazla, ne de rehabilitasyon masraflarını karşılayamayacak kadar düşük olmasıdır.

Kısaca belirtmek gerekirse, bütün dünyada ve bizde, madeni çalıştırıp rezervi tükettikten sonra, eskiden yapıldığı şekilde, her şeyi olduğu gibi bırakıp gitmek devri artık kapanmıştır. Madencilerimizin bu hususu göz önünde bulundurmalarında yarar vardır. Cemiyetin çok hassas olduğu bir konuda özenli davranarak, zaten çok güç şartlarda icra edilen bu mesleğin hak ettiği onuru görmesini sağlamak hepimizin boynunun borcu olmalıdır.

TEŞEKKÜR

Bu tebliği hazırlarken kullandığım Türkçe belgeleri veren, İTÜ Maden Fakültesi Dekanı sayın Prof.Dr. Cengiz KUZU'ya, tebliği bilgisayarda yazım kurallarına göre düzenleyen Araştırma Görevlisi sayın Olgun ESEN'E ve bu uyarlama işinde eksik kalan kısımları gideren Sempozyum Organizasyon Kurulu'na teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Australian Goverment, 2006. Minimise the Potential Environmental Liability-Mine Closure and Completition Handbook.

Armbruster, S., 2016. Major tailings dam spills at Solomon Islands 'disaster' gold mine-SBS News, http://www.sbs.com.au/news/article/2016/04/08/major-tailings-dam-spill-solomon-islands-disaster-gold-mine.

Bale, R., 2014. The Problem with America's Abandoned Mines, https://www.revealnews.org/article-legacy/the-problem-with-americas-abandoned mines/

Brad Plumer, B., 2015. How the EPA Managed to Spill 3 Millions of Gallons of Mining Waste into a Colorado River (from abandoned Red and Bonita Mines in Silverton), Vox.

Buck, S., Gerard, D., 2001. Cleaning Up Mining Waste-Political Economy Research Center.

Clarke, C., 2015. 10 California Mine Disaster Worse Than August Spill in Colorado-August.

Corpwatch Report, 2007. Barrick's Dirty Secret-Annual Report.

Clark, A. J., Clark, J. C., 2000. An International Overview of Legal Framework for Mine Closure.

Dondo, S. J., 2014. Financial Assurance for Mine Closure : A Regulatory Perspective from the Argentine Contect.

EPA Australia, 2015. Guidelines for Preparing Mine Closure Plans.

Ismi, A., 2015. Canadian Mining Companies Destroy Environment and Community Resources in Ghana-Mining Watch Canada.

ICMM, 2005. Financial Assurance for Mine Closure and Reclamation.

Kazaz, C., Boucher, A.C., 2013. Quebec to Increase Financial Guarantee Requirements for Mine Restoration.

Lyon, J. S., Hillard, T. J., Bethell, T. N., 1993. Burden of Gilt. Mineral Policy Center Report.

Miller, G. G., 2005. Financial Assurance for Mine Closure and Reclamation.

Moskowitz, P., 2014. Tailings Ponds Are the Biggest Envionmenttal Disaster You've Never Heard of August.

Mathisen, K., 2015. EPA says it isn'nt monitoring an estimated 161 000 abandoned mines. Environment-The Guardian.

Newland Bowker, L., Chambers, D., 2015. Catastrophic Mine Waste Spills İncreasing in Frequency,Severity and Cost Worldwide-Earthwork-July.

Samarin, A., 2014. What Happen When A Mine Closes?, Minig and the Environment, https://www.thermofisher.com/blog/mining/mining-and-the-environment-what-happens-when-a-mine-closes/.

Swart, E., 2003. The South African Legislative Framework For Mine Closure-October.

Slight, M., Lacy, H., 2015. Managing and Estimating Closure and Reclamation Liabilities-A Practitioner's View.

Olivari, A., 2014. Financial Assurance for mine Closure in Chile, National Geological and Mining Survey, Chile.

Page, S., 2015. Abandoned Mines Leaks Million of Gallons of Bright Orange Toxic Water into a Colorado River-Climate Reporter.
Riccardi, N., 2015. Thousands of Mines Underneath the US West Are Filled With a ToxicStew.

Van Zyl, H., Bond-Smith, M., Minter, T., Botha, M., Leiman, A., 2012. Financial Provisions for Rehabilitation and Closure in South African Mining, University of Capetown, A report.

UNEP, 2001. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME 2001, Annual Evaluation Report Evaluation and Oversight Unit.

A CASE STUDY OF MONITORING METAL POLLUTION AROUND THE ABANDONED TUNGSTEN MINE WORK: A MILESTONE IN PHYTOREMEDIATION AND PHYTOMINING

TERKEDİLMİŞ TUNGSTEN MADENİ ÇEVRESİNDE METAL KİRLİLİĞİNİN İZLENMESİNE DAİR ÖRNEK ÇALIŞMA: FİTOREMEDİASYON VE FİTOMADENCİLİKTE KİLOMETRE TAŞI

Hülya ARSLAN[1*], Ümran SEVEN ERDEMİR[2], Gürcan GÜLERYÜZ[1], Şeref GÜÇER[2*]

1: Uludag University, Department of Biology, Bursa, TURKEY

2: Uludag University, Department of Chemistry, Bursa, TURKEY

*: Corresponding Authors: arslanh@uludag.edu.tr, sgucer@uludag.edu.tr

ABSTRACT: Screening of accumulator plants is the key step for phytoremediation and phytomining. In this study, native species from Uludağ Mountain were investigated from the abandoned tungsten mine for this purpose. Different plant species such as *Anthemis cretica*, *Trisetum flavescens, Marrubium astracanicum*, *Plantago holosteum, Dianthus leucophaeus,* and *Erysimum pulchellum* were studied. In this context, accumulation coefficient and translocation factors for tungsten were evaluated through analyzing the soil and plant samples by inductively coupled plasma-mass spectrometry. The results were outlined according to the needs of mining industry. Achieved results indicate that *M. astracanicum* can be regarded as the most suitable candidate for accumulation among other investigated species.

Keywords: Abandoned tungsten mine, ICP-MS, Hyperaccumulator, Phytoremediation, Phytomining

ÖZET: *Akümülatör bitkilerinin taranması, fitoremediasyon ve fitomadencilikte en önemli adımlardan biridir. Çalışmamızda bu amaç doğrultusunda Uludağ'da terk edilmiş tungsten madeni çevresinde yayılım gösteren bazı yerli bitki türleri incelenmiştir. Çalışınan bitki türleri olarak Anthemis cretica, Trisetum flavescens, Marrubium astracanicum, Plantago holosteum, Dianthus leucophaeus ve Erysimum pulchellum seçilmiştir. Bu bağlamda, toprak ve bitki örnekleri indüktif eşleşmiş plazma-*

kütle spektrometresi ile analiz ederek tungsten için birikim katsayısı ve taşınım faktörleri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, madencilik endüstrisinin ihtiyaçlarına göre irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlar M. astracanicum'un diğer araştırılan türler arasında birikim açısından en uygun aday olarak görülebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Terkedilmiş tungsten madeni, ICP-MS, Hiperakümülatör, Fitoremediasyon, Fitomadencilik*

1. INTRODUCTION

Tungsten (W) is an important heavy metal with many industrial, household, scientific and especially military applications (Strigul et al., 2005; Adamakis et al., 2010). Although it may found in small concentrations in nature ranges from 0.4 to 5 mg kg^{-1} in non-contaminated soils (Datta et al., 2017), industrial activities such as mining may increase its concentrations significantly (Strigul et al., 2005; Güleryüz et al., 2016). Furthermore, W has been identified as an emerging contaminant recently by the Environmental Protection Agency (Datta et al., 2017).

Phytoremediation and phytomining have ecological importance for green technologies nowadays. Phytoremediation is an effective, low cost and preferred method that may be defined as using proper plant species for the clean-up of metal-contaminated sites (Akpınar et al. 2015; Perez-Sirvent et al., 2017). It has been successfully used in degraded areas as a green filter providing cheap and efficient technological problem solving for environmental problems (Perez-Sirvent et al., 2017). Phytomining, on the other hand, refers to grow a hyperaccumulator plant to recover the extracted metal (Brooks et al., 2001). Hyperaccumulator term, in this context point out plant species that are able to accumulate abnormal concentrations of metals in their tissues (Keeling et al., 2003). Thus, phytoremediation/phytomining is based on the heavy metal accumulation capacities of natural plant species especially in their above ground organs. The major criteria for screening the candidate plant species for phytoremediation/phytomining is to determine the transportation of heavy metals which are taken up by roots and transport to the shoots. This term is is called as translocation factor (TF) and calculated by dividing the total element content in the shoots by the total element content in roots (Brooks, 1998). In addition to phytoremediation/phytomining another terminology, agromining, were also used instead of phytomining which refers

also growing hyperaccumulator plants as a crop, harvesting biomass, drying, ashing and processing to recover target metals (van der Ant et al., 2015).

Mining activities, may be sources of metal contamination in the environment (Koz, 2014). The abandoned Etibank Wolfram mine work on Uludağ Mountain is one of the main source of environmental pollution in Bursa-Turkey. Numerous papers have been published related to this area by our research group using *Anthemis cretica*, *Trisetum flavescens* and *Plantago holosteum*, etc. plant species and their soils to clarify their metal accumulation and transportation capabilities (Güleryüz et al., 2016; Güleryüz et al., 2002; Erdemir et al., 2017; Arslan et al., 2017; Seven Erdemir 2017). In this study, these plant species with their potential for phytoremediation and/or phytomining purposes were reviewed and an overall assessment was introduced depending on the obtained data by inductively coupled plasma-mass spectrometry.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1 Study area

The study was carried out around the Etibank Tungsten Mine Work at Uludağ Mountain in Turkey. The ore was concentrated to the content of 40 % tungsten oxide (WO3), and concentrated magnetite and pyrite by-products were generated (Güleryüz et al., 2002). The mine work lies on the region covered by granitic and calcareous rocks on the north and south slopes, respectively [15] with the calcareous structure at the upper altitudes and the granite structure at the lower altitudes. The waste removal pools (WRP) and waste canals were constructed on the granite substratum. The vegetation in the area is composed of *Juniperus communis*-dwarf shrub, *Plantago holosteum* and *Plantago atrata*-mat, and *Nardus stricta*- meadow communities that were dominant in the sub-alpine belt. Hard cushion communities, such as *Festuca cyllenica*, *Festuca punctoria*, and *Acantholimon ulucinum*, were dominant in the alpine belt of Uludağ Mountain (Rehder et al., 1994). The other details were given elsewhere (Erdemir et al., 2017).

Sample sites and sampling

The selected plant species such as *Anthemis cretica*, *Dianthus leucaphaues, Erysimum pulchellum*, *Marrubium astracanicum*, *Plantago holosteum* and *Tristeum flavescens* were collected from study area. Three sample sites were selected from this site. Two of

them (Site I and II) were enough far away from abandoned mine site assuming unpolluted areas. The third site (Site III) was selected on polluted waste removal pools constructed on the granite substratum. Soil and plant samples were taken from three different places at each sampling site.

2.2 Analysis

Soils samples were sifted with a standard 2-mm sieve and then dried in air. Plant parts were separated carefully, washed, and then were dried in an oven until their weights become constant. Dried samples were grounded for analysis. Elan 9000 inductively coupled plasma–mass spectrometry (ICP-MS) (PerkinElmer SCIEX, Shelton, CT, USA) was used for the analysis of Mo, and W in the plant parts separately. Perkin-Elmer Ryton cross-flow nebulizer, a Scott-type double-pass spray chamber, a standard glass torch, nickel sampler and skimmer cones (i.d.:1.1 mm and 0.9 mm, respectively) were the components of ICP-MS equipment. Additionally, the optimum instrument conditions were as follows: RF power: 1000 W; plasma argon flow rate: 17.0 L min^{-1}; nebulizer gas flow rate: 0.85 L min^{-1}; sample uptake rate: 1.5 mL min^{-1}; dwell time: 50 ms; scanning mode: peak hopping; and detector mode: dual. The classical open wet digestion procedure was applied to the samples (300-500 mg) with HNO_3 and H_2O_2 in a borosilicate glass vessel. Working solutions for external calibration. Calibration curves were constructed with seven points (5.6–3000 μg L^{-1} for W).

Statistical analyses were carried out using the Statistica 5.0 software package. The differences among the sampling sites regarding the TF of the plants were tested by one-way ANOVA. Tukey's HSD test was used to determine the differences among the sample sites. All tests were analyzed using a significance level of 0.05.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Different parameters were introduced for defining the hyperaccumulator plants. For example, Brooks (1998) suggested that TF is useful for determining accumulator/hyperaccumulator plant species. The strategy of this work focused on the selection of hyperaccumulator species spread around abandoned W mine. For this reason plant species and soils were analyzed according to their W contents by ICP-MS.

Achieved W content in the plants and soils were outlined in Table 1. There were significant differences among the sample sites regarding to W content in the soils ($P<0.05$). W contents varied in a wide range that reached up to 2117 ± 131 mg kg^{-1} dry weight (DW) (Table 1). In generally, determined values were above the tungsten limits which were reported as 0.4-5 mg/kg dry weight for unpolluted soils by Kabata-Pendias (2010). These results indicate W contamination problem which is caused by mining activity. A wide variation in soil samples was observed for *Marrubium astracanicum* which was approximately 683-fold higher than that of unpolluted site, I (Table 1).

Table 1. The mean W values (mg kg_{dw}^{-1}) of examined plant species and their soils collected from unpolluted sites (sites I and II) and the mine waste pool (site III, polluted) around tungsten mine work

Species		Sample sites			AC
		I (unpolluted)	II (unpolluted)	III (waste removal pool)	
A. cretica	Plant	$10^{b} \pm 3$	$2.7^{b} \pm 1.5$	$64^{a} \pm 33$	10
	Soil	$61^{b} \pm 13$	$27^{b} \pm 9$	$1379^{a} \pm 672$	
D. leucophaeus	Plant	$1.07^{b} \pm 0.27$	$0.99^{b} \pm 0.28$	$11^{a} \pm 2$	11
	Soil	$70^{b} \pm 18$	$79^{b} \pm 1$	$2027^{a} \pm 90$	
E. pulchellum	Plant	$9.6^{b} \pm 0.9$	$2.37^{b} \pm 0.81$	$206^{a} \pm 124$	34.3
	Soil	$90^{b} \pm 26$	$55^{b} \pm 16$	$883^{a} \pm 178$	
M.astracanicum	Plant	$1.51^{b} \pm 0.41$	$0.95^{b} \pm 0.14$	$408.^{a} \pm 62$	331
	Soil	$3.1^{b} \pm 0.7$	$10^{b} \pm 1$	$2117^{a} \pm 131$	
P. holosteum	Plant	$0.58^{b} \pm 0.18$	$1.16^{b} \pm 0.22$	$85^{a} \pm 16$	98
	Soil	$5.9^{b} \pm 0.7$	$28.8^{b} \pm 0.0$	$2591^{a} \pm 112$	
T. flavescens	Plant	$5.2^{b} \pm 1.6$	$6.8^{b} \pm 2.1$	$42.8^{a} \pm 15$	7
	Soil	$32^{b} \pm 8$	$43^{b} \pm 16$	$1093^{a} \pm 224$	

The variation tendency of W contents was similar for all plant species via soil contents. The highest W levels were determined in samples collected from waste removal pools (Table 1). This means that all examined species have ability to uptake and accumulate W by possible detoxifying mechanism. When compared results with the threshold level of tungsten which was reported for plants growing unpolluted soils (<0.1 mg kg^{-1}) (Rodushkin et al., 1999; Wilson and Pyatt, 2009) it could be mentioned that all plant species taken from the polluted site have capability to accumulate W. According to Rascio and Navari-Izzo (2011) hyperaccumulator plants have TF values that are higher than 1 this limit indicate the translocation ability of metal ions from roots to shoots. Calculated translocation factors (TFs) for W that was shown in Table 2, support the accumulation property of studied species. Additionally, accumulation coefficient (AC) values were calculated by dividing the plant W concentration growing on polluted

area to that of unpolluted (taking average of two unpolluted sites) area. These coefficients were also outlined in Table1. Accumulation coefficients and translocation factors indicate that *M. astracanicum* can be regarded as the most suitable candidate among others in terms of accumulation capability.

Table 2. The mean TF values for tungsten in examined plant species collected from unpolluted sites (sites I and II) and the mine waste pool (site III, polluted) around tungsten mine work

	Sample Sites		
Species	**I** (unpolluted)	**II** (unpolluted)	**III** (waste removal pool)
A. cretica	1.2 ± 0.6	7.7 ± 3.8	5.9± 3.7
D. leucophaeus	13.6 ± 7.5	3.7 ± 2.4	1.9 ± 0.4
E. pulchellum	2.3 ± 0.6	7.0 ± 2.9	8.9 ± 2.3
M. astracanicum	17.7 ± 5.6	0.9 ± 0.1	35 ± 7
P. holosteum	18 ± 18	91 ± 60	2.3 ± 0.4
T. flavescens	2.4 ± 0.8	6.2 ± 3.4	4.1 ± 1.5

4. CONCLUSION

Van der Ent et al. (2015) suggested that the Eurasian region, particularly Albania and Turkey, have suitable phytomining crops and soils. Thus, Turkey has a rich plant diversity and the flora of serpetine areas that contribute the important part of this diversity. This biodiversity can also help to screen proper candidates for agromining studies. Although the evaluation based on TF values as applied in this study is important to clarify any species as an accumulator plant, biomass of plants have to be determined to progress the agromining aspects. There is still much to learn about synergetic/antagonistic effects of elements in soil and plants that will require the multi elemental determinations to evaluate the natural stress conditions. Additionally, many other environmental factors such as mychorizae may offer new perspectives to reduce stress factors in plants that will be important for agromining purposes. Thus, further ecological and agricultural techniques needed to be studied for detailed phto-farming purposes.

REFERENCES

Adamakis, I.-D. S., Panteris, E., Eleftheriou, E.P., 2010. Tungsten affects the cortical microtubules of *Pisum sativum* root cells: experiments on tungsten–molybdenum antagonism. Plant Biology, 12:114-124.

Akpinar, A., Arslan, H., Guleryuz, G., Kirmizi, S., Erdemir, U.S., Gucer, S., 2015. Ni-induced Changes in Nitrate Assimilation and Antioxidant Metabolism of *Verbascum olympicum* Boiss.: Could the Plant be Useful for Phytoremediation or/and Restoration Purposes?. International Journal of Phytoremediation, 17: 546-555.

Arslan, H., Erdemir, U.S., Güleryüz, G., Kiazolu, H., Güçer, S., 2017. Assessment of Trace Elements in *Plantago holosteum* Scop. (Plantaginaceae) from Abandoned Tungsten Mine Work Using Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. Analytical Letters, in press, DOI: 10.1080/00032719.2017.1308374.

Brooks, R.R., 1998. Plants that hyperaccumulate heavy metals: their role in phytoremediation, microbiology, archaeology, mineral exploration and phytomining. CAB International, Wallingford, p 379.

Brooks, R.R., Robinson, B.H., Howes, A.W., Chiarucci, A., 2001. An evaluation of Berkheya coddii Roessler and Alyssum bertolonii Desv. for phytoremediationand phytomining of nickel. South African Journal of Science, 97: 11-12.

Datta, S., Vero, S.E., Hettiarachchi, G.M., Johannesson, K., 2017. Tungsten Contamination of Soils and Sediments: Current State of Science. Current Pollution Reports, 3: 55-64.

Erdemir, U.S., Arslan, H., Guleryuz, G., Gucer, S., 2017. Elemental Composition of Plant Species from an Abandoned Tungsten Mining Area: Are They Useful for Biogeochemical Exploration and/or Phytoremediation Purposes?. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 98: 299-303.

Guleryuz, G., Arslan, H., Kirmizi, S., Gucer, S., 2002. Investigation of influence of tungsten mine wastes on the elemental composition of some alpine and subalpine plants on Mount Uludag, Bursa, Turkey. Environmental Pollution, 120: 707-716.

Guleryuz, G., Erdemir, U.S., Arslan, H., Gucer, S., 2016. Elemental composition of *Marrubium astracanicum* Jacq. growing in tungsten-contaminated sites. Environmental Science and Pollution Research, 23: 18332-18342.

Kabata-Pendias A., Mukherjee A.B., 2007. Trace elements from soil to human. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Keeling, S.M., Stewart, R.B., Anderson, C.W.N., Robinson B.H., 2003. Nickel and Cobalt Phytoextraction by the Hyperaccumulator *Berkheya coddii*: Implications for Polymetallic Phytomining and Phytoremediation. International Journal of Phytoremediation, 5:235-244

Ketin, I., 1983. Türkiye jeolojisine genel bakış. T.C. İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, Sayı 1259, pp.20-22.

Koz, B., 2014. Energy-dispersive X-ray fluorescence analysis of moss and soil from abandoned mining of Pb-Zn ores. Environmental Monitoring and Assessment, 186: 5315-5326.

Krisnayanti, B.D., Anderson, C.W.N., Sukartono, S., Afandi, Y., Suheri, H., Ekawanti, A., 2016. Phytomining for Artisanal Gold Mine Tailings Management. Minerals, 6, Article Number: 84.

Perez-Sirvent, C., Hernandez-Perez, C., Martinez-Sanchez, M.J., Garcia-Lorenzo, M.L., Bech, J., 2017. Metal uptake by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration. Journal of Soils and Sediments, 17: 1384-1393.

Rascio, N., Navari-Izzo, F., 2011. Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? Plant Science 180 (2011) 169-181.

Rehder, H., Gökçeoğlu, M., Gebauer, G., Güleryüz, G., 1994. Die Vegetation des Uludağ -Gebirges (Anatolien). Phytocoenologia 24: 167-192.

Rodushkin, I., Ödman, F., Holmström, H., 1999. Multi-element analysis of wild berries from northern Sweden by ICP techniques. The Science of Total Environment 231:53-65.

Seven Erdemir, U., 2017. Development of sample preparation strategy for the determination of tungsten in soil samples by inductively coupled plasma-mass spectrometry using a response surface methodology. Turkish Journal of Chemistry, 41: 354-369.
Strigul, N., Koutsospyros, A., Arienti, P., Christodoulatos, C., Dermatas, D., Braida, W., 2005. Effects of tungsten on environmental systems. Chemosphere, 61: 248-258.

van der Ent, A., Baker, A.J.M., Reeves, R.D., Chaney, R.L., Anderson, C.W.N. et al., 2015. Agromining: Farming for Metals in the Future?. Environmental Science and Technology, 49: 4773-4780.

Wilson, B., Pyatt, F.B., 2009. Bioavailability of tungsten and associated metals incalcareous soils in the vicinity of an ancient metalliferous mine in the Corbières Area, southwestern France. Journal of Toxicology and Environmental Health A 72:807-816.

MANAGEMENT OF MINE CLOSURE
MADEN OCAĞI KAPATILMASI YÖNETİMİ

K. ADAM*, M. XENARIOS, G.N. PANAGIOTOU

National Technical University of Athens, School of Mining Engineering & Metallurgy, GREECE

*: Corresponding author: katadam@metal.ntua.gr

ABSTRACT: This article presents a summary of the best available techniques employed by the extractive industry so that the end of the mine life cycle meets the principles of sustainable development. The key points derived from the review of mine closure guidelines applied in countries with significant mineral raw materials production and comprehensive environmental regulations are summarised. International practices clearly document that for a sustainable closure and rehabilitation scheme, these issues need to be considered from the earliest stages of mine planning and before any operation commences, taking into account the views of public consultation.

The methodology for developing a mine closure plan, alongside with the relevant mining stages is presented, demonstrating that closure planning is an ongoing process, developed throughout the mine life cycle. A period of environmental monitoring is allowed for the after closure and reclamation period to ensure that the rehabilitation goals have been met. The provision of financial guarantee by the mining company and the cooperation with stakeholders consist integral components for a successful mine closure.

Keywords: Mine closure methodology, Mine reclamation.

ÖZET: *Bu makale, madencilik döngüsü'nün sürdürülebilir kalkınma ilkelerine uygun olarak sonlandırılmasına uygun olacak şekilde kazı endüstrisinde uygulanan mevcut en iyi tekniklerin bir özetini sunmaktadır. Önemli mineral hammaddelerinim üretildiği ülkelerde uygulanan maden ocağı kapama esaslarının üzerine yapılan derlemelerden çıkarılan ana noktalar ve kapsamlı çevresel düzenlemeler özetlenmiştir. Uluslararası uygulamalar, sürdürülebilir bir maden ocağı kapama ve rehabilitasyon süreci için gereken bütün işlemlerin, maden planlamasının en başında ve herhangi bir üretim*

sürecinin başlamasından önce, kamu yararını da dikkate alarak yapılması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Maden ocağı kapatılma planı geliştirme metodolojisinin, ilgili madencilik aşamalarının yanı sıra, kapatılma planlamasının maden ömrü boyunca devam eden ve geliştirilen bir süreç olduğu belirtilmiştiri. Çevresel izleme dönemi, Rehabilitasyon hedeflerine ulaşıldığını ortaya koymak için maden ocağı kapandıktan sonra arazi ıslah aşamasında sürdürülür. Madencilik şirketi tarafından mali teminat verilmesi ve paydaşlar ile işbirliği, başarılı bir maden kapanışı için ayrılmaz bileşenleri içermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Maden ocağı kapama metodolojisi, Maden sahası ıslahı*

1. INTRODUCTION

According to TEKES, 2008 mine closure is described as the "Permanent cessation of mining operations and all subsequent activity related to decommissioning and site rehabilitation or monitoring".

Successful closure, with minimal residual risk depends on setting from the very early stages of the mine life, continually reviewing and validating and finally meeting closure goals that align with the company and stakeholder requirements, (ICMM, 2008), as well as the prevailing legal framework.

Mine closure consist an important stage of the mine life, and its long term environmental footprint, since nowadays it is widely recognized that the future of the mining industry is dependent on the legacy it leaves, (Australian Government, DITR.2006). Moreover, as underlined in the NOAMI Report, 2010, "Closure plans is a "must require" for jurisdictions wishing to have a sustainable mining philosophy and which do not want to have any further accrual of abandoned mining hazards.."

Factors contributing in the cessation of mining activities are associated not only with the depletion and exhaustion of mineable reserves, but with other unexpected conditions including deterioration in geological conditions, adverse environmental impacts stemming from the mining activities, changes in market conditions and other economic factors including the financial (non) viability of the company, and adverse political conditions (UNEP 2005). Thus, in the present article the methodology for developing a Mine Closure Plan, alongside with the relevant mining stages is presented,

demonstrating in agreement with internationally reported Best Available Techniques that closure planning is an ongoing, multi parametric process, developed throughout the mine life cycle.

2. DEVELOPMENT OF MINE CLOSURE PLAN

2.1 Closure Objectives

The general objectives of mine closure include, UNEP 2005, TEKES 2008, BREF 2009, include:

- Protection of Human health
- Physical and chemical stability and safety of structures left in place at the mine site
- Biological stability, i.e.. natural rehabilitation of a biologically diverse, stable environment, with the minimum after care needs
- Protection of the hydrological and Hydrogeological environment
- Optimization of the ultimate land use and its compatibility with the surrounding area and the requirements of the local community
- Guarantee of adequate funds for closure
- Consideration of the needs of the local community, minimization of the socio-economic impact of closure, and optimization of local opportunities.

These objectives are then further developed during the different stages of the mine life-cycle, i.e. Exploration, Feasibility Assessment, Design & Planning, Construction, Operation, Decommissioning, Closure, and Reclamation. These objectives are specified in the corresponding mine facilities including Exploration sites, Surface and/or Underground Mines, Processing plants, Mine waste and tailings management facilities, Workshops and maintenance buildings, Water storage and water treatment facilities, Office buildings, (Western Australia Government, 2015, Xenarios, 2017).

2.2 Tools used in Mine Closure Plan

At the respective stages of the mine life the Mine Closure Plan is developed and modified accordingly using tools covering the social, economic and environmental aspects. Thus, and within the framework of sustainable development and the prevailing environmental legislation, these tools include:

- Identification of prevailing legal framework

- Stakeholders engagement plan
- Collection, Recording and Evaluation of Environmental monitoring data, including base line, upstream and downstream the mine site
- Assessment of potential Impacts on the natural, social and cultural environment
- Risk and Opportunities Assessment
- Goal setting-Final land use-Best Available Techniques-Success Criteria
- Closure Cost estimate-Financial guarantee
- Post closure Monitoring and Maintenance- Biodiversity Management

According to the guidelines developed by various international organizations (Australian Government, 2005, UNEP 2005, ICMM 2008, BREF 2009, NOAMI 2010, Government of Western Australia 2015), the stakeholders engagement, at the earliest stages of the mine life, is considered pivotal for the development of a successful Mine Closure Plan. Emphasis is placed in final land use selection and the opportunities to be created for the local communities in the post-closure period. The potential groups of stakeholders engaged in the life cycle of a mining project are shown in Figure 1, (Mitchell et al. 1997).

Figure 1. Stakeholder groups for mining & environment

The participation of the public concerned and the role of public consultation in the development, permitting, construction and operation of projects with significant potential environmental and social impacts, such as the mine projects, including the mine closure stage is highlighted in the EU legislation for Environmental Impact Assessment, (Directive 2014/52/EU). Moreover, and as reported in the Environmental Health and Safety Guidelines for Mining of the International Financial Corporation, (IFC 2007), the Mine Reclamation and Closure Plan (MRCP) "should address beneficial future land use (this should be determined using a multi-stakeholder process that includes regulatory agencies, local communities, traditional land users, adjacent leaseholders, civil society and other impacted parties, and be the result of consultation and dialogue with local communities and their government representatives".

3. IMPLEMENTATION OF MINE CLOSURE PLAN

Based on international guideline documents on Mine Closure planning reported in the 21th century, (Australian Government 2005, UNEP 2005, ICMM 2008, BREF 2009, EC 2010, NOAMI, 2010, Government of Western Australia 2015), a summary table was developed within the present study (Xenarios 2017), presenting the dynamic development of the Mine Closure plan at the different stages of the Mine Life cycle.

In Table 1a, covering the stages of exploration, feasibility-due diligence, design and construction, and Table 1b, covering the operation, decommissioning-closure and rehabilitation and the after closure period, the implementation of the tools for the development of a Mine Closure Plan are summarized.

These tables present a general methodology that may be applied to the Non Energy Extractive Industries, including mines and quarries, as well in the lignite and coal mines. Issues to be considered in the early stages of mine planning including the environmental and cultural sensitivity of the wider mine area, and the compatibility of mine development with the prevailing land uses are noted.

Systematic assessment of the qualitative and quantitative characteristics of abiotic natural environment, (soils and water), and biodiversity of the sites upstream and downstream of the mine, at all stages of the mine life, are highlighted.

Table 1a. Development of the Mine Closure Plan throughout the Mine Life Cycle (Exploration to Construction)

PHASES OF MINE LIFE/*TOOLS OF MINE CLOSURE PLAN*	**EXPLORATION**	**DUE DELIGENCE/FEASIBILITY**	**DESIGN AND PLANNING**	**CONSTRUCTION**
1. IDENTIFICATION OF PREVAILING LEGAL FRAMEWORK	Initial assessment of legal framework for exploration activities and mine development	Assessment of legal framework for environmental permitting, mine development. Due dilligence, Compatibility of mining with land uses of the area, NATURA sites, archeological sites	Review of prevailing legal framework, Emphasis on mine stability, water resources protection, biodiveristy, Tailings Management Facility	Legal framework reviewed, compliance updated, impacts on atmospheric environment, noise and vibrations
2.STAKEHOLDERS ENGAGEMENT PLAN	Identification of stakeholders, Development of a socioeconomic database Current land use assessment and initial proposal of end land use options, Determination of stakeholder views and concerns Preliminary consultation on the project Ongoing consultation strategy defined		Proposed end land use options defined and plans for closure discussed. Ongoing consultation strategy is defined further Decisions on stakeholder needs and demands	Proposed end land use options refined and plans for closure discussed. Disturbing activities kept to minimum. Socioeconomic impact of incoming construction workforce in the area assessed
3.COLLECTION, RECORDING AND EVALUATION OF ENVIRONMENTAL MONITORING DATA	Environmental information to be used in rehabilitation and closure planning of the exploration site Waste characteristics and drill hole database	Environmental/Cultural sensitivity assessment (NATURA, RAMSAR sites), Archaeological sites). Focus on geotechnical and hydrogeological properties and stability of facilities. Assessment of key features, i.e. waste landform design /location, quality & quantity of soils and wastes, water characteristics	Database development planning Proposal of rehabilitation options	Ongoing monitoring and database development. Validation and verification of sampling and analysis of materials Environmental baseline data establishment for comparison with undisturbed and rehabilitated areas
4.IMPACT , RISK/OPPORTUNITY ASSESSMENT	Potential increase of geological and mineable ore reserves	Assessment of impacts for mining company,environment and local society Financial risk assessment	Closure based risk assessment (analogies with other projects) and mitigation strategies incorporated into mine design. Risk/ opportunity based on evaluation of closure impacts .	Review of initial risk assessments to ensure mitigation strategies have been implemented appropriately and are working .Emergency plans New risks and opportunities

Table 1a. Development of the Mine Closure Plan throughout the Mine Life Cycle (Exploration to Construction)

PHASES OF MINE LIFE/*TOOLS OF MINE CLOSURE PLAN*	**EXPLORATION**	**DUE DELIGENCE/FEASIBILITY**	**DESIGN AND PLANNING**	**CONSTRUCTION**
			Special emphasis on the risk assessment of potential failure of TMF Cat. A (MWD 2006/21)	identified and assessed
5.GOAL SETTING - FINAL LAND USE - SUCCESS CRITERIA	Rehabilitation of disturbed areas i.e drill holes plugging, sample piles and waste removal, ripping of compacted land	Closure goals under development (Completed for high risk operations) Qualitative Closure criteria Final land use specification in progress	Closure goals advanced to completed, determined on the local circumstances. Facilities designed to facilitate premature closure if necessary. Attention to long-term environmental function. Minimisation of produced wastes, wastes for diposal. Final land use specification almost complete or complete	Closure goals completed (Stakeholders' interests considered, cost-effective closure manner, clear accountability and adequate resources, indicators set, satisfaction of the responsible authority) Success criteria qualitative. Final land use specification almost complete or complete
6.CLOSURE COST ESTIMATE- FINANCIAL GUARANTEE	Initial assessment of financial guarantee	Estimation of financial guarantee	Assessment verified and updated to reflect increased knowledge of the project	Monitoring of construction to commence according to planning and budget

Table 1b. Development of the Mine Closure Plan throughout the Mine Life Cycle (Operation to After closure Period)

PHASES OF MINE LIFE/*TOOLS OF MINE CLOSURE PLAN*	OPERATION	DECOMMISSIONING, CLOSURE AND REHABILTATION	AFTER CLOSURE PERIOD
1.IDENTIFICATION OF PREVAILING LEGAL FRAMEWORK	Legal framework reviewed , compliance updated (regulatory criteria may change over mine life time)	Legal framework reviewed, compliance updated	Transition to approved monitoring system
2.STAKEHOLDERS ENGAGEMENT PLAN	Review of stakeholder engagement plan. Decisions on stakeholder needs and demands Consultation about the upcoming closure period - Plans for closure discussed. Formation of a closure team with a stakeholder engagement plan near the end of the operations phase	Keeping stakeholders updated on the closure process Progressive community and government sign off.	Consultation continues through to relinquishment Proper facility allowance and adjustments for local use (in certain cases)
3.COLLECTION, RECORDING AND EVALUATION OF ENVIRONMENTAL MONITORING DATA	Ongoing monitoring and database development. Continued validation and verification sampling and analysis through operations. Assessment of closure options , progressive rehabilitation and monitoring of rehabilitated areas and operations	Ongoing monitoring of the decommissioning, closure and final rehabilitation process	Monitoring of rehabilitation against approved closure criteria for specified period of time. Emphasis on biodiversity, downstream water quality. Weed control, fire management, grazing and public access control , maintenance of signs and fences
4.IMPACT , RISK/OPPORTUNITY ASSESSMENT	A number of assessment reviews will take place during the mine life. Emergency plans updated Assessment and improvement of health and safety measures and personnel training New risks and opportunities identified and assessed during mine life During preclosure stage the decommission risks should be assessed.	Review of decommission risk assessments New closure risks identified and assessed (especially health /safety and social risks)	Final land use risk assessment Biodiversity and habitats sustainable development Employment opportunities in the post closure period

Table 1b: Development of the Mine Closure Plan throughout the Mine Life Cycle (Operation to After closure Period)

PHASES OF MINE LIFE/*TOOLS OF MINE CLOSURE PLAN*	**OPERATION**	**DECOMMISSIONING, CLOSURE AND REHABILTATION**	**AFTER CLOSURE PERIOD**
5.GOAL SETTING - FINAL LAND USE - SUCCESS CRITERIA	Closure goals completed Criteria updated to quantifiable and reviewed against the outcomes of ongoing analogue monitoring Final land use specification complete	Validation of closure goals per domain. Prevention and mitigation of acid mine drainage, stabilization of steep slopes, maximization of recycling of infrastructure and mine wastes. Monitoring and measuring the performance of closure activities against the quantifiable criteria Final land use specification complete , implementation per domain	Closure goals have been met State of approved final land use
6.CLOSURE COST ESTIMATE- FINANCIAL GUARANTEE	Estimation of the financial value of the equipment During the mine life, the accuracy of closure costing is improving	Validation and verification of initial cost estimations	Funding mechanism that absolves mine , government or society of any ongoing financial burden (e.g. trust fund,post closure bonds)

Parameters to be taken into account from the early stages of the mine life such as the potential for Acid Mine Drainage generation, and measures for its prevention and mitigation measures (Adam 2003), are also noted.

Moreover, and as reported in the EU Environmental legislation, in the Mine Waste Directive, (Directive 2006/21/EU and in the Reference Document of Best Available Techniques (BAT) for Management of Tailings and Waste Rock in Mining Activities (BREF 2009), the closure of the Waste Disposal areas, and the Tailings Management facilities consist major items in Closure and Rehabilitation planning. As reported in BREF 2009, for the closure and after-care phase of tailings ponds, BAT is to construct the dams so that they stay stable in the long term if a water cover solution is chosen for the closure. Closure strategy must ensure that the tailings area is not a source of contamination and risk to the environmental or public health, through erosion, dust ablation, or migration of pollutants in surface waters or groundwater. (Lawrence 2006, TEKES 2008).

Finally, emphasis is placed in the cooperation with the interested parties for the early planning of the post closure period including land use and employment opportunities in all stages of the mine life.

4. CONCLUSIONS

Mine closure planning is an ongoing process, developed throughout the mine life cycle. It is vital that it is initiated in the early stages of the mine life. It is also essential that the mine closure plan allows a period of comprehensive environmental monitoring for the after closure and reclamation period to ensure the rehabilitation goals have been met. The provision of financial assurance by the mining company and the collaboration with stakeholders are integral practices for a successful mine closure. Utilizing the domain model plan, i.e. planning for the different areas of the mine facilities can simplify the management of the facilities.

A global unified risk assessment method can be effective in preventing unwanted results due to the comparison of similar projects. The use of Best Available Techniques in mine closure has been proved to be financially profitable due to the proper management of resources scheme it introduces.

Developing and implementing an integrated closure plan prevents premature mine closure, and in cases that this is inevitable, a plan with goals clearly set from the early stages of the mine life can lead to a more effective closure and reclamation scheme.

REFERENCES

Adam, K., 2003: "Solid Wastes Management in Sulphide Mines: form Waste Characterisation to Safe Closure of Disposals Sites" , Minerals & Energy Vol 18, No 4, 2003, σελ. 25-35.

Australian Government, Department of Industry Tourism and Resources, 2006, "Mine Closure and Completion"

Directive 2006/21/EC on the management of waste from extractive industries and amending Directive 2004/35/EC, OJ EU, L 102/15, 11.4.2006

Directive 2014/52/EU, amending Directive 2011/92/EU on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment, OJ EU, L 124/1, 25.4.2014

EC, 2010, "EC Guidance on undertaking new Non - Energy Extractive Aactivities in accordance with Natura 2000 requirements", 2010»

Government of Western Australia, Department of Mines and Petroleum, Environmental Protection Agency ,2015, "Guidelines for Preparing Mine Closure Plans"

JRC,BREF, 2009: "Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities', January 2009

ICMM, 2008, "Planning for Integrated Mine Closure: Toolkit'

IFC, 2007, "Environmental, Health, and Safety Guidelines Mining", December 2007

Lawrence, D ,2006, "Optimization of Mine Closure Process", Journal of Cleaner Production, 14, 285-298.

Mitchel , K.M et al, 1997, "Toward a Theory of Stakeholder Identification and Salience: Defining the Principle of Who and What Really Counts, The Academy of Management Review, Vol. 22, No. 4 (Oct., 1997), pp. 853-886

NOAMI, 2010, "The policy Framework in Canada for Mine Closure and Management of long term liabilities".

TEKES, 2008, "Mine Closure Handbook - Environmental Techniques for the Extractive Industries"

UNEP, 2005, "Mining for Closure, policies and guidelines for sustainable mining practice and closure of mines"

Xenarios, M. 2017, "Project Management for Mine Closure and Reclamation", Diploma Thesis, School of Mining and Metallurgical Engineering, NTUA.

ÜRETİMİ BİTMİŞ MADEN SAHALARININ POTANSİYEL KULLANIMINA AİT ÖRNEKLER

EXAMPLES OF POTENTIAL USES OF MINE SITES FOLLOWING MINE CLOSURE

Görkem ERTUĞRUL, Yaşar KASAP*

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: yasaroz71@hotmail.com

ÖZET: Yeni dünya düzeninde gelişmişliğin temel göstergesi, gün geçtikçe azalan hammadde ve yakıt ile temiz bir çevre içerisinde insanlık için en yüksek faydanın sağlanmasıdır. İnsan ihtiyaçlarını karşılamakta etkili olan ve yüksek katma değer ile istihdam yaratma kapasitesine sahip olan madencilik sektöründe üretim sırasında ve sonrasında çevreye verilen zararları en aza indirgemek için, bütünsel bir maden işletme ve kapatma planlamasının uygulanması gerekmektedir. Çevre sorunları ülkemizde ancak son 20 yıl içinde ele alınmaya başlanmıştır. Maden sahaları genellikle, yaban hayatını korumaya yönelik olarak veya ormanlık alan olarak düzenlenmektedir. Ancak ekonomik sürdürülebilirlik kavramı, maden kapanış planlarına verilen önemin artmasına sebep olmuştur ve maden işletmelerinin, düzenleyicilerin, arazi kullanım planlamacılarının, yatırımcıların ve vatandaşların maden sahasının en yararlı kullanımını belirlemek için işbirliği yapmalarına yol açmıştır. Dünyanın çeşitli yerlerinde hizmet dışı bırakılmış madenlerin yaratıcı ve başarılı bir şekilde yeniden kullanımı yerel ekonomiye katkıda bulunabilmektedir. Bu çalışmada da üretimi bitmiş maden sahalarının; müze ve eğitim merkezleri, turistik mekanlar, bilimsel merkezler, rekreasyon alanları, bahçeler ve parklar, balık çiftlikleri, tarım arazisi, ormanlık alan olarak kullanımına dair dünyadaki dikkat çekici uygulamalarına yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Madencilik, Çevre, Rekültivasyon, Dünyadaki uygulamalar

ABSTRACT: *In the new World order, the main indication of development is the provision of a clean enironment and the highest benefit for humanity with day after day decreasing raw materials and fuel. In the mining sector, which is cultivated to meet human needs and has a high added value employment generation capacity, a holistic*

mining enterprise and closure planning must be implemented to reduce damage to the environment during an after production. Environmental problems are begin to handled in the last 20 years in the Turkiye. Minefields are generally organized for wildlife protection and wooded areas. However, the concept of economic sustainability and its growing inclusion in mine closure plans has resulted in the colloboration of mining companies, regulators, land-use-planners, investors and citizens to identify the most beneficial use of a mine site. Around the World,creative and successful repurposing of closed mine sites contribute to the local economy. In this study, the repurposing of closed minefields; has placed itself in remarkable practices around the World for its use as museums, education centers, touristic places, scientific centers, recreational areas, gardens or parks, fish farms, agriculture and forest areas.

Keywords: *Mining, Environment, Recultivation, Applications in the World*

1. GİRİŞ

Madencilik sektörü, insan hayatında önemli bir yer tutan ve gelişmiş ülkelerin sahip oldukları refah düzeyine ulaşmalarında etkin rol oynayan faktörlerden biridir. Doğal kaynaklarını etkin bir şekilde kullanan ülkelerin var olan ekonomik güçleri, bu duruma bağlıdır.

Sektörler arasında en yüksek katma değer ve istihdam yaratma kapasitesine sahip olan madencilik sektörü, daha çok kırsal alanlara yakın yerlerde gerçekleştirildiği için kente olan göçü önlemekte ve bölgesel kalkınmayı da hızlandırmaktadır. Bu nedenle gerek ekonomik gerekse sosyal kalkınma politikalarının oluşturulmasında sektöre özel bir önem verilmesi gerekmektedir. Tüketim miktarlarının yüksek olmasına ve günlük yaşamdaki kullanılan birçok eşyanın hammaddesinin madencilikten temin edilmesine rağmen, sektörün önemi yeterince fark edilmiş değildir. Madenciliğin pek çok sektöre doğrudan sağladığı hammadde/girdinin üretilmemesi durumunda, ülke ilave ithalat ile karşı karşıya kalacağından ve bu sektörde çalışan yüzbinlerce kişinin istihdamı engelleneceğinden ülke ekonomisi iki yönlü kayba uğrayacaktır (Ernst&Young, 2011, Kulaksız, 2012, Kasap ve Kırış, 2016).

Madencilik faaliyetleri sırasında ve sonrasında oluşan tahribatı en aza indirgemek için, bütünsel bir maden işletme ve kapatma planlaması uygulamak

gerekmektedir. Söz konusu arazi rehabilitasyon çalışmaları, mutlaka üretim süreci ile aynı zamanda planlanmalı ve uygulanmalıdır (Delibalta, 2012).

Uygun bir maden kapatma ve doğaya yeniden kazandırma planlaması, ancak ekonomik, sosyal ve çevre koruma faktörlerinin dikkate alındığı sürdürülebilir bir yaklaşımla gerçekleştirilebilir. Bunun için gelişmiş ülkelerde Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED), Sosyal Etki Değerlendirmesi (SED) ve maddi taahhüt gibi tüm yasal düzenlemeler uygulanırken, gelişmekte olan ülkelerde ise en yaygın düzenlemeler ÇED ve doğaya yeniden kazandırma çalışmaları uygulanmaktadır (Düzgün, 2010).

Çevre sorunları tüm dünyada geçen yüzyıl ortalarından beri ele alınırken, ülkemizde bu konudaki kanun ve yönetmelikler ancak son 20 yıl içinde çıkartılabilmiştir. Çevre konusu ülkemizde ilk olarak 1982 Anayasası'nın 56. maddesi ile filizlenmiş, 9 Ağustos 1983'de kabul edilen Çevre Kanunu'nun 28. maddesi ile de yasal bir zemine oturtulmuştur. Ülkemizin ÇED olgusu ile tanışması da ilk kez bu Çevre Yasası'nın kabulü dönemine rastlamaktadır (Şimşir vd., 2007).

Madencilik sektörü çevreye verdiği zararlardan ötürü kamusal tepki toplayabilmektedir. İnsanlara, madencilik faaliyetlerinin bir işlemler bütünü olduğunu, bu işlemler bütünü içinde mecbur kalınan bazı durumlarda doğal çevrenin de etki altında kalabileceği, madencilik faaliyetlerinin ardından rekültivasyonun da bu işlemlerin son basamağı olduğu ve rekültivasyon ile madencilik yapılırken etkilenen doğal çevrenin onarılacağı açık ve net bir şekilde anlatılmalıdır. Özellikle, halk bilmelidir ki madenci o arazide geçici olarak bulunmaktadır. Sahayı bulduğu gibi bırakmak veya o bölgedeki ihtiyaçlar doğrultusunda yeniden düzenlemek madencinin yükümlülüğündedir. Bu bilinçle yapılacak faaliyetler ile madencilik konusundaki negatif bazı düşünceler de bertaraf edilmiş olacak ve böylece insanlardaki madencilik algısı daha yapıcı hale gelecektir (Okyay ve Aydın, 2013).

Bu çalışmanın amacı; üretimi bitmiş maden ocaklarının o bölgede yaşayan canlıların ihtiyaçlarını da gözeterek nasıl değerlendirilebileceği konusunda bilgi vermeye çalışmak ve dünyadaki dikkat çeken uygulamalardan örnekler vermektir.

2. MADEN KAPATMA PLANLARI

Bir madenin kapanma planları her madene özgüdür ve maden şirketinin maden alanını nasıl kapatacağı, çevre korumasının nasıl sağlanacağı ve önceden belirlenmiş bir arazi

kullanımı için bölgenin kabul edilebilir bir duruma nasıl geri döndürüleceği ile ilgili ayrıntıları içerir. İyileştirme, ıslah, rehabilitasyon ve restorasyon terimleri, bir sahanın biyolojik ve fiziksel durumunu değiştirmeye çalışan madenin kapatma faaliyetlerini tanımlamak için kullanılmaktadır. Terimler, birbiriyle yakından ilişkilidirler ve bazen birbirlerinin yerine kullanılmaktadırlar. Kavram kargaşasının önlenmesi için dünya literatüründe kullanılan terimlerden ve tanımlardan bazıları aşağıda açıklanmaya çalışılmaktadır;

2.1 İyileştirme

Kirli bölgelerin kirleticileri çıkararak veya izole ederek güvenli bir seviyede temizlenmesini ifade etmektedir. Maden sahalarında iyileştirme, genellikle, mevcut atık depolama tesislerinde kontamine materyali izole etmek, atıklar ve atık kaya yığınlarını temiz üst toprakla kaplamak ve gerektiğinde kirlenmiş maden suyunu toplayıp ıslah etmektir (Anonim, 2016_ 1).

2.2 Rekültivasyon (Reclamation)

Reklamasyonun amacı, araziyi istenilen duruma geri getirmektir. Burada istenilen durumun çok iyi tanımlanması gerekir. İstenilen durum; bazen arazinin orijinal haline geri getirilmesi olabilir veya arazide yeni bir kullanım şeklinin oluşturulması olabilir. Türkçe'de reklamasyona eş anlamlı olarak "rekültivasyon" terimi kullanılmaktadır. Mevcut sosyoekonomik şartlar ne olursa olsun, madencilik alanlarının korunması ve reklamasyonu için dünyanın her yerinde geçerli olan genel ilkeler ana hatları ile şöyledir:

- açık ocak işletmeciliğinin neden olduğu çevre sorunlarının belirlenmesi,
- madencilik faaliyetleriyle bozulan sahanın yeniden düzenlenmesi, iyileştirilmesi, arazi kullanım planlarının hazırlanması ve bunlarla işletmecilik yöntemleri arasında paralellik sağlanması,
- jeolojik, hidrojeolojik, toprak, bitki, meteorolojik, ekonomik ve sosyal koşulların incelenmesi,
- iyileştirmeyi sağlayacak teknik ve sosyal koşulların yaratılması,
- rekültivasyon çalışmalarının detay planlanması ve tasarımı,
- reklamasyonun yasal ve mali konularının belirlenmesi ve işleme konulması,

- bu konuda uzman personelin yetiştirilmesi (Şimşir vd., 2007).

2.3 Restorasyon:

Bozulmadan önce maden sahasında bulunan ekosistemi yeniden inşa etme süreci olarak ifade edilebilir. İngiltere'de minerallerin çıkarılmasından sonra arazinin yeniden kabul edilebilir çevresel şartlarının oluşturulmasına kadar yapılan işlerin tamamı olarak tanımlanırken ABD'de tahrip edilmiş alanın fiziksel durumunu değiştirip işe yararlı hale getirilmesi anlamına gelmektedir. Türkiye'de ise restorasyon, minerallerin çıkarılmasından sonra arazinin yeniden kabul edilebilir çevresel şartlarının oluşturulmasına dek geçen zamanda yapılan karmaşık işlerin tamamı olarak tanımlanmaktadır (Şimşir vd, 2008).

2.4 Rehabilitasyon

İstikrarlı ve kendi kendini sürdüren bir ekosistemin başka bir ifadeyle madencilik başlamadan önce var olan ekosistemin oluşturulmasını ifade etmektedir. Ülkemizde rehabilitasyon madencilik teknikleri kullanılarak arazinin iyileştirilmesi ve düzenlenmesi anlamındadır.

Maden sahalarında güvenlik, istikrar ve çevresel riskleri gözden geçirmek için yapılması gereken teknik denetimlerin, maden kapatma planlarının ve faaliyetlerinin gözden geçirilmesi genellikle profesyonel kişiler, devlet kurumları ve inceleme komiteleri tarafından yapılmalıdır (Anonim, 2016_1; Şimşir, 2008).

3. DÜNYADAKİ ÖRNEKLER

Çevre sorunları tüm dünyada geçen yüzyıl ortalarından beri ele alınırken, ülkemizde bu konudaki kanun ve yönetmelikler ancak son 20 yıl içinde çıkartılabilmiştir. Maden sahaları genellikle, yaban hayatı yaşam alanı veya orman arazisi olarak düzenlenmektedir. Bununla birlikte, yeni ekonomik sürdürülebilirlik kavramı ve maden kapanış planlarına artan oranda dahil olması, maden işletmelerinin, düzenleyicilerin, arazi kullanım planlamacılarının, yatırımcıların ve vatandaşların maden sahasının en yararlı kullanımını belirlemek için işbirliği yapmasına yol açmıştır. Dünyanın çeşitli yerlerinde hizmet dışı bırakılmış madenlerin yaratıcı ve başarılı bir şekilde yeniden kullanımı yerel ekonomiye katkıda bulunabilmektedir. Üretimi bitmiş maden sahaları; müze ve eğitim merkezleri, turistik mekanlar, bilimsel merkezler, rekreasyon alanları,

bahçeler ve parklar, balık çiftlikleri, tarım arazisi, ormanlık alanlar şeklinde kullanılabilmektedir (Anonim, 2016_1).

3.1 Müzeler veya Eğitim Merkezleri

3.1.1 Britannia maden müzesi (Squamish, British Columbia)

Britannia Madeni, yaklaşık 70 (1904-1974) yıl bakır üretimi yapılan Kanada'daki en büyük maden işletmelerinden birisi durumundaydı. Müze, 1975 yılında madencilik faaliyetlerinin tarihini korumak amacıyla British Columbia Madencilik Müzesi olarak açılmıştır. 2010 yılında Britannia Maden Müzesi adını almıştır. Bir çocuk oyun alanı ve müze bulunmaktadır. Bununla birlikte 210 kilometrelik tünelde rehber eşliğinde bir tren turu yapılabilmektedir. Müze içerisinde minerallerin günlük hayatımızdaki önemi, Britannia Madeninin tarihi ve çevresel iyileştirilmesi ile ilgili görüntüler bulunmaktadır (Anonim, 2016_2; 3; 4).

Şekil 1. Britannia Maden Müzesi (Anonim, 2016_5; 6)

3.1.2 Bellevue yeraltı kömür madeni (Crowsnest Pass, Alberta)

Bellevue Yeraltı Kömür Madeni, tarihi bir kömür madenine yapılacak ziyaret için eşsiz bir fırsat sunmaktadır. Bu madende 1903-1961 yılları arasında 13.000.000 tonu aşkın kömür üretilmiştir. Üretilen kömürün büyük kısmı Kanada Pasifik Demiryoluna satılmıştır. Tüm kömür madenlerinde olduğu gibi, metan gazı ve kömür tozu bu maden içinde önemli bir tehlike oluşturmuştur. 1910 yılında yeraltı patlamasında, onlarca kişinin ölümünden sonra gözlenen büyük çaplı grevler sebebiyle 1961 yılında kapatılmak zorunda kalmıştır. 1991'de Bellevue Yeraltı Madeni Turu kurulmuştur ve maden girişinin içinde ve dışında sergilenen eserler ile on yıllarca devam eden maden geçmişi korunmaya çalışılmıştır. Halen deneyimli ve bilgili tercümanlar vasıtasıyla 400

metrelik ocak turunda bu maden ile ilgili bilgi verilmeye çalışılmaktadır (Anonim, 2016_7; 8; 9).

3.1.3 Stara kopalnia (Polonya, Walbrzych)

Güneybatı Polonya'daki eski bir kömür madeni bilim ve sanat merkezi haline dönüştürülmüştür. Maden, 18. yüzyılda kurulmuş ve kömür çıkarma işlemi 1996 yılında durdurulmuştur. 2014 yılında bilim ve sanat merkezinin açılışı yapılmıştır. Bu eski maden dünyaca ünlü uzmanların tasarımıyla turizm, kültür, sanat, öğrenim ve eğitim için eşsiz bir yere dönüştürülmüştür. Burada bulunan müze, sürekli olarak kömür ve madencilik tarihini ortaya koymaktadır ve madencilik hakkında bilgi edinmek isteyen herkes için uygun bir yer durumundadır. Müzede tarihi endüstriyel makinelerin sergilenmesi, sanayinin ve tekniğin tarihine ilgi duyan herkesi büyülemektedir (Anonim, 2016_10).

Dünyada müze olarak değerlendirilen maden işletmelerinin sayısının fazla olması sebebiyle örnek olarak gösterilebilecek madenleri için bir çizelge oluşturulması uygun bulunmuştur (Çizelge 1).

Çizelge 1. Müze olarak değerlendirilen üretimi bitmiş maden ocakları (Anonim, 2016_11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26)

Maden/Müze Adı	Konumu	Üretim Yapılan Yıllar	Üretilen Cevher	Müze Oluş Tarihi
Saint-Etienne Mine Museum	Fransa	1973		1991
Allihies Copper Mine Museum	İrlanda	1812-1962	Bakır	2007
Cliffs Shaft Mine Museum	Michigan, ABD	1868-1967	Demir	2002
Taiwan Coal Mine Museum	Tayvan	1965-1997	Kömür	2001
Yubari Coal Mine Museum	Japonya	1890-1990	Kömür	1980
Guido Mine and Coal Mining Museum	Polonya	1855-1960	Kömür	1982
Serbariu coal mine museum	İtalya	1937-1964	Kömür	2006
Ny-Alesund Town and Mine Museum	Norveç	1916-1963	Kömür	1988
Cercs Mine Museum	Barselona	1911-1999	Kömür	1999
Sterling Hill Mining Museum	New Jersey, ABD	1630-1986	Demir-Çinko	1989
Burra Burra Mine	Tennessee, ABD	1899-1987	Bakır	1988
Wieliczka Salt Mine	Polonya	13. yy - 2007	Tuz	1996
Big Pit National Coal Museum	Güney Galler	1880-1980	Kömür	1983
Geevor Tin Mine	İngiltere	1911-1990	Kalay	2006

3.2 Turistik Mekanlar

3.2.1 Songjiang Madeni ve Otel Çalışması

Çin'in Şanghay kenti yakınlarında bulunan Songjiang Taşocağı Madeninde, yapılan madencilik çalışmalarının sonunda 100 metre derinliğinde bir çukur meydana gelmiştir.

Çinli yatırımcılar bu durumu fırsata çevirerek sahaya bir otel yapmayı planlamışlardır. Rehabilitasyon çalışmalarına verilebilecek en güzel örneklerden biri olan bu çalışma kapsamında 19 katlı olarak yapılması planlanan otelin 16 katı maden çukurunun içinde yer almaktadır. Bir kısmı da su altında olacak otelin 370 odalı olması planlanırken bu turizm alanının 2017 yılında hizmete açılması hedeflenmektedir. Doğal su ve peyzaj özellikleri ile dikkat çeken otelin bazı odaları, 10 metre derinliğinde oluşturulacak akvaryuma bakacaktır. Özellikle su altı restoranları, ortak kullanım alanları, şelaleler, çalışmaların bittiği bir maden ocağında yapılabilecek rekültivasyon çalışmalarına en güzel örneklerden. Üzerine dikilmiş çeşitli ağaçları olacak çevre dostu bir yeşil çatı kullanılarak peyzaj ile harmanlanacak bir yapı tasarlanmıştır (Okyay ve Aydın, 2013; Anonim, 2016_27).

Şekil 2. Songjiang Taşocağı Madeni ve Otel Çalışması (Anonim, 2016_28; 29)

3.2.2 Wieliczka Salt Mine Michal Mine

Polonya'da tuza oyulmuş sanat eserlerine sahip 300 km'lik galeri bulunmaktadır ve UNESCO Dünya Mirası Listesinde yer almaktadır. 13. yüzyılda açılan maden, dünyanın en eski tuz madeni işletmesinden biri olarak 2007 yılına kadar sofra tuzu üretmiştir. Burası küçük karanlık, tehlikeli galerileri olan sıradan bir maden değildir. Burası küçük bir şehir, bir sanat galerisi, iş yeri ve ibadethanedir ve hepsi de tuzdan oyulmuştur (Anonim, 2016_30; 31).

3.2.3 Eden Projesi (Cennet Projesi)

Eden Projesi; İngiltere, Cornwall'deki üretimi bitmiş bir kaolin ocağında yani 15 metre derinliğe sahip ve toprak yüzeyi bile olmayan bir çukurda planlanmıştır. Proje 2001 yılında halka açılmıştır. Dünyadaki en büyük sera alanı olan Eden projesi yeryüzünün

her tarafından toplanmış 3865 bitki türünün sergilendiği yapay biyomlardan (aynı iklim koşullarının yaşandığı ve bunun paralelinde aynı bitki örtüsüne sahip olan geniş coğrafi alanlar) oluşmaktadır. Aynı zamanda eğitim merkezi ve konser alanı olarak kullanılmaktadır.

Şekil 3. Wieliczka Salt Mine Michal Mine (Anonim, 2016_32)

Şekil 4. Eden Projesi (Cennet Projesi) (Anonim, 2016_37; 38; 39; 40; 41)

Yaşam hakkında yeni bir düşünce biçimini sunmak için tasarlanan bu yapı; ekoloji, bilim, sanat ve mimariyi çok başarılı bir şekilde birleştirmektedir. Eski maden ocağı her yıl yüz binlerce ziyaretçiyi sadece bahçeler için değil, sanat sergileri, buz pateni ve Eden Seansları adlı popüler konser dizisi için de ağırlamaktadır. (Anonim, 2016_33; 34; 35).

Nisan 2018'de açılacak olan Eden Projesi oteli, hem ziyaretçiler için konaklama imkanı sunacak, hem de sınıflarında eğitim programları düzenlenecektir. (Anonim, 2016_1; 36)

3.2.4 Zip below xtreme

Zipline, yüksek bir noktadan, alçak bir noktaya bağlanmış çelik halat vasıtası ile emniyet kemeri takarak kendi ağırlığınızla ve yerçekimi yardımıyla kayma aktivitesine denmektedir. Yeraltında kurulan bu tesis Galler'in Snowdonia Ulusal Parkı dağlarının altında 375 metreye ulaşan derinliklerde terk edilmiş bir kayrak (arduvaz=slate) madeninde bulunmaktadır. Mart 2015'te halka açıldığı zaman yeraltındaki 21 metrelik serbest düşüş de dahil olmak üzere, 3 km'lik yol boyunca dünyanın en uzun ve en derin Zip Below Xtreme merkezi olduğu iddia ediliyordu (Anonim, 2016_ 42; 43).

Şekil 5. Zip Below Xtreme (Anonim, 2016_44)

3.2.5 Salina Turda

Salina Turda, 1992 yılında halka açıldığında üretimi bitmiş bir madeni geleneksel olmayan turistik mekanlara çeviren ilk büyük tecrübeydi. Romanya'nın batısındaki Transilvanya'nın kalbinde yer alan bu mekana ulaşmak için bir zamanlar yüzeye tuz çeken asansörler vasıtasıyla 120 metre aşağıya inmek gerekmektedir.

Salina Turda, minyatür bir golf sahası, dönme dolap, bowling salonu ve yer altı göleti gibi ilgi çekici yerleri barındıran bir yeraltı tema parkıdır. Dünyanın en güzel 22'nci yeri seçilmiştir. Ayrıca, ortamda bulunan tuz ve %80'lik nem içeriği sebebiyle doğal olarak oluşan iyileştirici özelliğine sahip bir spa ve sağlıklı yaşam merkezini de barındırmaktadır. 1932 yılında tuz çıkarma işleminin sona ermesinin ardından bu dev maden önce peynir deposu olarak kullanılmıştır. 2. Dünya savaşı yıllarında sığınak olarak değerlendirilmiştir. (Anonim, 2016_42; 45).

3.2.6 Mega Cavern (Mağara)

Kentucky Louisville'deki üretimi bitmiş bir kireç taşı ocağı, eski Soğuk Savaş sığınağı iken son zamanlarda dağ bisikleti parkına dönüştürülmüştür.

Şekil 6. Salina Turda (Anonim, 2016_46)

Louisville Mega Mağarası Şubat ayında halka açıldığında, , dünyanın en büyük kapalı bisiklet parkının adını kolayca almıştır. 33.000 metrekarelik oyun parkında, BMX (Bicycle MotoCross) tarzı atlama kursları ve yeni başlayanlar düzeyinde alternatifler de dahil olmak üzere, 19 kilometreden fazla yolu içeren 45 patika bulunmaktadır.

Mağara; rehberli tramvay turları, zeplin turları, halat dersleri, dağ bisiklet parkı ile depolama, geri dönüşüm ve turizm için kullanılmaktadır.

Mega Mağara, 10 santigrat derece sabit sıcaklığı ile yaz mevsiminde olduğu gibi kış mevsiminde de aynı sıcaklığı korumaktadır (Anonim, 2016_47; 42).

Şekil 7. Mega Cavern (Mağara) (Anonim, 2016_48)

3.2.7 Çankırı Tuz Mağarası

Tuz Mağarası, Çankırı ili, Balıbağı Köyü sınırlarındaki kaya tuzu çıkarılması sonucu oluşmuş bir mağaradır. Tuz yataklarının Hititler zamanından itibaren işletildiği tahmin edilmektedir. Türkiye'nin en büyük tuz rezervlerine sahiptir. Üretimin yapıldığı ve kamyonların dolaştığı galeriler ziyaretçilerin ilgisini çekmektedir. Yer yer tuzdan sarkıtlar ve dikitler oluşmuştur. Mağarada 200 yıl önce tuz yatağına düşerek ölen eşek bozulmadan günümüze kadar kalmıştır.

Tuz Mağarası son yıllarda dünyadaki diğer örnekleri gibi turizme kazandırılmaya çalışılmaktadır. Sağlık turizmine yönelik rehabilitasyon merkezi yapılması düşünülmektedir. Galerilerde tuzdan yapılmış heykeller sergilenmektedir. (Anonim, 2016_49)

Şekil 8. Çankırı Tuz Mağarası (Anonim, 2016_50; 51)

3.2.8 Twisted Gun golf sahası

Batı Virjinya, Gilbert yakınlarındaki Twisted Gun golf sahası, Ağustos 2002'de halka açılmıştır. Üretimi bitmiş bir kömür madeninin üzerine kurulmuş olan golf sahası yaklaşık 2500 dönüm civarındadır (Anonim, 2016_52).

Şekil 9. Twisted Gun golf sahası (Anonim, 2016_53; 54)

3.3 Bilimsel Merkezler

3.3.1 Sudbury Nötrino Gözlemevi

Sudbury Nötrino Gözlemevi, Ontario yakınlarındaki Creighton Madeninde inşa edilmiş 2100 m yer altında bulunan bir nötrino gözlemevidir. Creighton Madeni, Kanada'nın Ontario eyaletindeki Greater Sudbury kentinde işletilen bir yeraltı nikel madenidir. Şu anda Kanada'da en derin nikel madeni durumundadır. Üretim 1901'de başlamıştır ve

Ağustos 2004 itibariyle tahmini olarak yaklaşık 20 yıl rezervi kalmış durumdadır (Anonim, 2016_55; 56).

3.4 Rekreasyon Alanları

3.4.1 Gotland Ring

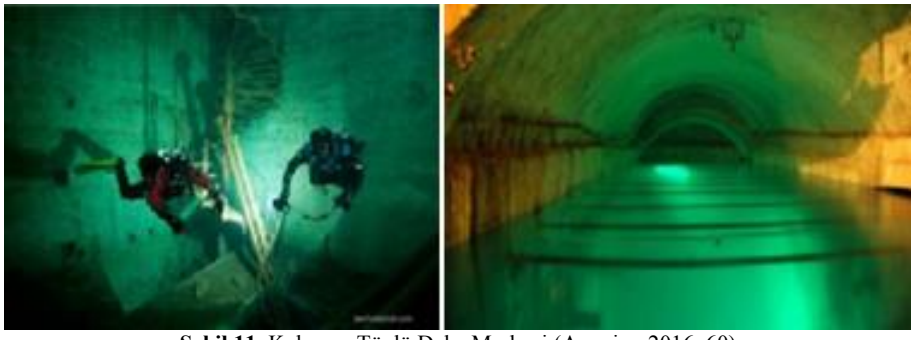
Gotland Ring, İsveç'in Gotland adasında bulunan eski bir kalker taş ocağında yer alan birinci sınıf bir araba yarışı pisti ve sürücü eğitim alanıdır.

Şekil 10. Gotland Ring (Anonim, 2016_57; 58)

3.4.2 Kobanya Tüplü Dalış Merkezi

Kobanya (Budapeşte, Macaristan), sular altındaki bir kireç taşı ocağıdır ve şimdi popüler bir tüplü dalış merkezi haline dönüştürülmüştür.

Madencilik faaliyeti 1890'da bitmiştir. Bundan onlarca yıl sonra malt depolamak ve üretmek için uygun ortam koşullarına sahip olması sebebiyle bira fabrikası kurulmuştur. Büyük kamyonların da girebilmesi için tüneller genişletilmiş ve temiz su ihtiyacını karşılamak için kuyular açılmıştır. Macaristan'da malt üretimi karlı olmaktan çıktığında ise kuyular doldurularak dalış merkezi haline getirilmiştir (Anonim, 2016_1; 59).



Şekil 11. Kobanya Tüplü Dalış Merkezi (Anonim, 2016_60)

3.4.3 Bonne Terre Mine

1870'lerdeki en büyük kurşun madeni, dalış merkezi olarak kullanılmaya başlamıştır. Bonne Terre Madeni 1961 yılında kapanmış ve madendeki her şey olduğu yerde terk edilmiştir. Bugün dünyanın en büyük yeraltı tatlı su dalış mekanı olarak hizmet vermektedir (Anonim, 2016_61; 62)

Şekil 12. Bonne Terre Mine (Anonim, 2016_63)

3.5 Bahçeler veya Parklar

3.5.1 Butchard Gardens

Butchard Gardens (Victoria, British Columbia), beton yapmak için çıkarılan bir kireç taşı ocağıydı. 1909'da üretim bittiğinde aşama aşama ve yıllarca sürecek bir iyileştirme çalışmasıyla günümüze kadar gelmiştir (Anonim, 2016_1; 64).

Şekil 13. Butchard Gardens (Anonim, 2016_64)

3.5.2 Wheal Jane

Cornwall, Birleşik Krallık'taki Wheal Jane madeninde 18. yy ortalarında, ciddi bir kalay üretimi yapılmıştır. Bölgenin kompleks cevher yapısı sebebiyle, arsenik, bakır,

gümüş ve çinko üretimleri de yapılmıştır. Daha sonra bu bölgedeki sulak alanlar eğlence parkurları haline dönüştürülmüştür (Anonim, 2016_65).

3.5.3 Old Dominion Mine Park

1880-1931 yılları arasında bakır üretimi yapılan madenin ıslahı bölge halkı tarafından desteklenmiştir. Hem bu bölgedeki madencilik mirasının teşvik edilmesi hem de bölge halkının ihtiyaçları düşünülerek üretimi bitmiş maden ocağı bir park alanına dönüştürülmüştür (Anonim, 2016_66).

3.5.4 Chenshan Botanik Bahçesi:

Eski ocak sahası, 1950'lerin başından 1980'lerin ortalarına kadar, doğu ve batı taraflarında ayrı ayrı bulunan kazı alanları ile faaliyet göstermiştir. Taş ocakçılığı çalışmaları, Chen Dağı'ndaki manzarayı büyük ölçüde tahrip etmiş ve yüzeysel bitki örtüsünün çoğunu ortadan kaldırmış, büyük toprak kaybına ve yaşam alanının parçalanmasına yol açmıştır. Zarar görmüş bir manzaradan çevre dostu kamusal bir alana geçiş, yenilenmiş taş ocağının yanı sıra çok sayıda ödülü beraberinde getirmiştir.

Şangay'daki en büyük botanik bahçesi olan Chenshan Botanik Bahçesi, meşhur Taşocağı Bahçesi olmanın yanında yanı sıra 9000 farklı bitki ve çiçek türünü, 26 temalı bahçeyi içinde barındırmaktadır. Araştırma, eğitim ve peyzaj güzel bir şekilde entegre edilmiştir.

Şekil 14. Chenshan Botanik Bahçesi (Anonim, 2016_67)

3.5.5 Whangarei Quarry Gardens (New Zealand)

1940'ların sonlarında üretime başlayan taşocağı 1974 yılında meydana gelen şiddetli bir taşkın sonrasında taş ocağı faaliyetleri, şehrin güney ucundaki Otaika'ya taşınmıştır. 1976 yılından itibaren yaklaşık 20 yıl bu alan çöp döküm sahası olarak kullanılmıştır.

Zaman içinde sahayı egzotik ot çeşitleri sarmaya başlamıştır. 1997 yılında saha gönüllüler tarafından temizlenmeye başlanmış ve yıllar sonra ziyarete açılmıştır. (Anonim, 2016_68)

Şekil 15. Whangarei Quarry Gardens (New Zealand) (Anonim, 2016_69)

3.6 Balık Çiftlikleri

3.6.1 AngloGold Ashanti Homase

Gana'daki AngloGold Ashanti Homase madeninin kullanılmayan çukurlarında su ürünleri yetiştirilmeye başlanmıştır. AngloGold Ashanti (Obuasi) sürdürülebilir kalkınma programı kapsamında ilk büyük projedir. Modern su ürünleri yetiştiriciliği uygulamalarında teknolojik yeniliklerin ve bilimsel bilginin kullanılmasının önemini vurgulamak için tasarlanmıştır. Proje, Aralık 2003'te Homase'deki yüzey madenciliği hizmetlerinin bitmesinin ardından maden çıkartılan ocakların yeniden kullanımına ilişkin görüşmelerin bir sonucu olarak doğmuştur (Anonim, 2016_1; 70).

3.7 Tarım

3.7.1 Kimberley Madeni (Güney Afrika)

Kimberley Madenindeki Büyük çukur, istiridye mantarlarının yetiştirilmesi için kullanılmaktadır. Büyük Çukur, 170 000 m²'lik bir alana yayılmış olup derinliği 240 m'dir. Üç ton elmasın çıkarıldığı maden 1871 yılında üretime başlamış 1914 yılında kapatılmış ancak elmas arama faaliyetleri 2005 yılına kadar sürdürülmüştür.

Kimberley elmas madeninin çevresindeki susuzlaştırma tünelinin içerisindeki uygun nem, sıcaklık gibi ortam koşullarından yararlanılarak mantar üretimi yapılmaktadır. İstiridye mantarları, geri dönüştürülmüş plastikten yapılan 300 mm çaplı plastik torbalar üzerinde yetiştirilmektedir (Anonim, 2016_1; 71; 72).

Şekil 16. Kimberley Madeni (Güney Afrika) (Anonim, 2016_73; 74)

3.7.2 Tatum Linyit Madeni

Doğu Teksas'ta Tatum Linyit Madeni, verimli tarım arazileri ve sulak alan bölgelerine geri kazandırılmıştır (Anonim, 2016_1).

3.8 Ormanlık Alan

3.8.1 Türkiye Kömür İşletmeleri

TKİ üretim faaliyetleri tamamlanmış kömür sahalarının yeniden düzenlenip çevreye kazandırılması çalışmalarını kuruluşundan itibaren sürdürmekte olup, 2015 yılı sonuna kadar yaklaşık 4925 hektar Alana 7546320 adet ağaç dikimini gerçekleştirmiştir (TKİ, 2015).

Şekil 17. TKİ, Ege Linyitleri İşletmesi

3.8.2 Magnesit Anonim Şirketi (Eskişehir)

İşletmede cevher üretimi bitmiş bölgelerin doğaya yeniden kazandırılması amacıyla ağaçlandırma çalışmaları yapılmaktadır. Eskişehir Çevre ve Orman Bölge Müdürlüğü ile yapılan çalışmalar sonunda yöreye karaçam, sedir, akasya, mahlep, badem, aylantus, sarı salkım, ahlat, akça ağaç, at kestanesi gibi çok çeşitli ağaç türleri kazandırılmıştır. Ayrıca ağaçlandırılan alanlarda tavşan, tilki, saka vb. kuş türleri de

barınmaya başlamıştır. Cevher rezervi sona erdiğinde içerisinde su sporlarının ve balık avcılığının yapılabileceği yaklaşık 2 km uzunluğunda, 1 km genişliğinde ve 150 metre derinliğinde, çevresi mesire alanı olarak kullanılabilen doğal bir park oluşturulacaktır (Anonim, 2017_75).

Şekil 18. Magnesit Anonim Şirketi (Eskişehir)

4. SONUÇLAR

Ülke ekonomilerinin gelişmesinde ve insanların ihtiyaçlarının karşılanmasında etkili olan en önemli sektörlerden biri madencilik sektörüdür. Ancak madencilik sektöründe uygulanan faaliyetler esnasında ve sonrasında toprak kayıplarına, bitki örtüsü ve topoğrafyadaki değişimlere, ekolojik dengenin bozulmasına sebep olunmaktadır.

Faaliyeti tamamlanmış maden sahalarının yeniden düzenlenmesi ve iyileştirilmesi sahanın işletme öncesi, sırası ve sonrasında yapılması gereken planları ve uygulamaları kapsamaktadır. Yeni ekonomik sürdürülebilirlik kavramı ve maden kapanış planlarına dahil olması, madenlerin yaratıcı ve başarılı bir şekilde yeniden kullanımına ve yerel ekonomiye katkıda bulunabilmesine sebep olmuştur. Bu kapsam çerçevesinde hazırlanan bu makalede üretimi bitmiş maden sahalarının; müze ve eğitim merkezleri, turistik mekanlar, bilimsel merkezler, rekreasyon alanları, bahçeler ve parklar, balık çiftlikleri, tarım arazisi, ormanlık alan olarak kullanımına dair dünyadaki dikkat çekici uygulamalarına ait örnekler incelenmeye çalışılmıştır.

KAYNAKLAR

Ernst&Young, 2011, Dünyada ve Türkiyede Madencilik Sektörü.

Kulaksız, S. 2012, Madencilikte Çevre Yönetimi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Afyon.

Kasap, Y. ve Kırış, Ş., 2016, Development of the Productivity in European Aggregate Production, 8. Uluslararası Kırmataş Sempozyumu, 13-14 Ekim 2016, Kütahya, Türkiye.

Delibalta, M. S., 2012, Madencilik ve Çevre İlişkilerinin Ekonomik Boyutu, Madencilik ve Çevre Yönetimi Semineri, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Afyon.

Düzgün H.S., 2010. Maden Kapatma Planlaması ve Doğaya Yeniden Kazandırmanın Temel İlkeleri (Bölüm 1), Madencilik-Türkiye, Yıl:2, Sayı:11, s. 38-43

Şimşir F., Pamukçu Ç., Özfırat M. K., 2007, Madencilikte Rekültivasyon ve Doğa Onarımı, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 9, Sayı: 2, 39-49 Mayıs.

Okyay V. ve Aydın O., 2013, Madenlerde Saha Düzenlemesi (Rekültivasyon-Rehabilitasyon, Madencilik-Türkiye,s. 64-78

Anonim, 2016_ 1; http://www.miningfacts.org/environment/what-happens-to-mine-sites-after-a-mine-is-closed/

Şimşir F., Köse, H. Ve Pamukçu Ç., 2008, Açık Maden İşletmelerinde Rekültivasyon ve Rekreasyon, Maden Mühendisliği Açık Ocak İşletmeciliği El Kitabı, TMMOB, Maden Mühendisleri Odası.

Anonim, 2016_ 2; https://en.wikipedia.org/wiki/Britannia_Mine_Museum

Anonim, 2016_ 3; http://www.britanniaminemuseum.ca

Anonim, 2016_ 4;

https://www.thestar.com/life/travel/2013/05/23/canada_travel_britannia_mine_museum_a_fine_family_spot_in_british_columbia.html

Anonim, 2016_ 5 ; https://en.wikipedia.org/wiki/File:Britannia_Mine_Museum_2013.JPG

Anonim, 2016_ 6; https://www.tripadvisor.ca/LocationPhotoDirectLink-g678581-d1094435-i153165885-Britannia_Mine_Museum-Britannia_Beach_British_Columbia.html

Anonim, 2016_ 7 ;http://www.bellevuemine.com/history/,

Anonim, 2016_ 8 ;http://www.crowsnestheritage.ca/attractions/bellevue-underground-mine-tours/,

Anonim, 2016_ 9 ;http://hikingwithbarry.com/2011/03/13/bellevue-mine-crowsnest-pass-hiking-alberta

Anonim, 2016_ 10; http://www.starakopalnia.pl/english/

Anonim, 2016_ 11; https://en.wikipedia.org/wiki/Saint-%C3%89tienne_Mine_Museum

Anonim, 2016_ 12; https://en.wikipedia.org/wiki/Allihies_Copper_Mine_Museum

Anonim, 2016_13; https://en.wikipedia.org/wiki/Cliffs_Shaft_Mine_Museum

Anonim, 2016_ 14; https://en.wikipedia.org/wiki/Taiwan_Coal_Mine_Museum

Anonim, 2016_,15; https://en.wikipedia.org/wiki/Y%C5%ABbari_Coal_Mine_Museum

Anonim, 2016_ 16; http://www.showcaves.com/english/jp/mines/Yubari.html

Anonim, 2016_ 17; https://en.wikipedia.org/wiki/Guido_Mine_and_Coal_Mining_Museum

Anonim, 2016_ 18;https://en.wikipedia.org/wiki/Serbariu_coal_mine_museum

Anonim, 2016_19 ;https://en.wikipedia.org/wiki/Ny-%C3%85lesund_Town_and_Mine_Museum

Anonim, 2016_ 20; http://svalbardmuseum.no/en/kultur-og-historie/gruvesamfunn/ny-alesund/

Anonim, 2016_ 21; https://en.wikipedia.org/wiki/Cercs_Mine_Museum

Anonim, 2016_ 22; https://en.wikipedia.org/wiki/Sterling_Hill_Mining_Museum

Anonim, 2016_ 23; https://en.wikipedia.org/wiki/Burra_Burra_Mine_(Tennessee)

Anonim, 2016_ 24; http://twistedsifter.com/2013/04/wieliczka-salt-mine-polands-underground-salt-cathedral/

Anonim, 2016_ 25; https://en.wikipedia.org/wiki/Big_Pit_National_Coal_Museum

Anonim, 2016_ 26; https://en.wikipedia.org/wiki/Geevor_Tin_Mine

Anonim, 2016_ 27; http://www.dailymail.co.uk/news/article-3525219/Chinese-five-star-hotel-built-inside-quarry-100-yards-beneath-ground-level-Shanghai.html

Anonim, 2016_ 28; http://www.chinadaily.com.cn/china/2016-04/07/content_24340942.htm

Anonim, 2016_ 29; https://www.livinspaces.net/projects/architecture/into-the-deep-the-songjiang-quarry-hotel-in-shanghai/

Anonim, 2016_ 30; https://en.wikipedia.org/wiki/Wieliczka_Salt_Mine

Anonim, 2016_ 31; http://www.timetravelturtle.com/2012/04/wieliczka-salt-mine-poland/

Anonim, 2016_ 32;http://twistedsifter.com/2013/04/wieliczka-salt-mine-polands-underground-salt-cathedral/

Anonim, 2016_ 33; http://blog.peyzax.com/blog/2011/10/29/dunyanin-en-buyuk-kapali-bahcesi-eden-projesi/

Anonim, 2016_ 34; http://edition.cnn.com/2015/05/19/travel/abandoned-mines-tourist-attractions/

Anonim, 2016_ 35; https://tr.wikipedia.org/wiki/Biyom

Anonim, 2016_ 36; https://en.wikipedia.org/wiki/Eden_Project

Anonim, 2016_ 37; http://www.edenproject.com/visit

Anonim, 2016_ 38; https://en.wikipedia.org/wiki/File:Eden_Project_geodesic_domes_panorama.jpg

Anonim, 2016_ 39; http://www.edenproject.com/eden-story

Anonim, 2016_ 40; http://www.edenproject.com/visit/whats-on

Anonim, 2016_ 41; https://www.msxlabs.org/forum/mimarlik/336548-peyzaj-projeleri-eden-projesi-eden-project.html

Anonim, 2016_ 42; http://edition.cnn.com/2015/05/19/travel/abandoned-mines-tourist-attractions/,

Anonim, 2016_ 43; https://tr.wikipedia.org/wiki/Zipline

Anonim, 2016_ 44; http://www.go-below.co.uk/zip-below.asp

Anonim, 2016_ 45; http://www.sozcu.com.tr/2016/yasam/boyle-bir-yer-ilk-kez-goreceksiniz-1029346/22?_szc_galeri=1

Anonim, 2016_ 46; http://www.arkitera.com/haber/20405/dunyanin-merkezinde-bir-muze--salina-turda-tuz-madeninde

Anonim, 2016_ 47; https://en.wikipedia.org/wiki/Mega_Cavern,

Anonim, 2016_ 48; https://www.groupon.com/deals/louisville-mega-cavern-16-46

Anonim, 2016_ 49; https://tr.wikipedia.org/wiki/Tuz_Ma%C4%9Faras%C4%B1

Anonim, 2016_ 50; http://www.maden.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=6840

Anonim, 2016_ 51; http://www.balibagi.com/?pnum=28&pt=K%C3%96Y%C3%9CM%C3%9CZ%C3%9CN+TUZ+MA%C4%9EARASI

Anonim, 2016_ 52; http://www.archcoal.com/environment/aftermining.aspx

Anonim, 2016_ 53; http://www.golfadvisor.com/courses/29995-twisted-gun-golf-course/

Anonim, 2016_ 54; http://ohvec.org/twisted-gun-golf-course-mingo-county-wv/

Anonim, 2016_ 55; https://en.wikipedia.org/wiki/Sudbury_Neutrino_Observatory,

Anonim, 2016_ 56; https://en.wikipedia.org/wiki/Creighton_Mine

Anonim, 2016_ 57; http://routeofsweden.com/english/information.html

Anonim, 2016_ 58; http://www.autolife.se/page/78/

Anonim, 2016_ 59; http://www.paprikadivers.com/kobanya-former-stone-mine-and-beer-factory-budapest/

Anonim, 2016_ 60; http://www.aquanaut.hu/english/kobanya-mine-diving/

Anonim, 2016_ 61; https://en.wikipedia.org/wiki/Bonne_Terre,_Missouri,

Anonim, 2016_ 62; http://sehriarslan.blogspot.com.tr/2014/04/dunyanin-en-essiz-skuba-dalis-noktalari.html

Anonim, 2016_ 63; http://www.bonneterremine.com/newpage

Anonim, 2016_ 64; https://en.wikipedia.org/wiki/Butchart_Gardens

Anonim, 2016_ 65; https://en.wikipedia.org/wiki/Wheal_Jane

Anonim, 2016_ 66; http://globeaz.gov/departments/recreation/old-dominion-mine-park

Anonim, 2016_ 67; http://land8.com/profiles/blogs/quarry-garden-shanghai-china

Anonim, 2016_ 68; http://www.whangareigardens.org.nz/history

Anonim, 2016_ 69; http://www.whangareigardens.org.nz/plants

Anonim, 2016_ 70; http://www.thefishsite.com/fishnews/4329/anglogold-ashanti-commissions-aquaculture-project/

Anonim, 2016_ 71; http://www.engineeringnews.co.za/article/mushroommining-project-set-for-growth-2002-11-08,

Anonim, 2016_ 72; https://en.wikipedia.org/wiki/Big_Hole

Anonim, 2016_ 73; http://www.taipeitimes.com/News/worldbiz/photo/2002/08/31/0000040158

Anonim, 2016_ 74; https://en.wikipedia.org/wiki/Big_Hole

TKİ, 2015, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu 2015 yılı Faaliyet Raporu.

Anonim, 2017_75; http://www.mas.com.tr/internet_tr/Madencilik_Cevre/;jsessionid=4FFCBF8C61F6D7A74DDDA92BFB29021B

ÜRETİMİ TAMAMLANMIŞ MADEN OCAKLARININ DOĞAYA TEKRAR GERİ KAZANDIRILMASI (REHABİLİTASYON)

REHABILITATION PROCESSES FOR COMPLETED MINING ACTIVITIES

Orhan ALTÜRK[1], Reyhan ERDOĞAN[2*], Zeynep ZAİMOĞLU[1]

1: Çukurova Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana, TÜRKİYE

2: Akdeniz Üniversitesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Antalya, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: reyhanerdogan@akdeniz.edu.tr

ÖZET: Bilindiği gibi madencilik faaliyetleriyle beraber doğal alanlar tahrip olmakta, hatta zaman zaman bu alanların tekrar ıslahı ve kullanımı mümkün olmamaktadır. Ancak "Rehabilitasyon" çalımaları ile bozulmuş alanlar planlı bir mühendislik çalışması ile beraber tekrar kullanılabilir hale getirilebilir, tarımsal faaliyetlere açılabilir ve bu alanların peyzaj kaliteleri arttırılabilir. Böylece insan müdahalesiyle meydana gelen çevresel sorunlar (hava, su, toprak, gürültü vb.) giderilebilir.

Açık ocak madenciliği ile bozulmuş alanların, doğa onarımı ve peyzaj düzenlemeleri, ülkemizde madencilik faaliyeti başlamadan önce ÇED süreçlerinde taahhütler verilerek çeşitli teminatlarla garanti altına alınmaktadır. Madencilikte, genel bakış olarak bu çalışmaların maddi bir külfiyet olduğu düşünülmekteydi ancak dünyada oldukça pozitif örneklere sahip olan rehabilitasyon çalışmalarının maddi gelirler getirecek düzeylerde olduğu görülmektedir. Ülkemizde de kavram olarak ve bilinç olarak yeni yeni oturan bu ciddi çalışmaların yasalar ile beraber şekilde daha ciddi yerlere geleceği şüphesiz bir gerçektir.

Böylece madencilik başlamadan önce kaldırılan ve mineral yoğunluğu bakımından zengin toprağın kazanılması, alanın görsel kirliliğinin ortadan kaldırılması, yasalara uyumu ve ciddi çalışmalarla beraber ekonomik girdi sağlayan rehabilitasyon çalışmalarının önemi gündeme gelmektedir.

Anahtar Kelime: Açık maden ocakları, Toprak kirliliği, Rekültivasyon, Reklemasyon, Rehabilitasyon

ABSTRACT: *As it's known with the activities of mininng nature is destructed along with that, it's hardly possible to recover and reuse sometimes. Yet, with a good engineering work of and the method of rehabilitation it might be possible to reuse for agricultural activities, increase landscape qualities and recover the damaged places. Thus, environmental effects (air pollution, water pollution, soil pollution, sound etc.) that have occured might be resolved.*

In Turkey, before starting open pit mining there must be some of commitments that damaged areas will be rehabilitated after the operatons, and this commitments are handled before operations during Environmental Impact Assesment (EIA) processes. Back in the time it was thought that it is pretty expensive prosesses to rehabilitate the landscape but with the technological improvments and also with some of the good examples around the world it is clear that possiblly rehabilitation might be done even in some operations there might be financial profits during this prosesses. Even though it's new topic in Turkey, with legislation supports and knowledge of people it's obvious that rehabilitation will be taking a good place in the future.

Thus, before mining operations has started it's possible to regain, the efficient soil that is excavated, to minimize the visual pollution, compliance with the laws and even make financial profits with a good engineering of work.

Keywords: *Open pit mining, Soil pollution, Recultivation, Reclemation, Rehabilitation*

1. GİRİŞ

Madencilik çalışmalarından uluslar ekonomik olarak kalkınma sağlarken, hammaddeye ve enerjiye olan ihtiyaçlarını da karşılamaktadırlar. Bir toplum güçlü bir ekonomiye, iyi yaşam koşullarına sahip olmak istiyorsa yer altı zenginliklerini akılcı bir şekilde kullanmalıdır. Yer altı zenginliklerini değerlendirirken üstünde yaşadıkları toprakların da zenginliğini kaybetmemeleri gerekmektedir. Madencilik ve çevre konusundaki bu ilişki, ince bir çizgidir. Herhangi biri ihmal edilirse toplumun mutsuz olacaktır. Toplumlar, çevre konusunda genel olarak ekosistemin dengesini bozan her şeyi kirletici olarak görürler. Madencilik çalışmaları doğal dengeyi bozan, çevreyi kirleten ve canlıların yaşamını, dengesini bozan en tipik arazi kullanım şekillerinden biridir. Yerkabuğundaki madenlerin yataklarından çıkarılması ile arazi bozulmaları oluşur. Genellikle açık ocak işletmelerinde diğer madencilik faaliyetlerine göre daha büyük

çevresel bozulma ve etkiler oluşmaktadır (Acar, 2007; Kocadağıstan, 1997; Güngüroğlu vd., 2014).

Geçmişte ülkemizde doğal kaynaklar ekonomiye kazandırılırken, bazı sahalarda doğal çevre eski haline getirilmemiş, bu da gözlerin sürekli olarak madencilik sektörü üzerinde kalmasına ve olumsuz kampanyalar düzenlenmesine neden olmuştur. Madencilik çalışmaları sonucu oluşan çevresel etkiler kimi zaman hemen ortaya çıkabildiği gibi kimi zaman da uzun vadede gün yüzüne çıkabilmektedir. Bu çevresel etkiler doğada bazı yapısal veya kimyasal değişiklikler meydana getirebilmekte, bunlar da farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Buradan hareketle madencilik çalışmaları sonucunda meydana gelen çevresel etkiler iki şekilde incelenmektedir (Okyay ve Aydın, 2017):

Doğrudan Bozulma: Maden sahasındaki örtü ve atık yığınları ile madencilik çalışmalarında kullanılan yapıların inşa edildikleri alanlardaki toprak ve bitki örtüsüne müdahale edilmesi sonucu meydana gelir.

Dolaylı Bozulma: Eski maden yığınlarının biriktirildiği yerler, örtü ve atık yığınları, maden binaları ve mineral zenginleştirme tesislerinin bulunduğu yerlerde toprak yapısı, kimyasal özellikler, su ilişkileri, toprak ve bitki örtüsü, yerel iklim, insan ve hayvan sağlığının değişime uğraması gibi olaylar şeklinde oluşur (Okyay ve Aydın, 2017).

Ramani ve arkadaşları (1990), ıslahı, madencilik faaliyeti yapılan alanın madencilik sonrası kullanımı için hazırlanmasına yönelik işlemler olarak ifade etmektedir (Ramani vd., 1990). Bu konudaki en önemli konu, ıslah çalışmalarının madencilik faaliyetleri konusunda insanlar üzerinde pozitif bir algı oluşturabilmesini sağlamaktır. Bu nedenle topluma, madenciliğin bir işlemler bütünü olduğu, bu işlemler bütünü içinde zorunlu durumlarda doğal çevrenin etki altında kalabileceği, madencilik sonrası ıslahın da bu işlemlerin son basamağı olduğu ve bu sayede etkilenen doğal çevrenin onarılacağı açık ve net bir şekilde anlatılmalıdır. Özellikle, halk madencinin o arazide geçici olarak bulunduğunu ve sahayı bulduğu gibi bırakmak yükümlülüğünde olduğunu bilmelidir. Bu bilinçle yapılacak uygulamalar ile madencilik konusundaki negatif bazı düşünceler giderilmiş, insanlardaki madencilik algısı daha yapıcı hale getirilmiş olacaktır.

Islah işlemleri sadece madencilerin içinde yer aldığı bir çalışma değildir. Maden, Çevre, Jeoloji, Ziraat Mühendisleri, Peyzaj Mimarları ve Ekologlar gibi farklı disiplinlerin yer aldığı organize bir çalışmadır. Disiplinler arası bir bakış açısıyla, madencilik çalışmaları önce planlaması yapılan ve üretim faaliyetleri ile eş zamanlı harekete geçilmesi gereken ıslah işlemleri sayesinde, doğal kaynaklarımız çok daha çevreci, ekonomik ve bilimsel şartlarda işletilmiş olacaktır.

Bu çalışma kapsamında madencilik faaliyetleri ile ilgili olarak çevre ve canlı sağlığı için madenlerin çıkartılması, işlenmesi ve kullanılması sırasında çevreye verilen zararın en aza indirilmesi ile madenin alınması sonucu, bozulan sahaların tekrar doğaya kazandırılması ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal olarak ulusal ve uluslararası kitap, makale, bildiri, tez ve raporlar değerlendirilmiştir. Bildiri büro çalışmalarına dayalı olarak hazırlanmıştır. Evrensel kabul ve standartların araştırılması, temel bilgi ve teorilerin toplanması, literatür tarama, yabancı yayınların, uygulama ve araştırmaların değerlendirilmesi süreçlerini içermektedir.

3. BULGULAR

Bu bildiride madencilik çalışmalarının çevresel etkileri, bunların kontrolü ve en aza indirgenmesi için planlama, işletme ve onarım sürecindeki çalışmalara değinilmektedir.

3.1. Madencilik ve Çevresel Etkileri

Madencilik sektöründe uygulanacak işletme yönteminin seçimi, madencilik çalışmalarında çözülmesi en zor konular arasındadır. Bu durumda en önemli kural, işletilecek madenin kendine has özelliklerine göre en uygun olan madencilik yönteminin seçilmesidir. Ülkemizde ve dünyada yanlış planlama yapılarak üretim aşamasına geçmiş ve bu durumdan büyük zararlar etmiş örnekler mevcuttur. Böyle durumlarda ekonomik öneme sahip kaynak heba edilmekte ve hasara uğramış maden sahasının tekrar değerlendirilmesi de zorlaşmaktadır. Madencilikte açık işletme ve yer altı madenciliği şeklinde iki farklı yöntem ile üretim yapılmaktadır. Bu iki yöntemin çevreye etkileri genel olarak aşağıdaki şekildedir:

Yer Altı Maden İşletmesi ve Çevresel Etkileri: Yer altı maden işletmeciliğinde ortaya çıkabilen çevresel etkilerden en bilineni, yer altında oluşan boşlukların zamanla dolmasıyla yeryüzünde meydana gelen hareket ve şekil değişiklikleri (tasman)'dir. Tasman dışında ise ortaya çıkan bazı gazlar, asidik suların deşarjı ve üretimden kaynaklanan atıkların depolanması sorunları da yer altı üretim yönteminin olumsuz çevresel etkileri olarak gösterilmektedir.

Açık Maden İşletmesi ve Çevresel Etkileri: Açık işletme yöntemiyle yapılan madencilik çalışmaları yer altı madenciliğine göre daha fazla çevresel etki oluşturmaktadır. Özellikle işletmenin yarattığı etkiler bölgede yaşayan insanlar tarafından görülmekte ve madenin çalışma şartları üzerinde baskı oluşturmaktadır. Yine açık işletmede toz, gürültü ve benzeri etkiler, özellikle çevre halkı tarafından istenilmeyen durumlardandır.

Madencilik çalışmalarının yapıldığı alanlar bazen verimli topraklar üzerinde veya orman içinde de bulunabilmektedir. Bu gibi durumlarda doğaya verilen etkiler maalesef daha fazla olabilmektedir. Bu tip arazilerde madencilik çalışmaları sürdürülürken, çevresel etkilere her zamankinden daha fazla dikkat edilmeli, yer üstü zenginliklerinden madencilik sona erdikten sonra da faydalanmaya devam edileceği unutulmadan çalışılmalıdır.

Madencilik, bazı durumlarda, çevresel etkilerin yanında önemli sosyal etkiler de doğurmaktadır. Bunların başında madencilik alanında yasayan insanların, kamulaştırma yoluyla, yerleşim yerlerini, tarım arazilerini, meralarını, ormanlarını vb. geçim kaynaklarını kaybetmesi gelmektedir. Bu kayıpların adil bir biçimde tazmin edilmesi, dolayısıyla madenciliğin planlanmasına, yeniden iskân eylem planlarının hazırlanmasının da dahil edilmesi ve daha planlama aşamasında yeniden yerleşim uygulamalarının maliyetinin madenciliğin maliyetine dahil edilmesi bir zorunluluk olarak görülmelidir (Acar, 2007).

3.2. Islah Çalışmaları

Islah; madenciliği tamamlayan, ona ilave tek bir aşama değil, madencilik planlarıyla eş zamanlı olarak başlatılan, maden çıkarma ve sonrasındaki safhalarda da devam eden bir dizi çalışmalardan oluşur. Bu çalışmalar;

- Daha planlama aşamasında alanın ve yakın çevresinin envanterinin çıkarılması, madencilik faaliyetinin çevre üzerine etkilerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi, onarımın maksadının belirlenmesi, madencilik faaliyetleri sırasında ve faaliyetler sonrasında onarılacak alanın son alan kullanım kararına uygun olarak yeniden düzenleme, iyileştirme, faaliyet sonrasında ise izleme, kontrol ve bakım süreçlerini içerir.
- Planlama aşamasında ayrıntılı bir envanter çalışması yapılarak; flora-fauna, topografya, jeoloji, iklim, toprak, hidrojeoloji, erozyon, sediment vb. özellikler yönünden alanın mevcut durumu ortaya konulmalıdır. Bu sayede, madencilik çalışmaları sebebiyle zarar görebilecek kaynakların bilinmesi mümkündür. Ayrıca bu bilgiler madenciliğin bitmesinin ardından onarım ve iyileştirme çalışmalarını kolaylaştırmaya da yardımcı olacaktır.
- Sahanın hangi maksatla kullanılabileceği; yasal mevzuat, saha özellikleri ve iyileştirme yönteminin birlikte değerlendirilmesiyle kararlaştırılır. Böylece sağlıklı bir saha kullanım planlaması yapılmış olur.
- Sahanın yeniden düzenleme aşamasında kullanım planlamasına göre döküm sahalarının yeri, örtü tabakasının yayılması, kazı sekli, araziye verilecek son sekil, stabilitenin sağlanması, alandaki drenaj yapısının oluşturulması, depolanmış üst toprağın erozyonu önlemek maksadıyla çayır-mera bitkileri ile bitkilendirilmesi gibi çalışmaların tasarımı yapılıp, uygulanır.
- Yeni maden sahalarında sahadaki flora, fauna ve korunması gereken lokal endemik türler tespit edilerek bunların nakli ya da işletme öncesi taşınması ile alakalı planlamalar yapılır. Kazı sonrası oluşacak pasa sahalarının, çukur alanların, atık sahaların risk oluşturmaması için güvenlik önlemleri planlanır. İşletme alanı çit engellerle ve uyarı levhaları ile sınırlandırılır. Sahanın hidrolojik özellikleri tespit edilerek yapılacak bütün tesislerin ve depo alanlarının depolanacak malzeme ve atıkların çevreye yağışlarla yayılmaması için gereken drenaj sistemi planlanır ve uygulanır.
- İyileştirme ve onarım aşamasında ise tahrip edilmiş alana biyolojik verimliliğin yeniden kazandırılması ve alanın kullanıma hazırlanması maksadıyla 20-30 cm'den az olmayacak kalınlıkta toprak serilmesi, toprağın iyileştirilmesi (organik ve/veya kimyasal gübre uygulaması, zehirli atıkların uzaklaştırılması vb.) ve yeniden bitkilendirme uygulanır.

- Onarım sürecinde kullanılacak bitkiler ekolojik, işlevsel, kültürel ve ekonomik kriterler göz önüne alınarak seçilir. Bitkilendirmede kullanılacak ağaçlar, çalılar ve otsu türler sahanın özelliklerine uygun ve mümkün olduğunca yerli olanlardan seçilir. Onarımda kullanılacak bitkilerde; hızlı gelişim gösterme, yayılıcı olma, derin ve güçlü kök sistemi geliştirme, kötü şartlara ve iklim koşullarına dayanıklı olma, su tutma kapasitelerinin yüksek olması, üretim ve bakımı kolay olma, sığ, kalkerli ve kayalık zeminlere, erozyona açık alanlara vb. toleranslı olma gibi özellikler aranmalıdır.
- Madencilik sonrasında yapılan onarım çalışmalarını da içerecek şekilde bakım, kontrol ve izleme yapılması gerekir. Bu süreçte gerekli teknik müdahaleler (sulama, budama, gübreleme, zararlılara karşı koruma vb.) yapılır.

Marritt'e göre ABD'de

- Rehabilitasyon (rehabilitation): arazinin ekolojik ve estetik değerlerini dikkate alarak kullanım planlarının verimli hale dönüştürülmesi,

Restorasyon (restoration): tahrip edilmiş alanın fiziksel durumunu değiştirip işe yararlılık ve verimliliğinin artırılması,

- Rekültivasyon (reclamation): tahrip edilmiş alanın verimli, işe yarar, temiz ve estetik olarak güzel bir görünüme sokulması olarak tanımlanmaktadır.

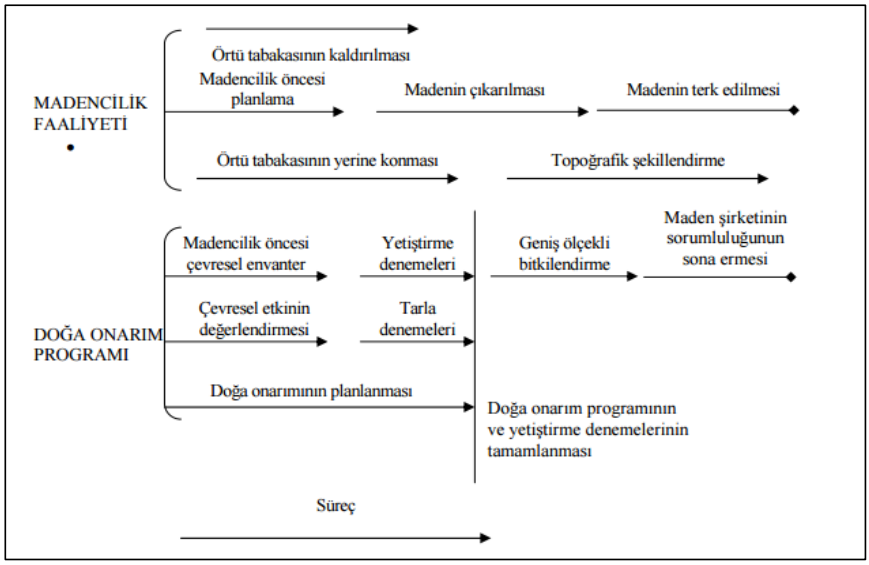
Çelem (1988), kırsal alanda yeni düzenlemeler için bitki, toprak, taş, demir gibi onarım elemanlarıyla doğa koruma önlemlerinin alınması çalışmalarını doğa onarımı olarak ifade etmektedir (Çelem, 1988). Ülkemizde de bu konu ile ilgili ifadeler birbirinin yerine kullanılmakta, ilgili meslek disiplininin konuya yaklaşımı doğrultusunda ıslah, restorasyon, yeniden bitkilendirme, bitkisel örtüleme, arazi düzenleme, toprak ıslahı, biyolojik ıslah, iyileştirme (meliorasyon), alan kullanım planlaması, restorasyon, reklamasyon gibi ifadelerle karşılaşılmaktadır (Şimşir vd, 2007).

3.3. Doğa Onarım Aşamaları

Onarım çalışmalarına ülkemizdeki mevcut yasa ve yönetmelikler açısından baktığımızda ise; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yürütülen "Madencilik Faaliyetleri İle Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği" (Anonim, 2010), dışında onarım ile doğrudan ilgili bir yönetmelik ve yasa bulunmamakta, ancak bu yönetmelik te hali hazırda terk edilmiş alanların iyileştirilmesi

konusunda bir düzenleme içermemekte, bu alanların nasıl, kim tarafından onarılacağı belirtilmemektedir (Kargın, 2014) .

Onarım çalışmaları sürecinde onarımın amacı doğrultusunda ekosistem, bütün ekolojik özellikleriyle uygulama alan ve bitki örtüsü arasında etkileşim sistemidir. Ekosistem içinde uygulama alanı ve bitki örtüsü olmak üzere her iki ana sistem öğesi sürekli olarak birbirlerine bağımlı olup aralarında çok sıkı bir ilişki bulunmaktadır (Akpınar, 2005). Şekil 1'de Madencilik faaliyeti sürecinde doğa onarımı çalışmaları şematize edilmektedir.



Şekil 1. Doğa onarım operasyonunun aşamaları (Şimşir ve ark., 2007)

3.3.1. Alan kullanım planlaması

Alan kullanım planlaması, bir alanın değişik faktörler yönünden irdelenip önerilen kullanımlara uygunluğunun araştırılmasıdır. Aynı zamanda her alan için uygun bir kullanım ve her kullanım için uygun bir alan bulunabileceği ilkesinin çift taraflı işletilerek alan kullanımının geliştirilmesine olanak sağlayacak planlamalar dizinidir. Bu tip planlama çalışmaları, çevre değerlerini koruyarak ya da zararlanmayı minimuma indirerek kaynaklardan optimum düzeyde yararlanmayı sağlar (Akpınar, 1994).

Planlama çalışmalarının ana hedefi, toplumun ve bireylerin insan onuruna yaraşır, sağlıklı, özgür, dengeli ve nitelikli yaşam koşullarına sahip olabilecekleri bir çevre yaratılmasıdır.

Nihai alan kullanımının amacının ve hedefinin önceden belirlenmemesi, doğa onarım çalışmalarının kesintiye uğramasına, para ve zamanın boşa harcanmasına ve sonuçta istenmeyen bir durumla karşılaşılmasına neden olabilir. Nihai alan kullanımına baştan karar verildiğinde madencilik ve doğa onarım faaliyetleri birbiriyle uyumlu bir şekilde yürütülebilir ve her iki faaliyet için de en ekonomik ve uygun planlar elde edilebilir.

Madencilik sonrası alan kullanım planlamasının aşamaları özetle aşağıda verilmiştir (Ramani, 1987):

- Madencilik öncesi şartların envanterinin çıkarılması,
- Etkilenecek birimlerin ihtiyaç ve isteklerini karşılayacak şekilde arazinin işletme sonrası gereksinimlerinin belirlenmesi ve bu konuda karar verilmesi,
- En uygun çözüme ulaşmak için alternatif alan kullanımları ile ilgili tüm planların analizi,
- Teknik, sosyal ve ekonomik koşullara uyumlu alan kullanım planlarının geliştirilmesi.

3.3.2. Yeniden düzenleme

Planlamaya uygun olarak kazı-döküm yapılması, döküm sahalarının ve şevlerin istenilen eğim ve yükseltide olmasının sağlanması, en üstteki bitkisel toprağın ve hemen altındaki verimli toprağın ya doğrudan tekniğine uygun olarak en üste serilmesi ya da önceden depolanıp daha sonra serilmesi, tesviye, drenaj ve su rejimi kontrolü ve gerekli alt yapının hazırlanması, yeniden düzenleme işlerinin ana konularını oluşturmaktadır (Akpınar, 1994).

Alt toprak ve diğer uygun malzeme madencilik aktivitesi sona ermiş sahaya özenle yayıldıktan sonra, üzerine üst toprak serilir. Toprak kısmen kuru olursa daha kolay yayılır. Arazi hazırlığı sırasında kullanılan ağır iş makinaları, toprakta sıkışmaya neden olur. Madencilik sonrası alan kullanımında özellikle tarımsal kullanım söz konusu ise, bu, istenmeyen bir durumdur. Sıkışmanın derecesi, toprağın tipine ve nem oranına bağlı olarak değişir. Üst toprağın yayıldıktan sonra işlenmesi, sıkışmayı azalttığı gibi, toprakta tutulan su miktarını da artırarak ve yüzey suyu akış hızını düşürerek erozyonu da azaltır (Michaud, 1981).

Buna göre, arazi düzenlemenin yararları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Alan kullanım potansiyeli için sınırlayıcı faktör olabilecek dik eğimler azaltılabilir.
2. Zehirli atıklar gömülebilir.
3. Tohum yatağının hazırlanması kolaylaştırılır.
4. Erozyon tehlikesi azaltılır.
5. Maden çukurları kısmen veya tamamen doldurulabilir.

3.3.3. İyileştirme

İyileştirme faaliyetleri topoğrafik düzenlemesi tamamlanan sahalarda başlatılır. Amaç, tahrip edilmiş alana biyolojik verimliliğin yeniden kazandırılmasıdır ve toprağın değerlendirilmesi-geliştirilmesi ile yeniden bitkilendirme çalışmalarını içerir.

Toprağın Değerlendirilmesi ve Geliştirilmesi: Ekim-dikim çalışmaları için toprağın uygunluğunun belirlenmesi ve gerekiyorsa iyileştirilmesi gerekir. Bu çalışmalar arazinin madencilik sonrası uygun bir verimliliğe ulaştırılması için şarttır ve bu sayede iyileştirme kısa sürede ve daha ekonomik gerçekleştirilebilir (Holmberg, 1983). Bu amaçla, madencilik öncesi üst toprak ve örtü tabakasının, doku, pH, bitki besin maddesi ve toksik madde açısından fiziksel ve kimyasal analizlerinin yapılması gereklidir (Holmberg, 1983). Örtü tabakasının özelliğinin bilinmesi, tahrip edilmiş sahalarındaki sorunların tahmininde ve yorumlanmasında önemli rol oynar ve özellikle yeniden bitkilendirme çalışmalarında bitki türlerinin seçiminin daha iyi yapılmasını sağlar. Örtü tabakasının madencilik öncesinde ve sonrasında yapılan detaylı analiz ve değerlendirmelerine dayanarak, gerekiyorsa üst toprağa uygun bitki besin maddelerinin ve kimyasal iyileştiricilerin uygulanması yoluna gidilir. Madencilik faaliyetleri sonrasında en önemli kısıtlayıcı faktör azot (N) eksikliği olup (Li, 2006) havadaki serbest azotu toprağa bağlayabilme yeteneği olan Baklagiller ön bitkilendirmede tercih edilebilir (Atik vd., 2009).

Yeniden Bitkilendirme: Bitkilendirme, alanın büyüklüğüne, alt yapı olanaklarına, toprak iklim koşullarına, ekim zamanına, tohum yatağının durumuna ve ekonomik güce bağlı olarak seçilecek ekim-dikim metodu ile yapılır.

Toprak tabakasının kalınlığı ve nitelikleri, gerçekleştirilecek bitkilendirme çalışmasının kapsamına ve niteliğine bağlıdır. Uygulamalarda genel olarak önce 120 cm kalınlıkta normal toprak (%10-20 kil, %10-15 toz, % 65-80 kum) serilmekte, bunun üzeri de 30 cm kalınlıkta bitkisel toprak (A ve B horizonundan elde edilen) ile kapatılmaktadır.

Bitkilendirme öncesinde topraktaki besin maddesi içeriğini zenginleştirmek amacıyla hektara 150-250 kg N P K gübresi verilmesi yararlıdır. Fermantasyon, ısınma, gaz çıkışı ve drenaj ile ilgili işlemler kontrolünden sonra, sonra çayırlandırma aşamasına geçilmektedir (Dirik, 2005). Çayırlandırmada *Lolium, Dactylis, Poa, Agrostis, Cynodon, Trifolium, Medicago* ve *Vicia* tohumları çeşitli kombinasyonlara göre karışık olarak ekilmekte ve bu türler normal olarak bitkisel nitelikli üst toprak tabakası (30 cm) ile onun altına serilen toprağın ilk 20 cm'lik kısmında köklenme yaparak gelişmektedirler. Çayırlandırma, depo alanının düzenlenmesini izleyen ilkbaharda yapıldığında, toprak koşullarının iyileşmesi ve olgunlaşması için ağaçlandırma aşamasına kadar 4-5 yıl beklenmesi önerilmektedir. Yeterli ya da ön görülen sürenin (4-5 yıl) geçmesinden sonra çayırlandırılmış alan üzerinde önce *Alnus, Populus, Salix, Robinia, Betula, Ailantus* gibi öncü türlerle bir ―ön orman‖ kurulmaktadır. Yaklaşık 20 yıllık bir sürenin geçmesinden sonra ön ormanı kaldırılarak çeşitli türlerle istenen amaca uygun yeni ve kalıcı bir bitkilendirmeye gidilebilmektedir (Dirik, 2005). Dikimlerin, yeşil örtünün bir an önce oluşmasının sağlanması ve otsu türlerin fidanlarla rekabetinin azaltılması amacıyla sık yapılması önerilmektedir. Bunun için 1.40 m x 1.40 m aralıklarla hektara 5000 adet fidan dikilmesi, uygun dikim yoğunluğu olarak kabul edilmektedir (Erdoğan vd, 2011).

3.3.4. İzleme ve bakım

Uygun bir yeniden düzenleme ve iyileştirme çalışmasından sonra arazinin verimli olarak kullanılmasını sağlamak için ek bir sürece ihtiyaç vardır. Bu aşamada izleme, kontrol, bakım ve gelişim planlarına gereksinim duyulur. Su kalitesi, drenaj, şev duyarlılığı ve erozyon izlenmesi gereken başlıca faktörlerdir. Kalıcı bitkilendirmeyi takiben ise büyüme izlenir ve kaydedilir. Döküm alanlarında toprağın durumu ve gelişimi ise gerekli denemeler yapılarak gözlenebilir.

3.4. Maden Sahalarında Rehabilitasyon Yöntemleri

Madenlerin çıkarılması sonrasında sahanın rehabilite edilerek doğaya yeniden kazandırılması ve toplum yararına sunulabilmesi için hem dünyada hem de ülkemizde uygulanmakta olan 4 yöntemden söz edilmektedir. Sahanın durumuna göre bazen bu yöntemlerden bir ya da birkaçı birlikte de kullanılabilir. Sözü edilen yöntemler; üst

toprağın sahaya serilmesi suretiyle yapılan rehabilitasyon, elektroliz, kirlenmiş toprakların bitkilerle temizlenmesi ve rehabilite edilemeyen sahaların kamu yararına kullanılması yöntemleridir.

3.4.1. Üst toprağın sahaya serilmesi

Özellikle açık ocak madenciliği yapılan alanlarda kullanılması gereken tesirli çözüm yöntemlerinden birisi olup hem zaman hem ekonomik açıdan diğer yöntemlere oranla avantajlıdır. Bu yöntem diğer yöntemler ile kombine edilerek de maden sahaları rehabilitasyonunda kullanılabilir. Hafriyat, kazı-dolgu serilecek üst toprak miktarı ve kalınlığı bitkilendirmede kullanılacak türlerin seçimi, çukur ve basamaklandırmada boyutlandırma gibi detaylar iyi hesaplanarak yapıldığında en başarılı yöntemlerden biridir (Şekil 2-3).

Şekil 2. İstanbul Kemerburgaz (Acar, 2007)

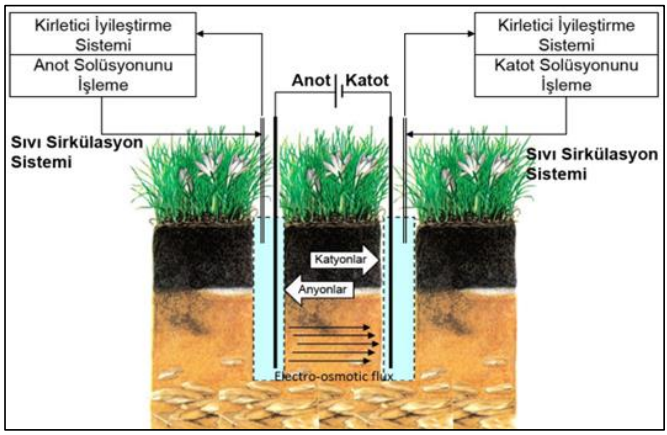
Şekil 3. Jackson şehri demir madeni Siyah Nehir Şelalesi, Wisconsin 1977 -1992

3.4.2. Elektroliz yöntemi

Elektroliz yöntemi; demir, nikel, bakır, kurşun, krom gibi ağır metaller tarafından yoğun biçimde kirletilmiş toprakların ağır metal muhtevasından temizlenmesi amacıyla uygulanabilecek bir yöntemdir. Biraz zaman alan pahalı ve topraktaki canlılar ve mikroorganizma faaliyetleri üzerindeki etkileri olumsuz olabilen bir yöntemdir (Anonim, 2017).

Elektroliz, elektrik akımı yardımıyla, bir toprak içinde bulunan ağır metallerin ayrıştırılması işlemidir. Bu değişiklik, maddenin elektron vermesinden (yükseltgenme); ya da almasından (indirgenme) kaynaklanır. Elektroliz işlemi, elektroliz kabı ya da tankı denen bir aygıt içinde uygulanır. Bu aygıt, çözünerek artı ve eksi yüklü iyonlara ayrılmış bir bileşiğin, elektrolit içine, birbirine değmeyecek biçimde daldırılmış iki elektrottan oluşur.

Elektrotlar bir akım kaynağına bağlandığında meydana gelen gerilim, iyonları karşıt yüklü elektrota doğru hareket ettirir. Karşıt kutupta yükünü dengeleyen atom veya moleküller elektrotta çökelir veya elektrolit içindeki moleküllerle yeni reaksiyonlara girer. Böylece elektrotlarda toplanan ağır metaller ya da bunların kimyasal bileşenleri topraktan ayrılarak temizlenebilir (Anonim, 2017) (Şekil 4.).



Şekil 4. Elektroliz Makinesi ve Yöntemi (Anonim, 2017)

3.4.3. Kirlenmiş toprakların bitkilerle temizlenmesi yöntemi

Maden işletmeleri sırasında ortaya çıkan pasa alanları ve çukurların iyileştirilmesi ile cevher işleme ve zenginleştirme faaliyetleri neticesinde kirlenen toprakların temizlenmesi amacıyla bitkilerin kullanıldığı bir yöntemdir. Özellikle ağır metal ihtiva

eden maden sahalarının rehabilitasyonunda, liç sahası kazalarında veya cevher işleme pasa alanlarında uygun türlerle uygun konsantrasyona sahip topraklarda uygulanan bir yöntemdir. Gelişmiş ülkeler bu olumsuz koşulları dikkate alarak son yıllarda diğerlerine nazaran daha çevre dostu bir arıtma sistemi olan fitoremediasyonu (bitkisel ıslah sistemleri) geliştirmişlerdir. Bitkisel ıslah olarak da bilinen fitoremediasyon ortamda bulunan kirleticilerin giderilmesinde veya etkisiz hale getirilmesinde çeşitli bitkilerin kullanılması şeklinde tanımlanmaktadır. Çiçekli bitkilerin % 0.2'sini oluşturan hiperakümülatör bitkiler yaklaşık olarak 450 tanedir (Baker ve Brooks 1989; Ellis ve Salt 2003; Reeves 2006; Milner ve Kochian 2008).

Fitoremediasyon tekniğinde çevresel kirleticiler kapsamında ağır metalleri absorbe eden, dokularında yüksek seviyelerde biriktirip çeşitli süreçlerden sonra etkisiz hale getirebilen hiperakümülatör bitkiler kullanılmaktadır. Son yıllarda birçok ülkede kullanımı yaygınlaşan fito-ıslah, ağır metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde pasif bir teknolojidir. Fitoremediasyon, çevredeki kirleticilerin alınmasında veya bu kirleticilerin etkisiz hale getirilmesinde hiperakümülatör bitkilerin kullanılması olarak tanımlanır (Raskin vd. 1997).

Uzun zaman alan hassas çalışma gerektiren bu yöntemde bitkiler, yüksek kirletici konsantrasyonuna sahip alanlarda yetişmeyebilir veya çok zayıf yetişerek istenen tesir ve neticeler elde edilemeyebilir.

Kirlenen toprakların temizlenmesinde ağır metal absorblama kapasitelerinden dolayı kullanılabilecek belli başlı bitkiler şu şekildedir; Söğüt türleri, Kavak türleri, Kreozot çalı, Büyük eğrelti otu, Yeleğreltisi, Seki kuduzotu, Kanada altın başak otu, Ayçiçeği ve Su sümbülü gibi bitkilerdir.

3.4.4. Rehabilite edilemeyen sahaların kamu yararına kullanılması yöntemi

Bu yöntemde bundan önceki yöntemlerle iyileştirilemeyen sahaların kamu yararına kullanımı için düzenlenmesi mümkündür. Bu şekilde rehabilite edilebilecek sahalar belirlenir. Başta A.B.D, Avustralya ve Avrupa Birliği ülkeleri olmak üzere birçok ülkede, kullanılan bu yöntemle belirlenen alanlar; tema parkı, belediye konser ve kongre alanı, eğitim-spor tesisi, katı atık depolama alanı, tabiat parkı, yangın havuzu, sosyal tesisler vb. biçimde düzenlenmektedir. Ayrıca bu tip sahalar, projelendirilip müzelere dönüştürülerek turizm amaçlı da kullanılabilmektedir. Ülkemizde ise bu yöntemin

kullanılması yasaların öngördüğü konularla sınırlıdır. Buna göre bu sahalar göletler, rekreasyon alanları veya tabiat parkları ile katı atık depolama alanları şeklinde düzenlenebilir.

3.4.4.1.Göletlere dönüştürme

Çok sıklıkla yer altı sularının akışına ve yağışların orada birikmesine bağlı olarak, maden çukurlarında, reliyefli zeminleri olan göller veya göl benzeri su yüzeyleri ortaya çıkar. Bu göletler uygun yerlerde orman yangınları ile mücadelede kullanılmak üzere kullanılabilir. Bu alanlardan suya dayalı rekreatif etkinlikler olan balık üretme çiftlikleri, olta balıkçılığı tesisleri, sahil düzenlemesi, yüzme, su oyunları, su kayağı vb düzenlemeler yapılarak yararlanılabilir. Ancak, bu insan kaynaklı/antropojenik, "genç göl" çukurlukları tabii göllerden farklı morfolojik bir yapıya sahiptir. Tabii göller gelişimleri sürecinde küçülür ve kıyı hatları düzleşir, toprak lehine bir oluşum görülür. Genç göllerde ise tabii göllerdeki tabii ve normal aşınmanın aksine kazılardan geriye kalan, dik yamaçlar, basamaklar, teraslar gibi tabii olmayan reliyef biçimleri kalmıştır ve düzenlemelerde bu durum göz önünde bulundurulmalıdır (Anonim, 2017) (Şekil 5).

Şekil 5. İspanya'nın kuzeyindeki El Valle altın madeninin gölete dönüştürülmesi (Anonim, 2017)

3.4.4.2. Sağlık turizmi maksatlı düzenleme

Bazı madenlerin insan sağlığına olumlu katkılarda bulunduğu bilimsel çalışmalarla ispatlanmıştır. Bu madenlerden biri de tuz dur. Tuz yatakları sağlık turizmi için yararlanılabilecek turizm odaklarına dönüştürülebilirler. Bu uygulama her geçen gün artmaktadır. Polonya - Wieliczka tuz mağaraları sağlık turizmi açısından işletilen mağaralardan biridir (Anonim, 2017) (Şekil 6).

Şekil 6. Polonya - Wieliczka tuz mağaraları (Anonim, 2017)

3.4.4.3. Rekreasyon alanları

Madencilik yapılan alanlar işletme süreci tamamlandıktan sonra yapılacak düzenlemelerle rekreasyon alanlarına dönüştürülebilir. Özellikle ülkemizde yeşil alanlar ve rekreasyon imkanları açısından kısıtlı imkanlara sahip olan şehirlerimize yakın olan maden ocaklarından bu maksatla yararlanmak ekonomik ve ekolojik anlamda oldukça önemli katkılar sağlayacaktır. Rekreatif etkinlikler kapsamında; doğa merkezleri (eğitim ve rekreasyon hedefli), botanik parkları, atlı rekreasyon alanları, tema parkları, kamp alanları, kampingler, futbol sahaları, yarış alanlarına (motoiklet, bisiklet, kaykay, spor alanları, sergi vb) yer verilebilir. Özellikle yerleşim merkezlerine yakın olan ve terk edilmiş maden sahalarının kamu yararına kullanılabilmesi için dikkatli bir biçimde değerlendirilmesi mümkündür (Şekil 7).

Şekil 7. Kanada – Vancouver, Butchard Gardens, Sunken Garden (Anonim, 2017)

3.4.4.4. Çevresel sanat yaklaşımları

Üretimi tamamlanmış maden sahalarının iyileştirilmesindeki farklı çözümlerin yanı sıra, söz konusu alanların mekan algısını yeniden kurgulayacak etkileşim hedefli reklamasyon çalışmalarına da yer verilmelidir.

Görsel ve içerik açıdan iyileştirmeye yönelik sanat yapıtlarından biri Robert Morris'in 1979 yılında, King County, Washington'da terkedilmiş bir taş ocağında gerçekleştirdiği çalışmadır (Şekil 8). Bu çalışma, sanatın bir arazi reklamasyonu olarak estetik açıdan olabilirliğinin ve arazi sanatının ekonomik olarak uygulanabilirliğinin ispatıdır. İç içe geçmiş teraslar şeklinde düzenlenen amorf arazide, en alt kademeden bakıldığında sadece gökyüzü, tepeden bakıldığında ise kent vadisi kırsalı görülmektedir (Kastner ve Mallis, 2010; Uzun vd., 2014). Morris bu çalışmayla endüstrileşmenin yeryüzünde açtığı yaraların kaldırılmasında/örtülmesinde sanatçının rolünü sorgulamaktadır. Taş ocağının işletildiği zamanlarda korunan birkaç ağacı kesilmiş ya da yerinden sökmüştür. Ryan'a (2007) göre bu görsellik Dante'nin Inferno'sunu anımsatmaktadır. Mekanın doku ve tarihi ile çalışılan bu reklamasyon içerikli yapıtta görüldüğü gibi, arazinin maden ocağı kimliğinin belli ölçülerde muhafaza edilmesi, dramatik bir etki yaratarak potansiyelini ortaya çıkartmıştır (Uzun vd., 2014).

Şekil 8.R. Morris, İsimsiz, Washington, (Uzun vd., 2014)

Şekil 9. J. Beuys, 7000 Oaks, Almanya, ABD, 1979 1982- 87. (Uzun vd., 2014)

Çevresel sanat alanında bu fikri benimsemiş, zamana ve mekana yayılarak genişleyen en önemli çalışmalardan biri Joseph Beuys'un '7000 Oaks' adlı projesidir (Şekil 9)**.** Documenta 7 Uluslararası Sanat Sergisi (1982)'nde başlatılan proje sonunda, Kassel şehrine 7000 meşe ağacının dikimi tamamlanmıştır (1987). Her bir meşe ağacının yanına, yüksekliği yaklaşık 1.20 m uzunluğunda bazalt taşları yerleştirilmiştir (Uzun vd., 2014).

4. SONUÇ

Madenciliğin çevreye olan olumsuz etkilerini dikkate almak tercih değil, bir zorunluluktur. Madencilik sektöründe, çevre dostu teknoloji ve yöntemlerin kullanılması, madencilik süreçlerinde ve sonrasında çevrenin korunmasına veya iyileştirilmesine yönelik önlemlerin alınması sektörün gelişimine engel değildir. Aksine genel anlamda sektörün gelişimine katkı sağlar. Yapılan yasal düzenlemeler ile alınan idari önlemlere uyularak çevre ile uyumlu teknik yöntemlerin kullanılması sayesinde madenciliğin geliştirilmesi mümkündür.

Madenlerimizi yer altından çıkarmaktan ve işlemekten vazgeçilemeyeceği de kesin olarak kabul edilen bir gerçektir. Bunun yanı sıra, maden işletiminde meydana gelen zararlı atıklar, hava, su, toprak kalitesinin bozulması, görüntü ve ses kirliliği gibi etmenlerin olumsuz etkilerinin azaltılması, ekolojik dengenin korunması ve doğada meydana gelen zararların önlenmesi çalışmaları madencilik başlamadan önce uygun mühendislik planlamarıyla yapılmalıdır. Bozulan alanları iyileştirmedeki ana amaç, madenciliğe bağlı olarak bozulan ve etkilenen alanlara ekolojik ve ekonomik değerlerini mümkün olduğu ölçüde geri kazandırmak olmalıdır. Yeniden kazanma, arazinin güzel bir peyzaj görünümüne sahip olması kadar, bu alanlardan ekonomik olarak yararlanmayı da hedefler.

Bu sebeple maden sahalarının işletme sırasında, sonrasında ya da terkedilmiş maden sahalarında rehabilitasyon, iyileştirme, doğaya yeniden kazandırma hedefli faaliyetlerin gerçekleştirilmesi gelecek nesillere daha yaşanabilir bir çevre sunmak için görevimizdir. Onarım plan ve uygulamaları çok disiplinli yaklaşımla yapılmalı, stabilizasyon için toprak mekanikçisi, toprak verimliliği için toprak bilimcisi, yüzey ve yeraltı suları için hidrojeolog, çevre mühendisleri, temel bilimler için ekolog ve alan kullanım planlaması için peyzaj mimarları, alanın estetik ve iyileştirme sürecine katkı sağlayabilecek sanatçılar katılmalıdır. Doğa onarım çalışmaları ile verilen kararlar fiziki planlara yansıtılmalıdır. Ekonominin öncelikli olduğu, kar elde etme amaçlı olarak yapılan çalışmalar yerine, kullanım tipi bakımından alanın koruma-kullanma dengesi gözetildiği çevre ve insan öncelikli çalışmalar ve bütüncül yaklaşımlar benimsenmelidir.

KAYNAKLAR

Acar, D.Ö., 2007. Türkiye'de Açık Ocak Kömür Madenciliği Sonrası Peyzaj Onarım Çalışmalarının İrdelenmesi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Akpınar N. 1994. Açık Kömür Ocaklarında Çevresel Etki Değerlendirmesi ve Doğa Onarım Çalışmalarının Milas-Sekköy Açık Kömür Ocağı Örneğinde İrdelenmesi, Doktora tezi, Ankara: Ankara Üniv. Fen. Bil. Enst., sf. 30-42.

Akpınar, N., 2005. Madencilik Faaliyetleri Sonrası Onarım Çalışmalarında Bitkilendirme Süreci. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, 5-6 Mayıs 2005, Ankara, s. 159-164.

Anonim, 2010. Madencilik Faaliyetleri İle Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği.23.01.2010 tarih ve 27471 sayılı Resmi Gazete.

Anonim, 2017. Maden Sahaları Rehabilitasyon Eylem Planı, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2014-2018. http://www.cem.gov.tr/erozyon/Files/000/Maden%20Sahalar%C4%B1%20Rehabilitasyon%20Eylem%20Plan%C4%B1%20-%2010.04.2014%20-.pdf

Atik, M., Erdoğan, R., Taşçıoğlu, S.G., 2009. Çevresel Etkileri Açısından Taş Ocakları ve Bozulan Alanların Doğaya Yeniden Kazandırılması Olanakları, 3. Madencilik ve Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 11-12 Haziran 2009, Ankara, sf. 85-93

Baker A.J.M., Brooks R.R., 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements–a review of their distribution, Ecology and Phytochemistry, Biorecovery, 1, 81-126.

Çelem H., 1988. Sorunlu Alanlarda Bitkilendirme Tekniği, Ankara: Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları. No: 1047.

Ellis D.R., Salt D.E., 2003. Plants selenium and human health, Current Opinion in Plant Biology, 6, 273-279.

Erdoğan, R., Zaimoğlı, Z., Oktay, E., 2011. Çöp Depo Alanlarının Rehabilitasyonunda Phytoremedıatıon Teknikleri, I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 26-28 Ekim 2011, Kahramanmaraş.

Dirik, H., 2005. Kırsal Peyzaj (Planlama ve Uygulama İlkeleri). İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, no: 4559/486, ISBN: 975 - 404 - 749 - 9, İstanbul, 453 s.

Güngöroğlu, C., Coşkun S., Türkkan M., Örtel E., 2014. Orman Alanlarındaki Mermer Ocaklarının Rehabilitasyonunda Karşılaşılan Sorunlar (Batı Akdeniz Bölgesi Örneği), Ulusal Mermer ve Taş Ocakları Onarım Teknikleri Sempozyumu, 18-20 Eylül 2014, Isparta. sf.64-74

Holmberg G.V., 1983. Vegetation Establishment on Abandoned Coal Mined Land, American Society of Agricultural Engineers, Transactions:General Edition 23, ABD, sf. 117-120.

Kargın, S., 2014. Onarım ve Peyzaj Onarım Planları, Ulusal Mermer ve Taş Ocakları Onarım Teknikleri Sempozyumu, 18-20 Eylül 2014, Isparta.sf.1-9

Kastner, J., Wallis, B., 2010. Land and Environmental Phaidon Press Ltd 2010-05-22, London SBN 10: 0714856436 ISBN 13: 9780714856438

Kocadağıstan, M.E., 1997. Pasinler-Esendere Kum Ocakları Doğa Onarımı ve Rekreasyonel Alan Kullanımı Planlaması. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.

Li M.S., 2006. Ecological Restoration of Mineland With Particular Referance to the Metalliferous Mine Wasteland in Chine; A Review of Research and Practice, Science of the Total Environment, 357:38-53.

Michaud L.H., 1981. A Manual of Reclamation Practice, Ontario: International Academic Services Ltd.

Milner M.J., Kochian L.V., 2008. Investigating heavy-metal hyperaccumulation using thlaspi caerulescens as a model system, Annals of Botany, 102, 3-13.

Okyay V. ve Aydın, O., 2013. Madenlerde Saha Düzenlemesi (Rekültivasyon - Rehabilitasyon), Madencilik ve Türkiye. http://www.madencilik-turkiye.com/pdfler/mak-1379077733.pdf s. 64-78

Ramani R.V., 1987. Environmental Planning for Surface Mining of Coal, Environmental Consequences of Energy Production Problems and Prospects, ABD: The Pennsylvania Academy of Science, sf. 54.

Ramani R.V., Sweigard R.J., Clar M.L.,1990. Reclamation Planning-surface Mining Handbook, A.B.D., sf. 750-769.

Raskin I., Smith R.D., Salt D.E., 1997. Phytoremediation of metals using plants to remove pollutants from the environment, Curr. Opin. Birstechnol, 8, 221-226.

Reeves R.D., 2006. Hyperaccumulation of trace elements by plants, Phytoremediation of metal-contaminated soils, NATO Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences, (Morel J.L., Echevarria G., Goncharova N. Ed.), Springer, NY, ss.1-25.

Ryan, L., 2007. Art+Ecology: Land Reclamation Works of Artists Robert Smithson, Robert Morris, and Helen Mayer Harrison and Newton Harrison, Environmental Philosophy, Special Double Issue: Environmental Aesthetics and Ecological Restoration,Vol. 4, Issue 1/2, s. 95-116.

Salt D.E., Rauser W.E., 1995. MgATP-Dependent Transport of phytochelatins across the tonoplast of oat roots, Plant Physiology, 107, 1293-1301.

Şimşir, F., Pamukçu Ç., Özfırat M. K., 2007. Madencilikte Rekültivasyon ve Doğa Onarımı, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt: 9 Sayı: 2 sf. 39-49.

Ulusoy, Y., Ayaşlıgil, T., 2012. Açık Maden Ocaklarının Rehabilitasyonu ve Doğaya Yeniden Kazandırılmasının "Şile-Avcıkoru" Örneğinde İrdelenmesi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 62(2):21-36, İstanbul

Uzun, A., Kara Sarıoğlu, D., Özcan, B.A., 2014. Üretimi Tamamlanmış Taş Ocakları Planlaması: Mekan Algısı ve Çevresel Sanat Yaklaşımları, Ulusal Mermer ve Taş Ocakları Onarım Teknikleri Sempozyumu, 18-20 Eylül 2014, Isparta. S.140-150

VI
Simulation and Modeling
Simülasyon ve Modelleme

ETİ MADEN KIRKA SARIKAYA OCAĞI İÇİN PATLATMA KAYNAKLI YER SARSINTISI KESTİRİM GRAFİKLERİNİN OLUŞTURULMASI

CONSTRUCTION OF BLAST INDUCED VIBRATION GRAPHS FOR ETI MADEN KIRKA SARIKAYA BORON MINE

Türker HÜDAVERDI, Özge AKYILDIZ*, Enver FERAH

İTÜ Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: akyildizoz@itu.edu.tr

ÖZET: Madencilik faaliyetlerinde en önemli çevresel etkilerden biri patlatma kaynaklı yer sarsıntısıdır. Patlatma faaliyeti mümkün olduğunca en düşük maliyetle ve en yüksek verimlilikle gerçekleştirilmelidir. Bu çalışmada Eti Maden Kırka Sarıkaya ocağında gerçekleştirilen patlatma kaynaklı yer sarsıntısı ölçümleri değerlendirilmektedir. Sarıkaya ocağında delik çapları 160 milimetredir. Basamak yükseklikleri 11 m civarındadır. Dilim kalınlığı 5 m delikler arası mesafe 5,5 metre olarak uygulanmaktadır. Öncelikle ölçekli mesafe kavramından yararlanarak saha için bir yer sarsıntısı tahmin denklemi geliştirilmiştir. Tahmin edilen yer sarsıntısı büyüklüğü en yüksek parçacık hızıdır. Bu denklemden faydalanarak mühendislerin kullanacağı pratik yer sarsıntısı tahmin grafikleri oluşturulmuştur. Oluşturulan tahmin grafikleri yoluyla atım öncesi istenilen mesafeler için tahmini yer sarsıntısını kestirmek mümkündür. Türkiye'de geçerli olan yer sarsıntısı limiti ve DIN 4150 normu tanıtılarak yer sarsıntısı için izin verilen maksimum seviyeler açıklanmıştır. Daha sonra bu limit seviyeler kullanılarak maksimum kullanılabilecek patlayıcı miktarı için tahmin grafikleri ortaya konmuştur. Bu grafikler yoluyla belirli bir sınır titreşim seviyesinin altında kalmak için en fazla ne kadar anlık patlayıcı şarjı kullanılabileceği kolaylıkla tespit edilebilmektedir. Mühendisler gerektiğinde limit titreşim seviyesinin altında kalmak için kullanılan patlayıcı miktarını düşürebilirler. Yapılar için gerçekleştirilen analizlere ek olarak yer sarsıntısının insanlar üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Atım noktasından yaklaşık 500 m uzaklaştıktan sonra yer sarsıntısının insanlar için hissedilebilir seviyenin altına

ineceği tespit edilmiştir. Yer sarsıntısının kestirimi için oluşturulan pratik grafikler, atım öncesi mühendislerin çevresel etki konusunda bir öngörü sahibi olmasını sağlayacaktır.
Anahtar Kelimeler: Patlatma, Yer sarsıntısı, Hasar kriteri, İnsan tepkileri
ABSTRACT: *Blast induced vibration is one of the most important adverse effects of mining activity. Blasting operation should be performed with minimum cost and maximum efficiency as much as possible. In this study, blast induced vibrations are investigated in Eti Maden Kırka Sarıkaya Mine in Eskişehir, Turkey. The hole diameter was 160 mm for the investigated blasts. The bench height is approximately 11 m. The burden is 5 m and spacing between adjacent holes is 5.5 m. Firstly, a site specific prediction equation for ground vibration was generated based on scaled distance concept. The equation predicts peak particle velocity. Then, practical vibration prediction graphs were drawn for the use of site engineers. In this way, it was made possible to predict the ground vibration values for the specific distances. Turkish regulation for blast induced vibrations and DIN 4150 Norm was introduced and maximum limit values was explained. Then, the prediction graphs for maximum instantaneous explosive charge were constructed considering the limitations. The graphs help site engineers for estimation of the instantaneous charge amount to meet the requirements of the regulations. Human response to the blast induced vibrations was also investigated in addition to the structural damage. The calculated ground vibration values become imperceptible by humans for the distances more than 500 m. The created vibration prediction graphs will help engineers for pre-estimation of blast induced environmental effects.*
Keywords: *Blasting, Ground vibration, Damage Criteria, Human response*

1. GİRİŞ

Kaya patlatma açık işletmelerde cevher ve örtü kazısı için gerçekleştirilen temel madencilik operasyonudur. Atım sonrası en uygun parça boyutunun en düşük maliyetle elde edilmesi gerekmektedir. Patlatma işleminin verimliliği kendinden sonra gelen yükleme, nakliyat ve kırma gibi ardışık operasyonları da etkilemektedir. Patlatma kaynaklı en önemli çevresel etki yer sarsıntısıdır. Yer sarsıntısı çalışma yapılan ocaktan çok uzaktaki yapılarda dahi etkili olabilmektedir. Aşırı yer sarsıntısı seviyeleri yapılara zarar vermekte ocak çevresindeki evlerde yaşayan insanlar için tedirginlik verici bir

unsur olmaktadır. Sürdürülebilir madencilik konsepti çerçevesinde yer sarsıntısının en düşük seviyelerde tutulması gerekmektedir.

Yer sarsıntısı ölçümü için titreşim ölçer sismograflar kullanılmaktadır. Yer sarsıntısı seviyeleri parçacık hızı, yerdeğiştirme, ivme ve frekans bilgileriyle tanımlanmaktadır. En çok kullanılan parametre parçacık hızıdır. Birçok ülke parçacık hızı seviyelerini gözeterek patlatma faaliyetleri için limit değerler ve düzenlemeler oluşturmuşlardır. Genel olarak parçacık hızı enine, boyuna ve düşey olmak üzere titreşim ölçer cihazlar tarafından ölçülür. En yüksek parçacık hızı (ppv) veya bileşke parçacık hızı (pvs) değerleri kullanılarak ölçümler değerlendirilir. Kimi düzenlemeler yer sarsıntısının frekans değerini de göz önüne almaktadır. Frekans değeri düştükçe izin verilen parçacık hızı seviyesi de azalmaktadır. Yer sarsıntısı ile ilgili ülkemizdeki temel düzenleme T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nde belirtilmiştir (Çizelge 1). Alman DIN4150 normu ve ABD kökenli USBM RI8507 (Siskind ve diğ., 1980; Rosenthal ve Marlock, 1987) normu uluslararası düzenlemelere örnek olarak verilebilir.

Çizelge 1. Maden ve Taş Ocakları ile Benzeri Alanlarda Patlama Nedeniyle Oluşacak Titreşimlerin En Yakın Çok Hassas Kullanım Alanının Dışında Yaratacağı Zemin Titreşimlerinin İzin Verilen En Yüksek Değerleri

Titreşim Frekansı (Hz)	İzin Verilen En Yüksek Parçacık Hızı (Tepe Değeri-mm/s)
1	5
4-10	19
30-100	50
(1 Hz- 4 Hz arasında 5 mm/s'den 19 mm/s'ye; 10 Hz- 30 Hz arasında 19 mm/s'den 50 mm/s'ye, logaritmik çizilen grafikte doğrusal olarak yükselmektedir)	

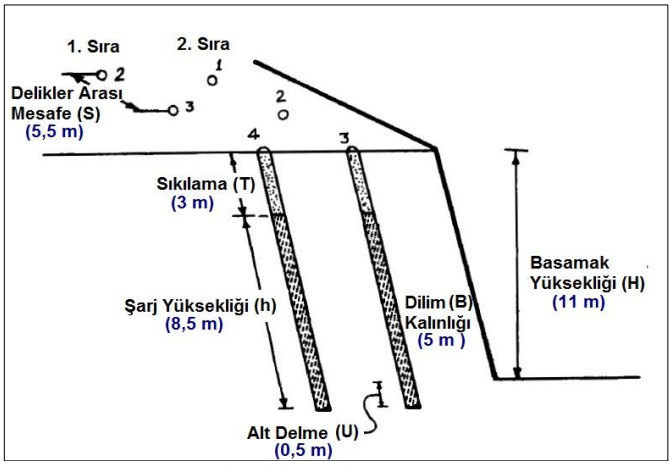
Bu çalışmada Eti Maden Kırka Sarıkaya ocağında gerçekleştirilen patlatma kaynaklı yer sarsıntısı ölçümleri değerlendirilmektedir. Ocak için her atım sonrası patlatma tasarım parametreleri detaylı olarak ölçülmüş ve yer sarsıntısı kayıtları alınmıştır. Ölçekli mesafe kavramı ve regresyon analizi yardımıyla ocak için bir yer sarsıntısı tahmin denklemi oluşturulmuştur. Bu denklem kullanılarak yer sarsıntısı tahmin grafiği geliştirilmiştir. Ulusal ve uluslararası normlar gözetilerek mesafelere göre maksimum patlatılabilecek anlık şarj değerlerinin hesaplanması için grafikler sunulmuştur. Son olarak genellikle göz ardı edilen, titreşimlerin insanlar üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Tahmin grafikleri patlatma kaynaklı yer sarsıntının kontrolü için ocakta çalışan mühendislere yardımcı olacaktır.

2. OCAKTA UYGULANAN PATLATMA TEKNİĞİ VE YER SARSINTISI ÖLÇÜMÜ

Sarıkaya ocağında işletilen Tinkal yatağı kuzey-güney yönünde yaklaşık 3.500 metre uzunluğunda, doğu-batı yönünde ise ortalama yaklaşık 800 metre genişliğinde bir koridor şeklinde olup; ortalama örtü tabakası kalınlığı 50 metre, cevher kalınlığı ise ortalama 70 metredir. Cevher yatağı merkezi kesiminde kalınlık artışı gösteren mercek biçiminde bir morfolojiye sahiptir. Kazı metodu olarak yukarıdan aşağıya doğru ters konik spiral basamak yöntemi uygulanmakta olup; kamyonların en alt kottaki cevhere ulaşımının sağlanabilmesi için cevher taşıma yolları spiral sistem ve/veya geri dönümlü sistemde oluşturulmaktadır (Şekil 1). Delme−patlatma işlemi ile gevşetilen cevher kayacının kazısı hidrolik paletli ekskavatörlerle yapılmakta ve yükleme-taşıma için "hidrolik paletli ekskavatör + kamyon sistemi" uygulanmaktadır (Ferah, 2006).

Şekil 1. Ocakta patlatma yapılan basamaklar

İşletmede patlayıcı olarak ANFO kullanılmaktadır. Yemleme emülsiyon tip patlayıcıdır. En sık kullanılan tasarımda basamak yüksekliği 11 m, dilim kalınlığı 5 m ve delikler arası mesafe 5,5 m'dir. Alt delme 0,5 m olarak uygulanmaktadır. Sıkılama mesafesi 3 m, şarj yüksekliği 8,5 metredir. Elektriksiz kapsüller ile ateşleme gerçekleştirilmektedir. Delik içi kapsüller 500 ms gecikmeye sahiptir. 25 ms ve 42 ms yüzey gecikme kapsülleri kullanılmaktadır. Şekil 2'de ocakta uygulanan patlatma tasarımı gösterilmiştir. Genellikle aynı anda patlayan delik sayısı 1'dir.



Şekil 2. Ocakta fiili uygulanan patlatma tasarımı

Titreşim ölçümü Instantel Minimate Plus model cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Cihaz enine, boyuna, düşey parçacık hızını ve frekans değerlerini ölçebilmektedir. Bir parçacık hızı tahmin denklemi oluşturmak için, her atım sırasında gecikme başına maksimum şarj ve titreşim ölçümü yapılan mesafe kayıt edilmiştir. Bu değerler kullanılarak ve USBM 'nin önerdiği yaklaşım esas alınarak ölçekli mesafeler hesaplanmıştır (Nicholls ve diğ 1971, Rosentahl ve Marlock, 1987). Ölçekli mesafe formülü şu şekilde ifade edilmektedir:

$$SD = D/W^{0.5} \quad (1)$$

Eşitlik 1 'de, *SD* ölçekli mesafe (kg/m^{0,5}), *D* atım ile ölçüm yapılan nokta arası uzaklık (m) ve *W* ise maksimum anlık patlayıcı şarjıdır (kg).

Ölçekli mesafe ile ölçülen en yüksek parçacık hızı arasındaki regresyon analizi parçacık hızı tahmin denklemini oluşturur:

$$ppv\ (mm/s) = K\ (SD)^{-\beta} \quad (2)$$

İkinci eşitlikte *ppv* en yüksek parçacık hızıdır. *K* ve β saha sabitleri olarak adlandırılmaktadır. Saha sabitleri jeolojik ve teknolojik etmenler tarafından şekillendirmektedir (Hüdaverdi, 2015).

Gerçekleştirilen regresyon analizi sonucu Kırka Sarıkaya ocağı için elde edilen parçacık hızı tahmin denklemi Eşitlik 3'de verilmiştir. Bu denklem yoluyla farklı mesafeler için yer sarsıntısı seviyelerini tahmin etmek mümkündür.

$$ppv = 539{,}67(SD)^{-1{,}797} \quad (3)$$

3. YER SARSINTISI İÇİN TAHMİN GRAFİKLERİNİN OLUŞTURULMASI

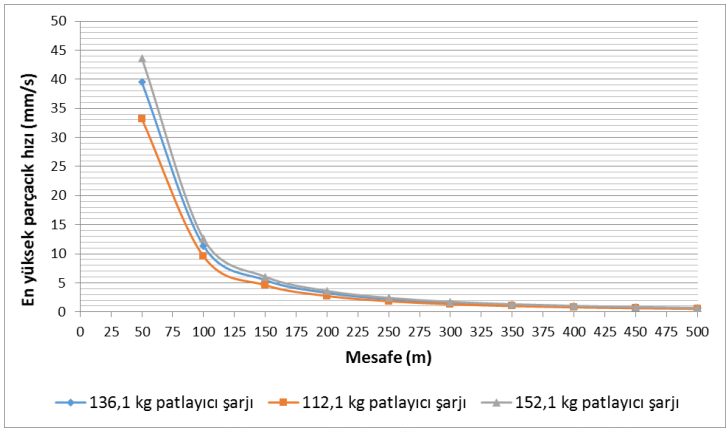
3.1 Mesafelere Göre Tahmin Edilen Yer Sarsıntısı Seviyeleri

Saha için geliştirilen 3 No'lu denklem kullanılarak mesafelere göre hesaplanan yer sarsıntısı değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2'nin 2. ve 3. Sütununda, ocakta en sık uygulanan 11 metre basamak yüksekliği ve 136,1 kg'lık anlık patlayıcı şarjı için hesaplamalar gösterilmiştir. 4. ve 5. sütunda 9,5 metrelik basamakta uygulanmış olan 112,1 kg'lık en düşük anlık şarj için hesaplamalar vardır. Ek olarak 152,1 kg'lık en yüksek patlayıcı şarjı için de parçacık hızları hesaplanmıştır. Böylece işletmenin temel patlatma tasarımı, olumlu senaryo ve en olumsuz senaryolar gözetilerek hesaplamalar yapılmıştır. Görüldüğü üzere 50 m gibi kısa bir mesafede dahi yönetmelikte belirtilen 50 mms/s değerini aşan bir titreşim seviyesi oluşmamaktadır. Sıklıkla uygulanan 136 kg'lık anlık şarj patlatılırsa, yaklaşık 75 metreden sonra yer sarsıntısı seviyesi 19 mm/s'nin altına inmektedir. 158 metreden sonra yer sarsıntısı seviyeleri 5 mm/s'nin altına inerek tamamen güvenli bir hal almaktadır. En olumsuz senaryo olan 152,1 kg'lık bir şarj patlatılsa dahi 50 m mesafede ortaya çıkacak en yüksek parçacık hızı seviyesi 43,62 mm/s olacaktır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Mesafelere göre hesaplanan yer sarsıntısı seviyeleri

	136,1 kg anlık patlayıcı şarjı için		112,1 kg anlık patlayıcı şarjı için		152,1 kg patlayıcı şarjı için	
D Mesafe (m)	SD Ölçekli mesafe ($m/kg^{0,5}$)	PPV En yüksek parçacık hızı (mm/s)	SD Ölçekli mesafe ($m/kg^{0,5}$)	PPV En yüksek parçacık hızı (mm/s)	SD Ölçekli mesafe ($m/kg^{0,5}$)	PPV En yüksek parçacık hızı (mm/s)
50	4,29	39,48	4,72	33,16	4,05	43,62
100	8,57	11,36	9,44	9,54	8,11	12,55
150	12,86	5,48	14,17	4,61	12,16	6,06
200	17,14	3,27	18,89	2,75	16,22	3,61
250	21,43	2,19	23,61	1,84	20,27	2,42
300	25,72	1,58	28,33	1,33	24,33	1,74
350	30,00	1,20	33,06	1,00	28,38	1,32
400	34,29	0,94	37,78	0,79	32,43	1,04
450	38,57	0,76	42,50	0,64	36,49	0,84
500	42,86	0,63	47,22	0,53	40,54	0,70
550	47,14	0,53	51,95	0,45	44,60	0,59
600	51,43	0,45	56,67	0,38	48,65	0,50
650	55,72	0,39	61,39	0,33	52,70	0,43
700	60,00	0,34	66,11	0,29	56,76	0,38
800	68,57	0,27	75,56	0,23	64,87	0,30
900	77,15	0,22	85,00	0,18	72,98	0,24
1000	85,72	0,18	94,45	0,15	81,08	0,20

Aşağıdaki grafik mühendisler için farklı mesafelere göre titreşim seviyelerinin hesaplanması için geliştirilmiştir. Ortadaki mavi renkli eğri işletmede sıklıkla uygulanan 11 metre basamak yüksekliği 136,1 kg patlayıcı şarjı gözetilerek çizilmiştir. Üstteki yeşil renkli eğri 12 m basamak yüksekliği 152,1 kg anlık şarj gözetilerek çizilmiştir. En altta bulunan turuncu eğri 112,1 kg'lık patlayıcı şarjı içindir (Şekil 3).



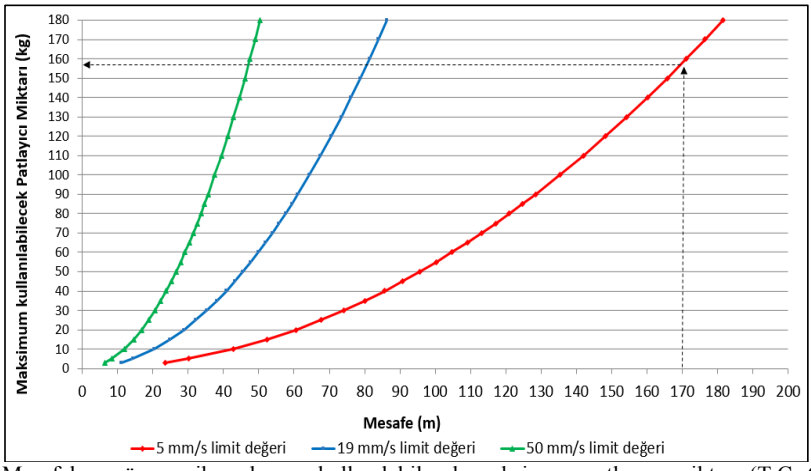
Şekil 3. Mesafelere göre tahmin edilen yer sarsıntısı seviyeleri

3.2 Gecikme Başına Kullanılabilecek Maksimum Patlayıcı Miktarının Kestirimi

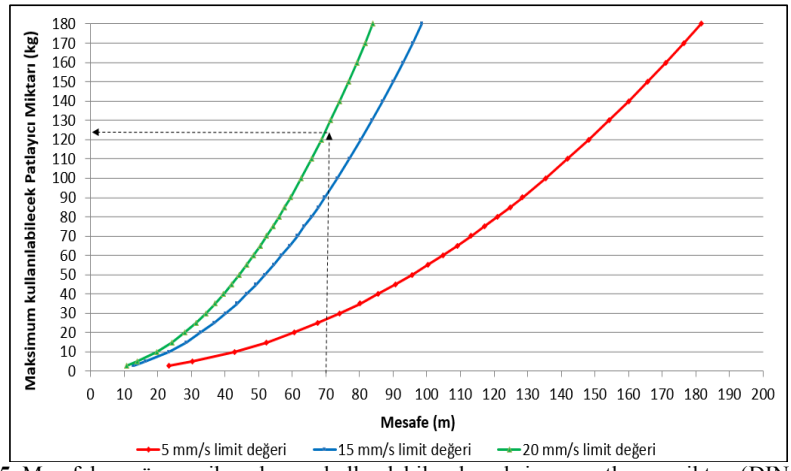
İki ayrı norm gözetilerek, patlayıcı miktarının belirlenmesi amacıyla kullanılabilecek pratik grafikler geliştirilmiştir. Şekil 4'de sunulan grafikte, 5 mm/s, 19 mm/s ve 50 mm/s değerleri için 3 farklı eğri çizilmiştir. Bu değerler "*T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği*'nde farklı frekanslar için belirtilen tepe limit değerlerdir. Örnek olarak 170 m. mesafede hassas bir yapı olduğunu varsayalım. Patlatma mühendisi bu yapı için 5 mm/s limit değerini gözetiyorsa 170 m mesafeyi kırmızı renkli eğri ile çakıştırıp "*y*" eksenine giderse gecikme başına ateşlenebilecek maksimum şarjın 159 kg olduğunu bulabilir. Bu örnek Şekil 4 üzerinde de gösterilmiştir. Grafik, belirli bir noktadaki nesneye ulaşan yer sarsıntısının limit değer altında kalması için, gecikme başına en fazla ne kadar patlayıcı kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Buna göre gerektiğinde kullanılan patlayıcı miktarı azaltılabilir.

Şekil 5, Alman DIN 4150 normu gözetilerek hazırlanmıştır. DIN 4150 normu endüstriyel yapılar, insanların yaşadığı konutlar ve tarihi hassas binalar için farklı limit değer önermektedir. Burada göz önüne alınan limitler konutlar içindir. İnsanların

yaşadığı yapılar söz konusu olduğunda DIN 4150 normu, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği ve USBM RI8507 normuna göre daha katı limit değerler önerir. Buna göre izin verilen en yüksek yer sarsıntısı değeri 20 mm/s'dir. 10 Hz ile 50 Hz frekans değerleri arasında maksimum 15 mm/s değerine izin verilir. 1 Hz ile 10 Hz frekans değerleri arasında maksimum izin verilen seviye 5 mm/s'dir. Şekil 5'de 3 farklı titreşim tepe değeri için mesafelere göre maksimum kullanılabilecek patlayıcı seviyeleri gösterilmektedir. Örneğin, 20 mm/s limit değerinin aşılmaması isteniyorsa, 70 metre mesafede gecikme başına maksimum 125 kg patlayıcı ateşlenebilir.



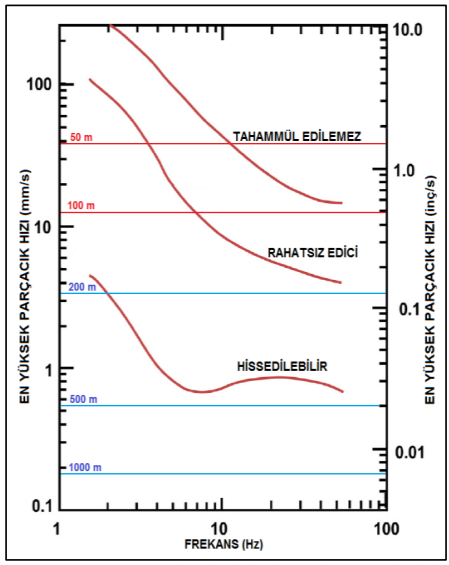
Şekil 4. Mesafelere göre gecikme başına kullanılabilecek maksimum patlayıcı miktarı (T.C. Çevre ve Şehircilik Bak. Yön.)



Şekil 5. Mesafelere göre gecikme başına kullanılabilecek maksimum patlayıcı miktarı (DIN 4150)

3.3 Yer Sarsıntısı Seviyelerinin İnsanlar Üzerindeki Etkisi

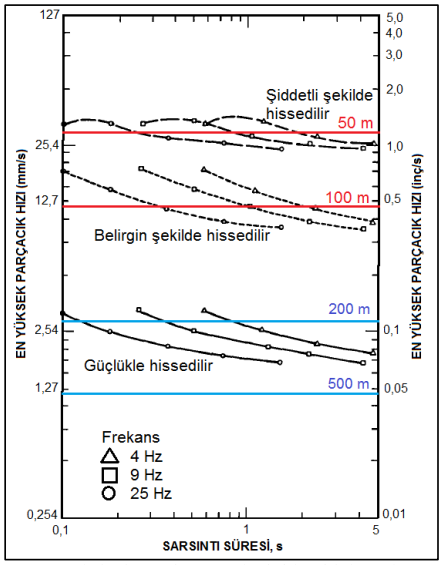
Şekil 6 yapılardan ayrı olarak, parçacık hızı seviyelerinin insanlar üzerindeki etkisini göstermektedir. Titreşimlerin insanlar üzerindeki etkisi hissedilebilir, rahatsız edici ve tahammül edilemez olmak üzere üç farklı grupta toplanmıştır (USACE, 1972; Bommer ve diğ. 2006). Kırmızı ve mavi yatay çizgiler ocakta patlatılan 136,1 kg'lık şarj nedeniyle mesafelere göre oluşacak yer sarsıntısı seviyelerini göstermektedir. Titreşimler 100 m mesafedeki insanlar için rahatsız edici seviyede değerlendirilmektedir. 200 metreden itibaren yer sarsıntısı değerleri rahatsız edici seviyenin altına inmektedir. 500 m mesafeden sonra artık insanlar tarafından hissedilebilir olmaktan çıkmaktadır.



Şekil 6. Yer sarsıntısı seviyelerinin insanlar üzerindeki etkisi

Şekil 7 de, Şekil 6'dan farklı olarak sarsıntı süresi de göz önüne alınmaktadır. Farklı frekans değerleri için farklı eğriler mevcuttur. Sarsıntı süresi arttıkça insanlar tarafından hissedilme ihtimali de artar. Bunun yanında, insanların yer sarsıntı süresine göre verdiği tepkiler grafiksel olarak verilmiştir. Bu grafikte de, kırmızı ve mavi çizgiler sarıkaya ocağında patlatılan 136,1 kg'lık şarj nedeniyle mesafelere göre oluşacak yer sarsıntısı seviyelerini göstermektedir. Buna göre, 50 metre mesafede 4, 9 ve 25 hertz frekans değerine sahip yer sarsıntıları şiddetli şekilde hissedilmektedir. 100 metre mesafede ise yer sarsıntısı belirgin şekilde hissedilmeye devam eder. 200 metreden sonra güçlükle hissedilen yer sarsıntıları 500 metre mesafeden sonra insanlar tarafından

hissedilebilir seviyenin altına inmektedir. Grafiğe göre, 2,54 mm/s parçacık hızına sahip 9 Hz frekanslı bir sarsıntının hissedilebilmesi için en az 0,4 saniye sürmesi gerekir. Oysa ki, aynı parçacık hızına sahip 4 Hz'lik bir sarsıntının hissedilebilmesi için, yaklaşık 1 saniye boyunca etkili olması gerekir. Yüksek frekanslı yer sarsıntısının insanlar tarafından daha kolay algılandığı görülmektedir.



Şekil 7. Yer sarsıntısı düzeyi ve süresinin insanlar üzerindeki etkisi (Wiss and Parmelee's-USBM-Siskind)

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kırka Sarıkaya ocağında gerçekleştirilen ölçümler sahaya özgü bir yer sarsıntısı tahmin denkleminin oluşturulmasını sağlamıştır. Bu tahmin denklemi kullanılarak gelecekteki atımları çevresel etki açısından değerlendirmek mümkündür. Yer sarsıntısı limitleri incelendiğinde genellikle 50 mm/s'nin izin verilen üst sınır olduğu görülmektedir. Ocaktaki ölçümlerde 50 metreden sonra titreşimler bu limit değerin altına düşmüştür. Yaklaşık 160 metreden sonra yer sarsıntısı değerleri 5 mm/s limit değerin altına düşerek tamamen güvenli hale gelmiştir.

İkinci aşamada mesafelere göre gecikme başına en yüksek patlayıcı miktarını veren grafikler hazırlanmıştır. Ülkemizdeki ulusal normun yanı sıra daha katı uluslararası bir norm da grafiklerin hazırlanmasında göz önüne alınmıştır. Yapılar için ortaya konan hasar değerlendirilmelerinin yanı sıra bu çalışmada titreşimlerin insanlar üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Titreşimler 200 metreden sonra rahatsız edici

seviyenin altına düşmektedir. 500 metreden sonra hissedilir olmaktan çıkmaktadır. Madencilikte çevresel etkiler yönetilirken, ocak çevresindeki yerleşimlerde yaşayan insanlarla iyi iletişim kurma ve onları bilgilendirme gerekliliği unutulmamalıdır. Titreşimlerin insanlar üzerindeki etkisini gözeterek yerleşimcileri bilgilendirmek, ocak ile yerleşimciler arasındaki iletişimi güçlendirecektir.

Maden ocakları sürekli gelişen, ilerleyen bir yapıdadır. Kayaç formasyonu zaman ilerledikçe veya ocağın farklı bölümlerinde değişiklik gösterebilir. Tahmin grafiklerini oluşturmak için kullanılan parçacık hızı kestirim denklemi zaman içinde yenilenmelidir. Yer sarsıntısı ile ilgili pratik grafiklerin oluşturulması, sürdürülebilir madencilik konsepti çerçevesinde ocakta çalışan mühendislere yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

Bommer J. J., Oates, S., Cepeda J. M., Lindholm C., Bird, J., Torres, R., Marroquín, G., Rivas, J., 2006. Control of hazard due to seismicity induced by a hot fractured rock geothermal project. Engineering Geology, Vol. 83, No: 4, pp. 287–306.

DIN 4150-3 Structural vibrations Part 3: Effect of vibrations on structures, 1999. Deutsches Institut für Normung (DIN), Berlin.

Ferah, E., 2016. Eti Maden Kırka Sarıkaya Ocağında Patlatma Kaynaklı Parçalanmanın Değerlendirilmesi ve Çok Sıralı Patlatma Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Hüdaverdi, T., 2015. Farklı Regresyon Modelleri ile Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntısının Tahmin Edilmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 30, No:1, s. 141-150.

Nicholls, H. R, Johnson, C. F., Duvall, W. L., 1971. Blasting Vibrations and Their Effects on Structure, United States Department of Interior, USBM, Bulletin 656.

Rosentahl, M. F., Marlock, G. L., 1987. Blasting guidance manual, Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement, Washington, DC.

Siskind, D. E., Stagg, M. S., Kopp, J. W, Dowding, C. H., 1980. Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting. (Report of Investigations 8507), U.S. Bureau of Mines, Washington, DC.

Siskind, D. E., Stagg, M. S., Kopp J. W. and Dowding, C. H., 1980. Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Surface Mine Blasting.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, 4 Haziran 2010, Resmi Gazete Sayısı: 27601.

USACE, 1972. Systematic drilling and blasting for surface excavations. Engineering Manual EM 1110-2-3800US Army Corps of Engineers.

DETECTION OF MAIN EFFECTS ON BURNED AREAS ARISING FROM FOREST FIRES

ORMAN YANGINLARI KAYNAKLI YANAN ALANLAR ÜZERİNDE ETKİLİ FAKTÖRLERİN BELİRLENMESİ

Bülent TÜTMEZ

Department of Mining Engineering, Inonu University, Malatya, TURKEY

bulent.tutmez@inonu.edu.tr

ABSTRACT: The main threats to wildlife and forests can be identified as deforestation, mining, and logging. In Turkey, as in different regions of the world, tens of thousands of hectares are devastated by forest fires annually. The settlements along the Mediterranean ecosystem are also affected by the fires with subsequent devastation. In this study, the Mediterranean ecosystem was focused as the field and the burned areas arising from the forest fires encountered was appraised by a novel regression algorithm which is the Ridge regression. The Ridge algorithm starts from a regularization perspective and finally analyzes a system based on the bias-variance trade-off. The modelling works performed by the records obtained from Antalya region showed that the proposed method outperforms the conventional least squares method.

Keywords: Forest fire, Ridge regression, Regularization

ÖZET: *Yaban hayatı ve ormanları tehdit eden başlıca tehditler; ormansızlaştırma, madencilik ve ticari amaçla ağaç kesimi olarak belirtilebilir. Dünyanın farklı bölgelerinde olduğu gibi Türkiye'de de her yıl binlerce hektar alan orman yangınlarından zarar görmektedir. Akdeniz ekosistemi boyunca yer alan yerleşimler, yangınların yıkıcı etkisine doğrudan maruz kalmaktadır. Bu çalışmada, Akdeniz ekosistemi çalışma sahası olarak ele alınmış ve orman yangınlarından kaynaklı yanan alanlar Ridge regresyonu kullanılarak değerlendirilmiştir. Ridge algoritması düzenlileştirme perspektifinden hareketle sonuçta hata-değişkenlik dengesini kurmaya çalışmaktadır. Antalya bölgesi verileriyle gerçekleştirilen modelleme çalışmaları, önerilen algoritmanın en küçük kareler yöntemine üstünlüğünü ortaya koymaktadır.*

Anahtar Kelimeler: *Orman yangını, Ridge regresyonu, Düzenlileştirme.*

1. INTRODUCTION

As one of the reasons of the forest fires, creating new mining sites has notifiable importance on natural ecosystems. In places, ore deposits such as copper, nickel, bauxite, manganese, iron and gold can be found within the forests. The mineral resources are being offered to encourage extraction projects to stimulate economies. Thus, mining may be one of the threats to forests and wildlife (Butler 2012). On the other hand, before the mining activities, the effects of deforestration, agriculture and logging (cutting down tree for commercial purpose) should be expressed with priority.

The official data given by the Directorate of Forestry expressed that nearly 9000 plant species of which 3000 are endemic are located in forestlands in Turkey (OGM-RD 2015). In addition to plant species, many ecological (wildlife) and touristic regions are also fallen within old growth. On the other hand, forest fires result in the destruction of forests and wildlife as well as touristic places. It also creates disastrous economic, environmental and social impacts. Forest fires cause tragic and costly outcomes, and in the short-term, a burned area may not be visually agreeable (Omi, 2005). Finally, the origins of the reasons whether mining or different sources, the burned areas correspond to irrecoverable losses.

Recently, many countries have taken some measures to predict and control potential forest fires and they gave importance to reporting and risk assessment-based studies (Kalabokidis et al. 2015; Yang et al. 2015; Castelli 2015). To overcome this important issue, in the first step a reliable data analysis is required. In addition to the causes of the forest scars, the relationships among the main parameters should be manifested based on the records kept by the national authorities (Tutmez et al. 2017). By this way, critical statistical data required by decision makers and local authorities can be appraised.

The conventional least squares (LS) regression is one of the well-known data analytics methods used in modelling works. The LS generates low bias, but it suffers from high variance. As an advanced algorithm, the Ridge regression (RR) was suggested to eliminate these drawbacks (Frank and Friedman 1993). The RR considers all predictors and it aim to provide reduced variance as a result of regularization. The method was discussed as an alternative in the presence of multi-collinearity problem (James et al.2013).

Determination of the relationships in forest fire parameters has been the main motivation of the study. For this purpose, the forest fires recorded in the Antalya (Western Mediterranean) region have been assessed by the ridge regression method. The importance of the independent variables such as spatial coordinates and temperature on greatness of burned area has been investigated and the outcomes have been discussed. The results showed that the ridge algorithm outperformed the conventional LS method.

The rest of the paper can be summarized as follows. Section 2 describes the problem and the Ridge regression algorithm. Section 3 gives the case study and a comparative assessment. The paper is concluded by Section 4.

2. METHODOLOGY

2.1. Problem Statement

In Mediterranean ecosystem, forests take vital ecological roles. To this respect, the recent forest fires and the challenges confronted have created a necessity to take new effective precautions against the forest fire problem. There are many parameters, which could be become more of an issue such as locations (spatial coordinates) and temperature, gained importance on the quantity of burned areas. From this reference point it has accepted that appraising a region by a new fire-scar detection method can ensure new tools to develop a spatial decision-support system. The statistical methods used in this decision-support system should consider variability as well as accuracy.

2.2. Ridge regression (RR)

In LS analysis, conducting estimations with many indicator variables and without penalization will end up with large intervals. The LS estimation depends on the matrix $(X^T X)^{-1}$ and if this matrix is a singular matrix β_{LS} cannot be calculated in the correct way.

In the conventional LS algorithm, the regression coefficients are obtained by

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (1)$$

The Ridge estimator (Hastie et al., 2001) can be provided by adding a small constant:

$$\widehat{\beta_R} = \left(X^T X + \lambda I_p\right)^{-1} X^T Y \quad (2)$$

Where λ is pre-chosen constant and used as a tuning parameter. $\widehat{\beta_R}$ is defined to minimize the penalized sum of squares as follows:

$$\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^{p}\beta_j x_{ij}\right)^2 + \lambda\sum_{j=1}^{p}\beta_j^2 = RSS + \lambda\sum_{j=1}^{p}\beta_j^2. \qquad (3)$$

In eq (3), RSS indicates the residual sum of squares. By making the RSS small, ridge regression pursues coefficient estimates that fit the data well. The term $\lambda\sum_{j=1}^{p}\beta_j^2$ is expressed as shrinkage penalty which is small when $\beta_1, \ldots, \beta_p$ are close to zero. In eq. (3), the relative impact of the terms is stated by the constant λ (James et al. 2013).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Data Set

The field considered covers 2.110.997 hectares; forests cover 55%, the rest of the region contains open fields (OGM-RD 2015). The data set obtained from the Regional Directorate of Forestry the Antalya (Western Mediterranean) district includes the annual measurements recorded in 2014 (Boran and Yorulmaz 2014; Tutmez et al 2017). Fig.1 shows the fire locations. Although the map in Fig.1 covers all fire records, the data set considered in this study comprises of 100 measurements. To make The burned areas lower than 5 decares have been omitted.

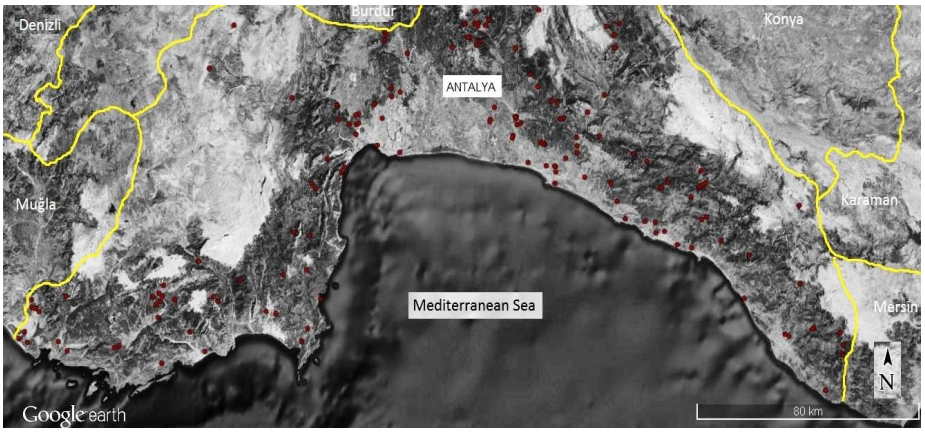


Figure 1. Forest fire locations in 2014 (After Tutmez et al. 2017)

In the modelling works, in addition to the spatial coordinates (measurement locations), daily average temperatures have also been considered as the indicator variables. Fig. 2 summarizes the data properties and the variability. Although the violin plots given in Fig. 2. addressed some randomness, many same temperature values were

recorded in different levels of burned area. Since all the input parameters have not broad and shallow violin structures, a central tendency can be expressed.

The conventional LS and the RR methods were applied, successively. Selecting pre-chosen constant λ is the critical step in the Ridge modelling. This value has been selected using ten-fold cross validation. With this design, a grid was structured as a 4 x 100 matrix, with 4 rows (independent variables and an intercept) and 100 columns (number of data). To perform the function over a grid of values, a range was defined from $\lambda = 10^{10}$ to $\lambda = 10^{-2}$. Fig. 3 illustrates the simulations.

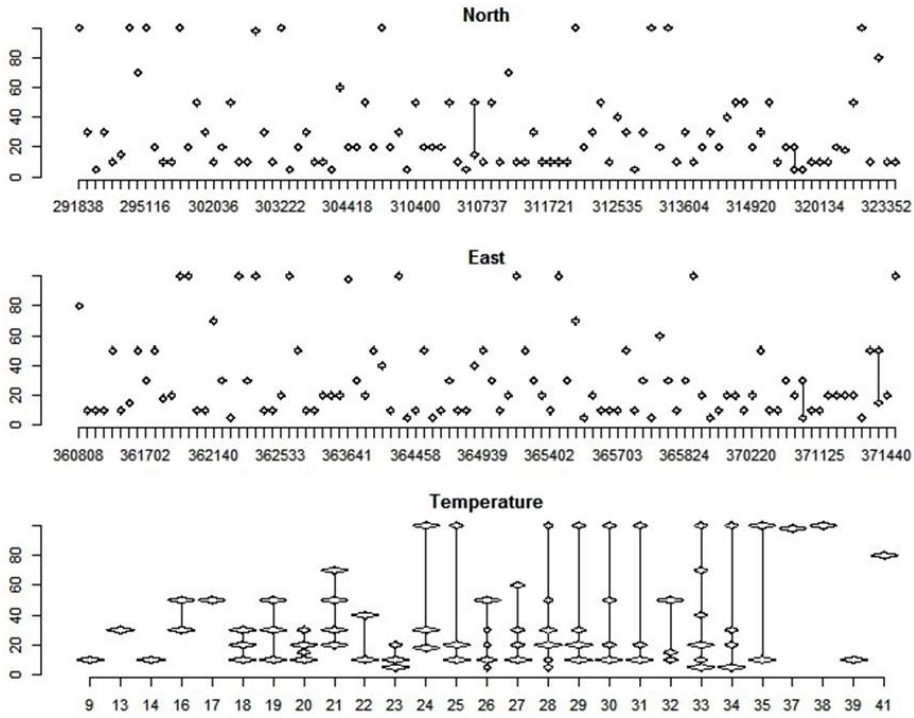


Figure 2. Violin plots for inputs.

As a result of the applications, the best value λ has been determined as 0.095. The mean squared errors (MSE) were obtained for the LS method as 0.096, for the Ridge method as 0.079, respectively. Table 1 comparatively summarizes the model parameters and the deviations (Std) of the estimations. As can be recorded in Table 1, the Ridge algorithm regularized the coefficient estimates towards zero. Although the RR provided relatively better accuracy (lower MSE), it produced smoothed outputs *(Std=0.065)* than the LS method *(Std=0.144)* and the observations *(Std=0.272)*.

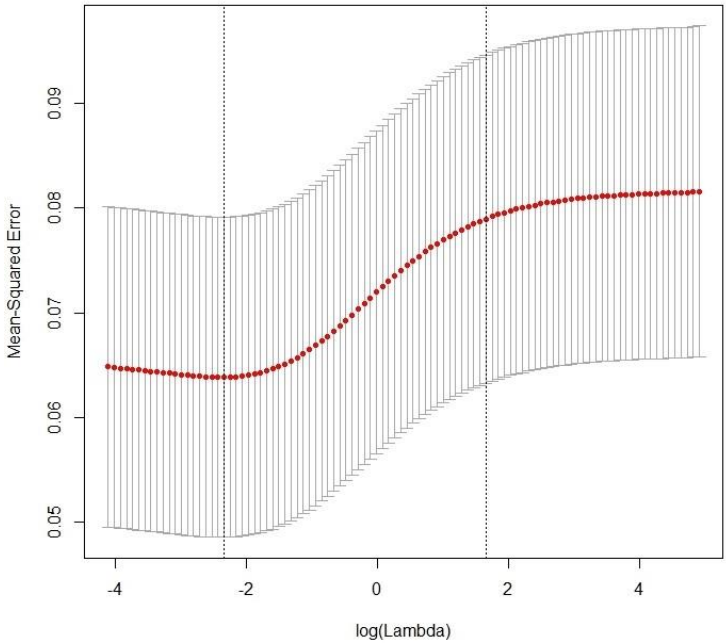


Figure 3. Cross-validation for determining tuning parameter.

Table 1. Parameters of regression models.

	Regression Parameters				
Model	Intercept	North	East	Temperature	**Standard Deviation (Std)**
LSE	0.419	-0.392	-0.179	0.235	0.144
Ridge	0.271	-0.129	-0.109	0.194	0.065

4. CONCLUSIONS

Forest fires can be reasoned by different sources such as deforestration, mining, agriculture and logging. For whatever resaon, forest fires lead to tragic and costly outcomes, and in a short-term, a burned area may not be visually agreeable.

The fire-scar problem encountered in the Mediterranean ecosystem was considered and the burned areas arising from the forest fires evaluated via Ridge regression. The Ridge regression algorithm shrinked the coefficients close to zero. It also analyzed the system based on the bias-variance trade-off. The results showed that the Ridge algorithm outperforms the conventional LS method in accordance with the accuracy. On the other hand, it also revealed a smoothing effect which sometimes would be a disadvantage in the decision making processes.

ACKNOWLEDGEMENT

The author would like to extend their appreciation to the Regional Directorate of Forestry in Antalya.

REFERENCES

Boran A, Yorulmaz T., 2014. Calculating emissions and economic losses arising from forest fires, a sample district: Antalya, Undergradute thesis, Akdeniz University, Antalya (in Turkish with English abstract).

Butler R., 2012. A Conservationist Sees Signs of Hope for the World's Rainforests. Yale Environment 360., Yale, USA.

Castelli M., Vanneschi L., Popovic A., 2015. Predicting burned areas of forest fires: an artifical intelligence method, Fire Ecology 11(1): 106-118.

Frank, I.E., and Friedman, J.H., 1993. A Statistical View of Some Chemometrics Regression Tools, Technometrics 35, 109–148.

Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J., 2001. The Elements of Statistical Learning.Springer, New York.

James, G., Witten, D., Hastie, T., Tibshirani, R., 2013. An introduction to statistical learning, Springer, New York, 424 p.

Kalabokidis K, Palaiologou P, Gerasopoulos E., 2015. Effect of climate change projections on forest fire behavior and values-at-risk in Southwestern Greece. Forests 6(6): 2214-2240.

OGM-RD., 2015. Forest fires in Antalya region, Unpublished Document of Regional Directorate of Forestry, Antalya.

Omi PN., 2005. Forest fires: a reference handbook. ABC-CLIO, California.

Tutmez, B., Ozdogan, MG., Boran, A., 2017. Mapping forest firesby nonparametric clustering analysis, Journal of Forest Research, DOI: DOI 10.1007/s11676-017-0417-4.

Yang W, Gardelin M, Olsson J., 2015. Multi-variable bias correction: application of forest fire risk in present and future climate in Sweden. Natural Hazards and Earth System Sciences 15(9): 2037-2057.

MADENCİLİK BÖLGESİNDEKİ ÇİNE DAĞLARI İÇİN ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK TABANLI JEOTURİZM UYGULAMASI

AUGMENTED REALITY BASED GEOTOURISM APPLICATION FOR THE ÇİNE MOUNTAINS IN MINING AREA

Enis KARAARSLAN[1*], Ömer Faruk DEMİR [1], Murat GÜL[2]

1:Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Muğla, TÜRKİYE

2:Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Muğla, TÜRKİYE

*: Sorumlu Yazar: enis.karaarslan@mu.edu.tr

ÖZET: Çine (Aydın) - Yatağan (Muğla) bölgesi arasında kalan Çine Dağları doğu ve batı uzanımlı olarak Menderes Masifi metamorfik birimleri tarafından oluşturulmuştur. Çine dağlarında Çine Asmasifi olarak da adlandırılan bu alan endüstriyel açıdan da önemli çok sayıda feldispat, kuvars ve mermer ocağına ev sahipliği yapmaktadır. Bölge geçmişten günümüze önemli bir yerleşim alanı olmuştur. Gerga, Alinda, Stratonikeia ve Lagina antik kentleri de bu bölgede bulunmaktadır. Ayrıca bu alan hemen herkesin fark ettiği morfolojik oluşumlara ev sahipliği yapmaktadır. Bölge yıllardır plan aşamasında olan jeopark alanının bir parçasıdır. Bölge, madencilik faaliyetlerinin ve yerleşim alanlarının baskısı altındadır. Bölgenin korunumu, bu bölgenin farkındalığının arttırılması ile mümkündür. Bölgeye ait bilgilerin web sayfalarından ve sosyal medyadan erişilebilir olması sağlanmalıdır. Bu çalışmada yöre mirasının herkes tarafından erişilebilir hale getirilmesi için ön ürünü hazırlanmış olan, arttırılmış gerçeklik teknolojisi tabanlı Android mobil uygulaması sunulmuştur. QR kod, konum bazlı tanımlama ve görüntü tanıma teknikleri kullanılarak, kullanıcıların mobil cihazlarıyla bölgenin jeoturizm bilgilerine ulaşmasının sağlanması hedeflenmektedir. Bu çalışmada sistemin nasıl çalışacağına dair bilgiler ve kullanıcı arayüzleri sunulmuştur. Yörede vurgulanması gereken jeopark özellikleri ve madencilik faaliyetleri ile bilgiler de verilerek bölge tanınırlığının arttırılması mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Jeoturizm, Artırılmış gerçeklik, Çevre dostu madencilik, Jeopark

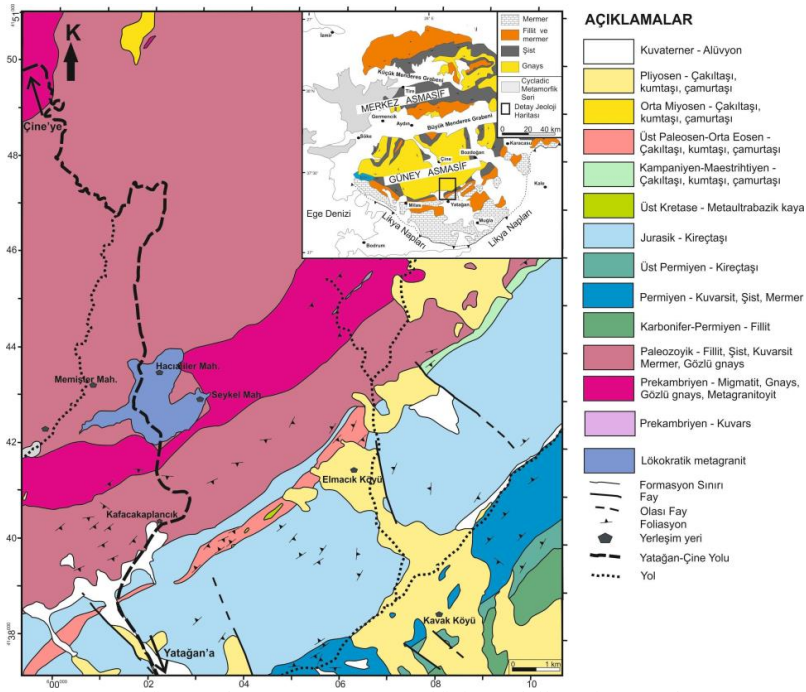
ABSTRACT: *The Çine Mountains between Çine (Aydın) and Yatağan (Muğla), are east and west trending and is formed by the Menderes Massif metamorphic units. This area, also known as Çine Asmasifi in the Çine Mountains, hosts a large number of feldspar, quartz and marble quarries, which are also important from an industrial point of view. The area has been an important settlement area since the past. There are also ancient cities such as Gerga, Alinda, Stratonikeia and Lagina. Moreover, this area is the home to the morphological formations that almost everyone has noticed. The area is part of a geopark area that has been in the plan for years. The area is under under the pressure of the mining activities and the settlement areas. The conservation of the area is possible by increasing the awareness of this region. It must be ensured that the region information is accessible from the web pages and the social media. In this study, the prototype of the augmented reality based Android mobile application is presented which will be used to make the local heritage accessible to all. It is aimed to enable users to access geotourism information of the region with mobile devices by using techniques like QR code, location based identification and image recognition. In this study, information on how the system works and the user interfaces are presented. It is possible to give the geopark properties and the information about mining activities that should be emphasized in the region to increase the region's recognition.*

Keywords: *Geotourism, Augmented reality, Environment friendly mining, Geopark*

1. GİRİŞ

Günümüzde hemen hemen her bölgede madencilik faaliyetleri sırasında, çeşitli nedenlerle korunması gerekli ve sonraki nesillere bırakılması gereken özel koruma alanlarıyla karşı karşıya kalınmaktadır. Bu noktada bölgedeki madenciliğin getireceği ekonomik katkılar ile çevre korunumunun getireceği fayda çok iyi değerlendirilmelidir. Oluşumları çok özel şartlar gerektiren doğal zenginliklerin korunması ve geliştirilmesi oldukça önemlidir. Ülkemiz tarihi ve turistik alanlarda çok zengin olan, yerli ve yabancı turist sayısı yüksek bir ülkedir. Giderek gelişmekte olan ve çok sayıda yerli ve yabancı turist sayısına sahip olan turizm türlerinden birisi de Jeoturizmdir. Jeoturizm'in temelinde doğal yapıların turistler tarafından yoğun bir ilgiyle ziyaret edilmesi yatmaktadır. Jeoturizm ülkemizdeki yerli ve yabancı turist sayısında çok önemli bir potansiyele sahiptir (Güngör, 2012).

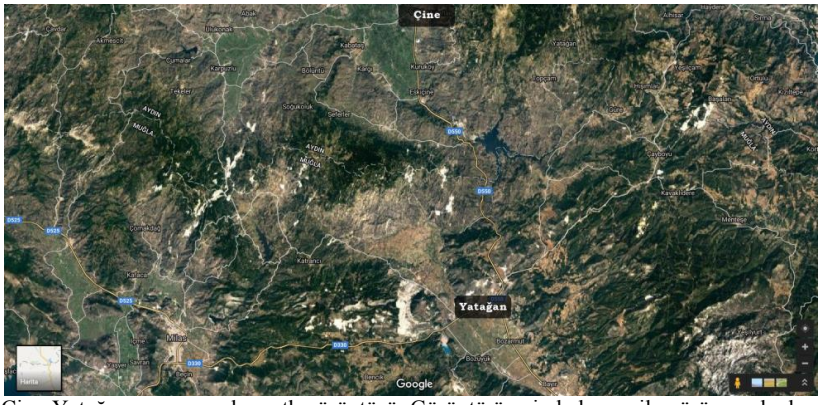
Proje sahası olarak belirlenmiş olan Çine (Aydın) - Yatağan (Muğla) arasında kalan Çine Dağlarında bulunan alan Muğla yerel yönetimlerince jeopark alanı olarak değerlendirilmesi planlanan alandır. Bu jeopark alanının 3 belde, 20 köy ve 180 kilometrekarelik bir alanı kapladığını, 30-50 arasında jeosit durağı (bunlar özel jeomorfolojik oluşumlar içermektedir) ile beraber, geçmişi MÖ 4000 yıllara dayana antik kentler, Hristiyanlık dönemine ait kutsal freskler, Selçuklu-Osmanlı dönemine ait yapılar ile, Kazan göleti, Pınarbaşı ve Çine Kül barajı gibi mesire yerlerini de içermektedir (Oğuz, 2011). Menderes Masifi, Çine Asmasifi çekirdek ve örtü birimlerinin yüzeylendiği bu alan, aynı zamanda çok sayıda mermer, feldispat ve kuvars ocağına ev sahipliği yapmaktadır (Şekil 1-2). Bu ocakların gelişimi, oluşan artıkların depolanması gibi madencilik faaliyetleri bu oluşumların varlığını tehdit etmektedir.



Şekil 1. Menderes Masifi - Merkez ve Güney Asmasifinin Jeoloji Haritası (Okay, 2001; Whitney ve Bozkurt, 2002; Bozkurt, 2004; Akbaş ve diğ., 2017)

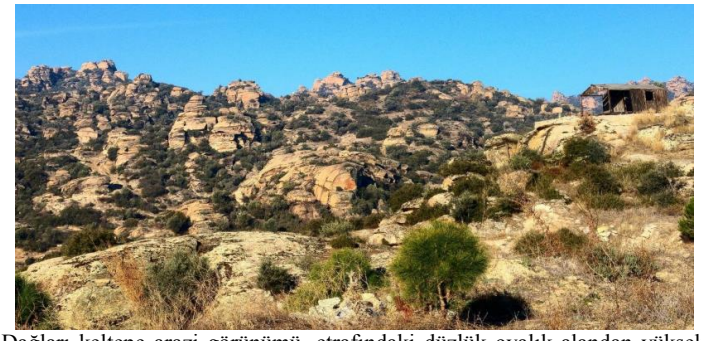
Kazancı ve diğ. (2012) jeolojik miras alanlarının korunumunun farklı kanunlarla güvence altına alındığını belirtmiştir. Bunlar; 1983 yılında çıkarılmış 2862 nolu "Kültür Ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu", 2872 sayılı Çevre Kanunu (2006 yılında değişikliğe uğramıştır), 2873 sayılı Milli Parklar Kanunu, 2005 yılında çıkarılmış 5403

sayılı "Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı" kanunlarıdır. Bunlara ek olarak; 2004 tarihli 5177 sayılı Maden Kanunu, madencilik faaliyetinin yürütüldüğü alanların fiziksel ve biyolojik ortamlarının korunmasını gerektirmektedir (Kazancı ve diğ., 2012).



Şekil 2. Çine-Yatağan arası google earth görüntüsü. Görüntü üzerinde beyaz ile görünen alanlar mermer-feldspat-kuvars ocaklarının yürütüldüğü alanlardır.

Bu oluşumlardan en uygun olanlarının korunması ve gelecek nesillere aktarılması gerekmektedir. Bölgedeki özel jeomorfolojik oluşumlardan yol güzergahı boyunca belirlenebilenler, kubbemsi-keltepe-adatepe, sütun yapıları, yüzey oyulmaları, poligonal çatlaklar, taş oyukları, bal peteği bozunma yapıları, mantar kaya oluşumları, soğan kabuğu soyulmaları, küresel bozunma ürünleri ve kıvrımlı kenar oluşumlarıdır (Şekil 3-5) (Gül ve Uslular, 2014, 2015, 2016, 2017). Tüm alanının koruma kapsamına alınması yerine jeosit açısından uygun örnek sahaları seçilmeli, madencilik faaliyetleri çevreyle ve jeopark projesiyle uygun barışık şekilde yürütülmesi büyük önem taşımaktadır.



Şekil 3. Çine Dağları keltepe arazi görünümü, etrafındaki düzlük ovalık alandan yüksekte olan tepelik üzerinde daha küçük sütun yapıları ve diğer yapılar gözlenebilmektedir.

Şekil 4. Keltepe eteklerinde gözlenen özel jeomorfolojik oluşumlar. Oluşumun üst yüzeyinde taş oyulmaları gözlenirken, alt bölümde taş oyuğu-tafoni oluşumları gözlenmektedir.

Şekil 5. Çine Dağları keltepe arazi eteklerinde gözlenen sütun yapılarının genel görünümü.

Marmaris, Dalyan, Fethiye gibi önemli yaz turizmi bölgelerinden bu yol kullanılarak Efes'e turlar gerçekleştirilmektedir. Ancak bu hareketlilikler esnasında yersel coğrafik güzellikler, arkeolojik zenginlikler göz ardı edilmektedir. Kültürel turizmin arttırılması birazda bölge güzellikleri ile ilgili farkındalığın arttırılması, ulaşılabilirliğin kolaylaştırılmasından geçmektedir.

Arttırılmış gerçeklik teknolojisi kullanılan uygulamalarla Jeoturizm alanlarına kullanıcıların kolay bir şekilde ulaşmasını sağlamak, ulaştıklarında ise tarihi veya doğal yapı hakkındaki bilgileri sesli, görüntülü ve interaktif bir şekilde görüntülemelerini sağlamak mümkündür. Bu şekilde doğal yapılar konusunda oldukça zengin olan ülkemizde jeoturizmi arttırmak ve her yaştan kişinin gezi rehberi veya gidilecek konum hakkında bilgili birisi olmadan rahatça ulaşıp gördükleri yapılar hakkında bilgi alması sağlanacaktır. Bu durum ülkemizin birçok tarihi alanına daha fazla yerli ve yabancı turist çekeceği için ülke genelinde turizmin kalkınması sağlanacaktır.

2. TEMEL KAVRAMLAR

2.1 Mobil Teknoloji

Mobil teknoloji özellikle akıllı telefonların yaygınlaşmasının ardından günümüzde teknoloji alanında geniş bir yere sahiptir. Birkaç sene öncesine kadar basit bir kaç işlem kapasitesine sahip olan mobil telefonlar şu an masaüstü bilgisayarlarımızın gücünü yakalamaya oldukça yakındır. Kullanım kolaylığı ve herkes tarafından kolaylıkla ulaşılabilir olması mobil teknolojinin giderek gelişmesini ve ilgi alanı olmasını sağlamıştır. Mobil teknolojinin gelişmesi internet kullanımının yaygınlaşmasında önemli bir yere sahiptir. Bu sayede bilgiye erişim ve bilgi paylaşımı oldukça kısa bir sürede gerçekleşmektedir. Aynı zamanda bu cihazların yüksek doğrulukta konum ve yön takibi yapabilmelerini sağlayan jiroskop ve GPS sensörleri konum tabanlı uygulamaların geliştirilmesinde önemli ölçüde rol almaktadır. Buna ek olarak gelişen kamera kalitesi ve görüntü işleme hızları mobil teknolojide arttırılmış gerçeklik uygulamaları geliştirmeye olanak sağlamaktadır.

2.2 Artırılmış Gerçeklik

Arttırılmış gerçeklik (Augmented Reality), kullanıcıların cihaz kameraları ile görüntülediği gerçek görüntü üzerine işlenmiş sanal bir görüntü, bilgi veya animasyon eklemektir. Arttırılmış gerçeklik teknolojisi uygulanırken temel olarak kullanılan teknikler görüntü işleme ve konum tabanlı veri işlemedir. Arttırılmış gerçeklik teknolojisi son yıllarda popüler olmakla beraber hali hazırda pazarlama, eğitim ve oyun alanında adından sıklıkla söz ettirmeye başlamıştır. Bu teknolojinin kullanılabileceği bir alan da turizmdir. Ülkemiz tarihi ve turistik alanlarda çok zengin olan, yerli ve yabancı turist sayısı yüksek bir ülkedir. Giderek gelişmekte olan ve çok sayıda yerli ve yabancı turist sayısına sahip olan turizm türlerinden birisi de Jeoturizmdir.

Jeoturizm'in temelinde doğal yapıların turistler tarafından yoğun bir ilgiyle ziyaret edilmesi yatmaktadır. Jeoturizm ülkemizdeki yerli ve yabancı turist sayısında çok önemli bir potansiyele sahiptir. Arttırılmış gerçeklik teknolojisinin jeturizme uygulanması ile bulunan jeoparkların tanıtımının yapılabileceği gibi birçok jeolojik alanın turizme kazandırılması ve korunması sağlanması hedeflenmektedir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu uygulama aracılığıyla kullanıcılar, gidecekleri alanın haritasını QR kod veya lokasyon bazlı tanımlama ile Android cihaz üzerinde arttırılmış gerçeklik uygulaması ile üç boyutlu bir şekilde görmesi sağlanacaktır. İnternet erişimi bulunan durumlarda bulundukları konum GPS üzerinden hesaplanıp gidecekleri yol haritasındaki yerleri gerçek zamanlı olarak güncellenecektir. İnternet erişimi bulunmama ihtimaline karşı yol haritalarını internet erişimi varken indirip cihazda saklamaları sağlanacaktır. İnternet erişiminin olmadığı durumlarda hesaplanması gereken konum, belirli aralıklarla broşürlerden sağlanacaktır. Broşürlerdeki QR kodun okutulmasıyla konum sabitlemesi yapılacak ve böylece aynı yol haritasında kalmaları sağlanacaktır. Ulaşmak istedikleri tarihi, turistik veya önemli mekana vardıklarında ise hakkında bilgi almak istedikleri doğal yapı, bina, sanat eseri, kalıntı QR kod veya görüntü tanıma ile belirlenip cihaz ekranında arttırılmış gerçeklik uygulaması ile görüntülenebilecektir. Aynı şekilde internet erişiminin olmadığı durumlarda görüntüler önceden indirilebilir olmasının sağlanması hedeflenmektedir (Fiore ve Allessandro, 2014; Kounavis vd., 2012; Han vd., 2014; Karaarslan vd., 2016).

4. UYGULAMA

Bu kapsamda bölgede keşifler yapılmış ve örnek oluşumlar belirlenmiştir. Doğal yapıların konumları GPS ile alınmış ve fotoğraflanmıştır. Muğla yöresinde jeoturizm uygulamaları için web sitesi oluşturulmaya başlanmıştır. Mobil uygulamanın prototipi gerçekleştirilmiştir.

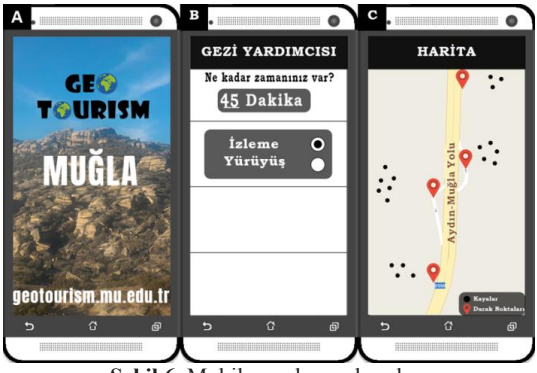
4.1 Web Sitesi

Bu uygulama kapsamında proje ve bölgenin tanıtımı ve jeoturizmin geliştirilmesi için web sitesi (http://geotourism.mu.edu.tr/) oluşturulacaktır. Bu web sitesi arama motorları tarafından indekslenmeye uygun bir şekilde dizayn edilecektir. Bu dizayn anahtar kelimelerin uygun bir şekilde seçilip sitedeki gerekli alanlara etiket olara verilmesiyle sağlanacaktır. Bu metotla siteye erişim oranı daha da arttırılacak olup jeoturizmin tanıtımına önemli bir katkı sağlanacaktır. Aynı şekilde bu anahtar kelimeler sosyal medya entegrasyonunda da sıklıkla kullanılacaktır.

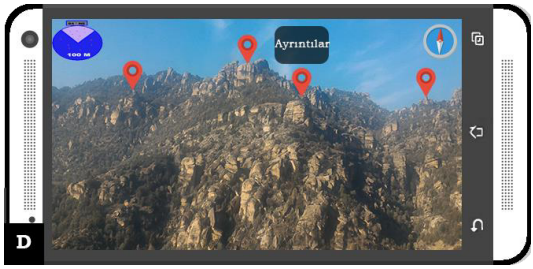
4.2 Mobil Uygulama

Mobil uygulama için kullanıcı arayüzleri hazırlanmıştır. Bu arayüzler şu şekildedir.

- Giriş Ekranı: (Şekil 6.a) Bu ekran kullanıcılara görsel açıdan güzel bir giriş ekranı sağlayarak uygulamanın daha dikkat çekici olmasını sağlayacaktır.
- Gezi Yardımcısı: (Şekil 6.b) Bu ekran kullanıcının ne kadar süresi olduğu ve geziyi hangi şekilde tercih ettiği yanıtlarına göre örnek gezi haritası çıkaracaktır.
- Harita: (Şekil 6.c) Bu ekran kullanıcılara harita üzerinde durak noktaları ve kayaların lokasyonlarını göstermek için kullanılacaktır. Bu harita o konumda bulunmadan kullanılabileceği gibi aynı şekilde kullanıcının lokasyonu ile dinamik olarak değişecektir.
- Manzara Ekranı: (Şekil 6.d) Bu ekran arttırılmış gerçeklik teknolojisini jeolokasyon bilgilerine dayanarak kamera yardımıyla kullanıcıya sunulacak ekrandır. Bu ekranda radar eklentisi ile bulunan konuma yakın mesafedeki önemli kayaçlar ve yapıların hangi yönlerde olduğu görülebilir olacaktır. Aynı şekilde cihazın jiroskopu sayesinde yön tayinini belli eden pusula da ekranda yer alacaktır.
- Bilgi Ekranı:(Şekil 6.e) Bu ekran seçilen konumla ilgili daha önceden eklenmiş bilgileri, yorumları ve fotoğrafları kullanıcıya sunacaktır. Buna ek olarak uygulamanın sosyal medya platformlarında tanıtımının yapılması ve popülerliğinin arttırılması için gerekli sosyal medya entegrasyonunu sağlayacak ekrandır.
- Başarılar Ekranı: (Şekil 6.f) Bu ekran şimdiye kadar uygulamada kazanılmış görev tipli başarıların sergileneceği ekrandır. Bu şekilde bir görev sistemi ile kullanıcıların uygulamayı kullanmasının devamlılığı sağlanacak olup başarılarını sosyal medya üzerinden diğer kullanıcılar ile paylaşabilmesi sağlanacaktır.



Şekil 6. Mobil uygulama ekranları



Şekil 6(D). Mobil uygulama manzara ekranı

Şekil 6(E). Bilgi ekranı, **(F)**: Başarılar ekranı

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu konuda halen aktif bir şekilde kullanılan uygulama bulunmamaktadır. Kullanıcıların gideceği jeolojik mekanlar Google haritalar veya Yandex haritaları üzerinde bulunmadığı bulunsa bile internet ve GPS problemleri yüzünden gerçek zamanlı takip edemedikleri için bir rehber olmadan bu mekanlara rahatça ulaşamama problemi yaşamaktadırlar. Aynı şekilde gördükleri yapılar, mekanlar hakkında bilgi almak istediklerinde de bir rehbere veya el kitapçığına ihtiyaç duyacaklardır.

Günümüzde neredeyse tüm bilgiye interaktif ve gerçek zamanlı bir şekilde erişilebilirken broşür veya rehber ihtiyacı yerini arttırılmış gerçeklik uygulamasına bırakacaktır. Arttırılmış gerçeklik uygulaması sayesinde bilgiler sürekli güncel tutulabilecektir. Tüm alanların 3 boyutlu görüntülerinin kullanılarak yer hakkında daha eğlenceli bir şekilde bilgilendirmenin de sağlanması mümkündür. Günümüzde Arttırılmış gerçeklik her yaştan insanın ilgisini çekebilmektedir, bu sayede daha çok turistin bölgeyi ziyaret edebilmesine olanak sağlayacaktır (Azuma ve Ronald, 2001; Martinez vd., 2013).

6. SONUÇLAR

Çine (Aydın) - Yatağan (Muğla) arasındaki bölge bir yandan ülkemiz için vazgeçilmez öneme sahip maden zenginliklerine ev sahipliği yaparken, öte yandan oluşumu oldukça uzun zaman ve koşullar gerektiren doğal güzelliklere ve antik kentlere ev sahipliği yapmaktadır. Yıllardır bölgenin jeopark olarak değerlendirmesi gündemde olmasına rağmen şimdiye kadar bir işlem yapılmamıştır.

Basitçe Google Earth görüntüsünde bile bölgedeki yoğun mermer-feldispat-kuvars ocaklarının faaliyet alanları gözükmektedir. Sürekli büyümekte olan bu alanların gelişimleri veya yenilerinin açılma riski bölgedeki jeoturizm açısından önemli olabilecek değerlerin kaybına neden olacaktır. Bir an önce ilgili kurumların ve sektör temsilcilerinin bir araya gelerek, hem jeopark faaliyetlerini hem de çevre dostu madencilik faaliyetlerini planlaması gerekmektedir. Jeopark özellikleri ve madencilik faaliyetleri ile bilgiler (bölgedeki önemli endüstriyel hammaddeler, kullanım alanları ve önemli firma bilgileri vb.) uygulamaya girilerek vurgulanabilecek ve bu sayede bölge tanınırlığı arttırılabilecektir.

Bu bölgenin tanıtılması ve jeoturizm açısından önemi ile ilgili farkındalığın arttırılması oldukça önemlidir. Bu çalışmada, farkındalığın arttırılması için bir web sayfasının hazırlanması (http://geotourism.mu.edu.tr/) ve artırılmış gerçeklik tabanlı bir mobil uygulamanın geliştirilmesi sürecindeki ilk çıktılar sunulmuştur. Proje kapsamında uygulamanın ön ürününün ekran görüntüleri oluşturulmuştur. İlerleyen aşamalarda uygulama geliştirilip kullanıma sunulacaktır. Uygulamanın gezi gruplarına tanıtılarak mümkün olduğunca çok kişinin kullanımı sağlanacak ve mümkün olan her Android cihazda çalışması için iyileştirmeler yapılacaktır. Uygulama başlangıç olarak Türkçe ve İngilizce olsa da kullanıcı sayısı arttıkça diğer dillerdeki metinler ve sesli bilgilendirmelerin de uygulamaya dahil olması söz konusudur.

Günümüzde gittikçe önemi artan sosyal medya kullanımları bu aşamada devreye girip özellikle jeopark çalışmalarının ivme kazanmasına neden olabilecektir. Web sayfası ve uygulama tasarımında sosyal medyanın etkin kullanımı ön planda tutulmuştur. Ziyaretçinin gördüklerini paylaşabilmesi ve bir yandan puan kazanarak bu sürecin daha eğlenceli hale getirilmesi hedeflenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A kapsamında desteklenen bir araştırma projesidir.

KAYNAKLAR

Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H. Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N.,Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. ve diğerleri, 2017. Türkiye Jeoloji Haritası Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını. Ankara Türkiye.

Arslan, A., Özcan, U., Karaarslan, E., 2016. Artırılmış Gerçeklik Uygulamalarının Şehircilikte Kullanılması: İnceleme ve Ön Ürün. AB 2016.

Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., MacIntyre, B., 2001. Recent advances in augmented reality. IEEE computer graphics and applications, 21(6), 34-47.

Bozkurt, E., 2004. Granitoid rocks of the southern Menderes Massif (southwestern Turkey): field evidence for Tertiary magmatism in an extensional shear zone. Int. J Earth Sciences, 93, 52-71.

Fiore, A., Mainetti, L., Manco, L., Marra, P., 2014. Augmented reality for allowing time navigation in cultural tourism experiences: a case study. In International Conference on Augmented and Virtual Reality (pp. 296-301). Springer International Publishing.

Gül, M., Uslular, G., 2014. Weathering and Geomorphological Features of Metamorphosed Granitoids (Çine Submassif-Menderes Metamorphic Massif, W Turkey). Eighth International Symposium on the Eastern Mediterranean Geology, 13-17 October 2014, Muğla Sıtkı Koçman University, 129, Muğla-Turkey. (poster).

Gül, M., Uslular, G., 2015. Metamorfize Granitoyidlerde Gözlenen Jeomorfolojik Oluşumlar (Çine Asmasifi-Menderes Metamorfik Masifi). 68. Türkiye Jeoloji Kurultayı, s. 570-571, Ankara (poster).

Gül, M., Uslular, G., 2016. Geomorphological Features And Weathering Of The Cine Metamorphic Submassif (SW Turkey). Arabian Journal of Geosicences (SCI) (Arab J Geosci) 9-16: 682, 1-16 doi:10.1007/s12517-016-2715-0

Gül, M., Uslular, G., 2017. Çine (Aydın) – Yatağan (Muğla) Arası Menderes Masifi'nde Gözlenen Jeomorfolojik Yapılar. Mavi Gezegen, 22 (2), 38-47.

Güngör, Y., 2012. Turizmde Yükselen Eğilim: Jeoturizm. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Haber Bülteni, Sayı: 2012/2.

Han, D. I., Jung, T., & Gibson, A., 2014. Dublin AR: implementing augmented reality in tourism. Information and communication technologies in tourism 2014, 511-523, Springer Int. Publishing.

Kazancı, N., Şaroğlu, F., Doğan, A., Mülazımoğlu N.S., 2012. TURKEY, 366-378 in Wibledon, W.A.P., Smith-Meyer, S. (eds.). 2012. Geoheritage in Europe and its conservation. ProGEO. 405 pp.

Kounavis, C. D., Kasimati, A. E., Zamani, E. D., 2012. Enhancing the tourism experience through mobile augmented reality: Challenges and prospects. International J Engineering Business Management, 4, 10.

Martínez-Graña, A. M., J. L. Goy, C. A., 2013. A virtual tour of geological heritage: Valourising geodiversity using Google Earth and QR code. Computers & Geosciences 61: 83-93.

Oğuz, T., 2011. Yatağan Jeopark Projesi. *12. Paleontoloji ve Stratigrafi Çalıştayı.* 30 Eylül-2 Ekim 2011 Muğla Üniversitesi, Muğla.

Okay, A.İ., 2001. Stratigraphic and metamorphic inversions in the central Menderes Massif: a new structural model. International Journal Earth Sciences, 89, 709-727.

Whitney, D.L., Bozkurt, E., 2002. Metamorphic history of the southern Menderes Massif, western Turkey. Geological Society of America Bulletin 114, 829-838.

EmisBLASTO: A CALCULATOR FOR ESTIMATING DUST AND FUME EMISSIONS FROM BLASTING OPERATIONS

EmisBLASTO: PATLATMA İŞLEMLERİNDEN GELEN TOZ VE DUMAN EMİSYONLARININ BELİRLENMESİ İÇİN BİR HESAPLAYICI

George N. PANAGIOTOU*, Katerina ADAM

School of Mining Engineering & Metallurgy, National Technical University of Athens, GREECE

*: Corresponding Author: panagiotou@metal.ntua.gr

ABSTRACT: The paper presents EmisBLASTO, a calculator developed to estimate the impacts on the atmospheric environment caused by blasting operations in open pits, quarries and construction sites. In particular, EmisBLASTO estimates the dust and fume emissions to air based on the blast design and the type and quantity of the explosives used. Dust generated during drilling and dust emitted due to blasting is estimated using established emission factors and blast design parameters. The dust emission is reported in terms of Total Suspended Particulates (TSP), Particulate Matter less than 10 μm (PM_{10}) and Particulate Matter less than 2.5 μm ($PM_{2.5}$) for a certain blast design.

Fume emissions to air from the detonation of explosives are of special interest due to the highly toxic carbon monoxide (CO) and oxides of nitrogen (NO_x) they contain among others. These emissions are estimated based on the respective emission factors recommended by regulatory authorities for the main types of explosives included in the EmisBLASTO's explosives DataBases. Moreover, the calculator is designed so as to allow the user to extend the DataBase with new types of explosives. In that case the respective emission factors, given either by explosives manifacturers or estimated via thermochemical calculations, are incorporated into the DataBase. The calculator thus developed can be extensively employed to assess the impacts of extractive activities on the atmospheric environment and provide the basis for the application of dust and fume propagation models and the design of the respective mitigation measures.

Keywords: Blasting, Dust, Fumes, Emissions, Calculator

ÖZET: *Bildiride, açık ocaklarda, taş ocaklarında ve şantiyelerde patlatma işlemlerinin atmosferik çevre üzerinde neden olabileceği etkilerin belirlenmesi için geliştirilmiş EmisBLASTO hesaplayıcısı açıklanmıştır. EmisBLASTO, özellikle kullanılan patlayıcıların türü ve miktarı ile patlama tasarımına göre ortaya çıkan toz ve duman emisyonlarını tahmin etmektedir.*

Sondaj sırasında oluşan ve patlatma nedeniyle yayılan toz, belirlenmiş emisyon faktörleri ve patlatma tasarımı parametreleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Toz emisyonu, belirli bir patlatma tasarımı için Toplam Askıdaki Parçacıklar (TSP), 10 µm'den küçük Parçacıklar (PM10) ve 2.5 µm'den küçük Parçacıklar (PM2.5) bazında verilmektedir.

Patlayıcıların patlamasından kaynaklanan duman emisyonları, içerdikleri yüksek toksik karbon monoksit (CO) ve azot oksitlerden (NOx) dolayı diğer gazlara göre ayrı bir öneme sahiptir. Bu emisyonlar, EmisBLASTO patlayıcı veri tabanında olan temel patlayıcı türleri için yetkili kurum/kuruluşlarca önerilen ilgili emisyon faktörlerine dayanılarak hesaplanmaktadır. Ayrıca bu yazılım, kullanıcıya, yeni patlayıcı türlerini ekleyerek veri tabanını genişletmesine izin verecek şekilde tasarlanmıştır. Bu durumda patlayıcı üreticileri tarafından verilen veya termokimyasal hesaplamalar yoluyla tahmin edilen ilgili emisyon faktörleri veri tabanına eklenir. Bu şekilde geliştirilen hesaplayıcı, üretim aktivitelerinin atmosferik çevre üzerine etkisini belirlemek, toz ve duman yayılım modellerinin uygulanması ve ilgili emisyonu düşürmeye yönelik tasarımlara temel oluşturacak şekilde yaygın olarak kullanılabilir,

Anahtar Kelimeler: *Patlatma, Toz, Duman, Emisyon, Hesaplayıcı*

1. INTRODUCTION

The main emissions to air from mining and quarrying operations consist of wind-borne dust, the products of detonation from blasting, and the products of combustion from vehicle usage, materials handling and on site power generation (if any).

In most cases fugitive air emissions can be estimated using emission factors combined with site-specific information such as the silt and moisture content of material being handled.

Most of the work reported in developing emission factors for fugitive emissions has been by the U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). More recently, new data are reported by the Australian National Pollutant Inventory (NPI). The Australian research findings confirm that the USEPA emission factors may also used under the Australian conditions provided that appropriate variables are used. The Australian work also highlights those emission factors that are not appropriate for particular operations.

The emission factors should be used taking always into account the range of conditions under which the factors were developed, so as to assess whether the factors are suitable for the particular case being considered.

The paper presents EmisBLASTO, a bench blasting dust and fume emissions calculator developed to estimate the atmospheric emissions from open pit blasting activities based on the blast design and the type and quantity of the explosives loaded in a blast round.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1 EmisBLASTO: A Quick Tour

EnviroBLASTO is a calculator for the estimationn of dust and fume emissions from bench blasting operations in open pits, quarries and construction sites and has been developed in Python 2.7 as a Microsoft Windows application. It estimates the dust emitted from drilling and blasting, in terms of Total Suspended Particulates (TSP), Particulate Matter less than 10 μm (PM_{10}) and Particulate Matter less than 2.5 μm ($PM_{2.5}$) for a certain blast design.

Fume emissions to air from the explosives are calculated based on the types of the explosives and their respective quantities loaded in the blast round. Explosives are selected from a DataBase that incorporates the main types of explosives that represent more than 95% of the types used by the extractive industry, and can be further updated by the user with new types or brands of explosives.

The results are displayed in the output section of the calculator and a comprehensive report is also produced that includes all the input data, selected options and the calculated results in the form of a pdf file for printing and saving. All the action happens in the main window of the application (Figure 1).

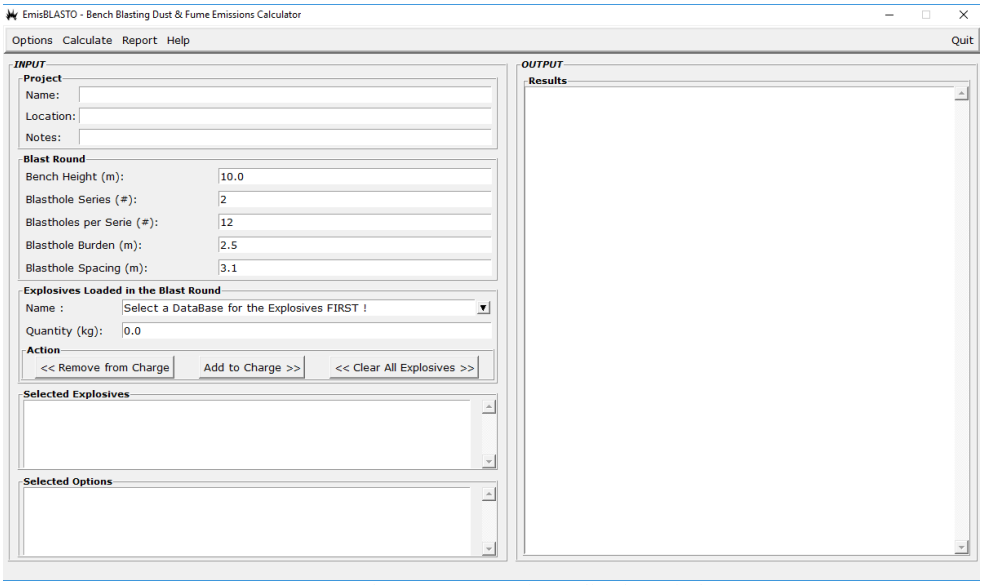


Figure 1. EmisBLASTO's main application window.

On the top of the application's window there is a 'menu bar' with clickable buttons that activate 'drop-down' menus and 'cascaded' sub-menus, when appropriate, through which the user makes selections (Figure 2).

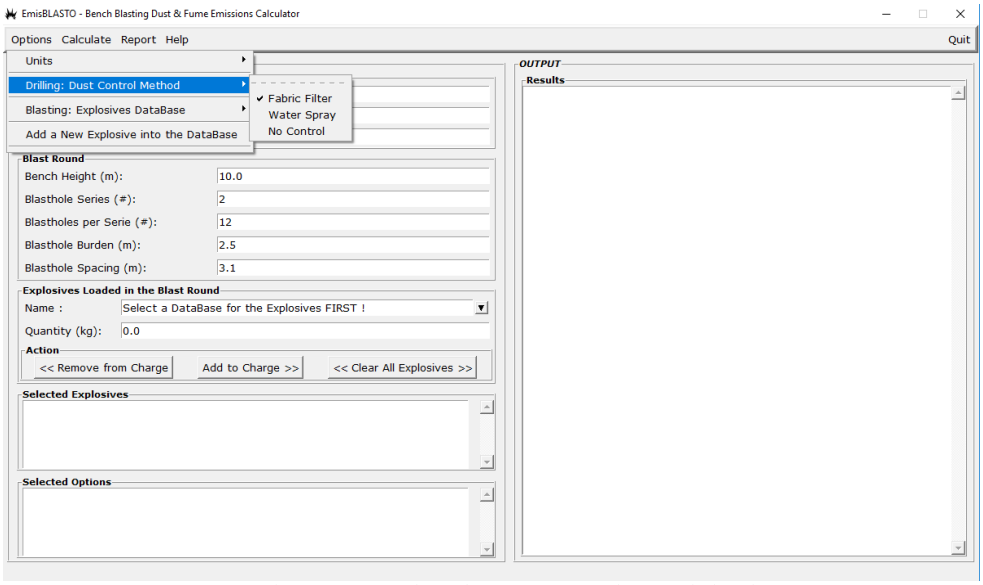


Figure 2. EmisBLASTO's 'drop-down' menus and 'cascaded' sub-menus.

The *Options* button enables the user to select the *Units* (metric/imperial), the *Dust Control Method* available to the drilling equipment and the *Explosives DataBase* from which the types of the explosives loaded in the blast round will be selected. Via the *Options* button the user may also have access, by clicking the *Add a New Explosive into the DataBase* button, to a facility that updates the explosives DataBase with new types or brands of explosives.

The *INPUT* section of the window is divided into four sub-sections.

In the *Project* sub-section the user may enter text regarding project related information such as the name of the project, location of the quarry and useful notes.

In the *Blast Round* sub-section numeric values are entered for the following parameters related to the blast design: Bench Height, Blasthole Series, Blastholes per Serie, Blasthole Burden, Blasthole Spacing. A validator makes certain validity checks to the user input.

In the *Explosives Loaded in the Blast Round* sub-section the user selects a type of explosive available in the Explosives DataBase, which has been previously selected from the *Options* menu, via a scrolled listbox. When an explosive is selected it is displayed in the *Name* entry field. Then the quantity of this particular explosive loaded in the blast round is entered in the *Quantity* entry field and by clicking the *Add to Charge* button the [type of explosive, quantity] array is added to the blast round charge. There is no limit regarding the different types of explosives the user may select for a particular blast round. The user may also remove an explosive and its respective quantity from the blast round charge, or all of them using the appropriate buttons available in this sub-section.

The selected types of explosives and their respective quantities, at any time, are displayed in the *Selected Explosives* sub-section.

Finally, any option selected at any time and the finally selected options are displayed in the *Selected Options* sub-section.

The *Calculate* button of the menu bar enables the user to select his preference to calculate*: Dust Emissions, Fume Emissions* or *All* of them. Upon clicking one of these buttons, the currently (final) selected options are displayed in the *Selected Options* window and the calculation results are displayed in the *Results* window of the *OUTPUT* section.

The *Report* button prepares a report in pdf format and opens it with a *pdf Reader* so that the user can 'print' and 'save as' it using standard *pdf Reader* procedures.

The *Help* button provides access to the User Manual and to information regarding EmisBLASTO.

Finally, the *Quit* button of the menu bar exits the application in a proper way.

Figure 3 shows a screenshot that displays the input values, the selected options and the calculation results for a specific project.

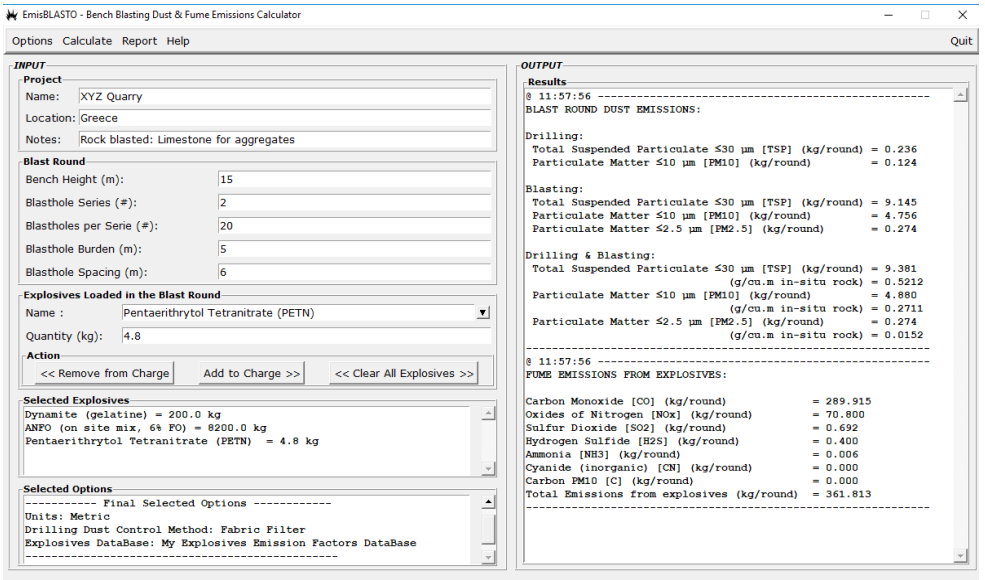


Figure 3. EmisBLASTO in action (see Section 3.1 EmisBLASTO: Case Study).

2.2 EmisBLASTO: Behind the Scenes

EmisBLASTO's algorithms are based on internationally accepted formulae and data provided by the United States of America's Environmental Protection Agency (EPA) and the Australian National Pollutant Inventory (NPI). In general, NPI endorses EPA's formulae and data, and in some cases, supplements them.

2.2.1 Dust emissions

In a blasting operation dust is generated both from drilling the blastholes and from the blast itself.

2.2.1.1 Dust emissions from drilling

Emissions from drilling blastholes are a relatively minor component of the overall dust emission for an open pit operation. EPA suggests an uncontrolled TSP emission factor of 0.59 kg/blasthole (USEPA, 1998: Table 11.9-4) and does not provide an emission factor for the PM_{10} component. NPI endorses this TSP emission factor and futhermore, based on a small sample from field studies in the absense of other information, suggests as a best estimate of the uncontrolled PM_{10} emission factor for drilling the value of 0.31 kg/blasthole (NPI, 2012).

In addition to the above, NPI introduces an emission reduction factor depending on the dust control method available to the drilling equipment. If fabric filters are available then the uncontrolled TSP and PM_{10} emissions factors are reduced by 99% and by 70% when water sprays are available.

2.2.1.2 Dust emissions from blasting

EPA suggests that for blasting the following dust emission factor equation for blasting should be applied (USEPA, 1998: Table 11.9-2)

$$EF_{TSP} = 0.00022 * A^{1.5} \quad (1)$$

where: EF_{TSP} : dust emission factor for TSP (kg/blast round)

A : horizontal area of the blast round (m^2)

$$A = B * E * N * K \quad (2)$$

where: B : blasthole burden (m)

E : blasthole spacing (m)

N : number of blastholes in a serie

K : number of blasthole series in the blast round

The PM_{10} dust emission factor is 52% of the EF_{TSP} and the $PM_{2.5}$ dust emission factor is 3% of the EF_{TSP}.

It should be noted that equation (1) does not provide any allowance for the moisture content of the material blasted, the depth of the blastholes or whether the blast is a throw blast or a shattering blast, however the blasting depth should be $\leq$ 21 m (USEPA, 1998: Table 11.9-2) or $\leq$ 30 m (NPI, 2012).

2.2.2 Fume emissions

Emissions to air from the detonation of explosives in open pit blasting operations are uncontrolled fugitive emissions. Modern explosives used by the extractive industries are mostly non-ideal explosives, and as such the synthesis of their detonation gaseous products (fumes) varies and depends not only on the type of the explosive itself, but on parameters including the charge or blasthole (for bulk explosives) diameter, initiation method, sleep-time in the blasthole, water ingress etc.

During the last decates and in view of the prevailing environmental and health & safety regulations for the protection of the atmosheric environment, significant research and development work has been contacted by the explosives manifacturers in order to reduce the emission of harmfull fumes from their products and in particular those of CO and NO_x. However, it should be noted that a substantial percentage of the buck explosives used in mines and quarries is produced on-site, by mixing non-explosive ingredients in Mobile Explosive Manifacturing Units (MEMU), and the emission factors of these tailored made explosives are also included in the EmisBLASTO's DataBases.

EPA's fume emission factors for the detonation of explosives (USEPA, 1995) have been reviewed and recently updated by NPI (2012), resulting in a comprehensive list of types of explosives and their respective fume emission factors for the following detonation products: CO, NO_x, SO_2, H_2S, NH_3, CN and C (as PM_{10}) (NPI, 2016: Tables 7 & 8).

2.2.2.1 Fume emission factors dataBases

In order to calculate the fume emissions from the explosives loaded in a blast round, EmisBLASTO reads the emission factors corresponding to the selected types of explosives from a DataBase. In fact there are two DataBases from which the user can select only one for a particular calculation run, by clicking the respective button from the *Options* drop down menu. Both DataBases are in the form of Excel database files.

The *NPI Explosives Emission Factors DataBase* includes all the types of explosives published by NPI and its contents cannot be altered by the user (Figure 4).

The *My Explosives Emission Factors DataBase* copies all the types of explosives and corresponding emission factors of the *NPI Explosives Emission Factors*

DataBase but the user may add new types or brands of explosives into this DataBase via the *Add a New Explosive into the DataDase* module of the application. This module is activated through the *Options* menu and a pop-up window is displayed over the main window, via which the user enters the fume emission factors for the new type of explosive (Figure 5). These emission factors can be provided by manifacturers or estimated via thermochemical calculations on the explosive's detonation products.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	NAME	CO	NOx	SO2	H2S	NH3	CN	C(PM10)	REFERENCE
2	ANFO (on site mix, 1% FO)	34	32	0,06	0	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
3	ANFO (on site mix, 2% FO)	34	27,2	0,06	0	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
4	ANFO (on site mix, 3% FO)	34	22,4	0,06	0	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
5	ANFO (on site mix, 4% FO)	34	17,6	0,06	0	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
6	ANFO (on site mix, 5% FO)	34	12,8	0,06	0	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
7	ANFO (on site mix, 6% FO)	34	8	0,06	0	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
8	ANFO (on site mix, 7% FO)	51	8	0,06	0	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
9	ANFO (on site mix, 8% FO)	68	8	0,06	0	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
10	ANFO (on site mix, 9% FO)	85	8	0,06	0	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
11	ANFO (on site mix, 10% FO)	102	8	0,06	0	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
12	ANFO (branded, dia < 152mm)	21	3,8	0	0	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
13	ANFO (branded, dia > 152mm)	8	1,4	0	0	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
14	AMEX (Orica's AUS ANFO)	16	3,5	0	0	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
15	Black Powder	85	0	0	12	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
16	Dynamite (straight)	141	26	0	3	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
17	Dynamite (ammonia)	32	26	0	16	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
18	Dynamite (ammonia, hard rock)	128	104	0	16	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
19	Dynamite (gelatine)	52	26	1	2	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
20	Emulsion (water based gel, dia < 150mm)	17	0,2	0	0	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
21	Emulsion (water based gel, dia > 150mm)	2,3	0,2	0	0	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
22	Emulsion (water based gel, ANFO doping, dia < 150mm)	34	0,4	0	0	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
23	Emulsion (water based gel, ANFO doping, dia > 150mm)	4,6	0,4	0	0	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
24	Heavy ANFO (dia < 150mm)	4,2	2	0	0	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
25	Heavy ANFO (dia > 150mm)	1,3	2	0	0	0	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
26	Hexogene, Cyclonite (RDX)	98	0	0	0	22	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
27	Pentaerithrytol Tetranitrate (PETN)	149	0	0	0	1,3	0	0	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
28	Trinitrotoluene (TNT)	13	11	0	11	14	13	93	NPI(AUS),Ver3.1, Aug2016
29									

Figure 4. The NPI Explosives Emission Factors DataBase. Emission Factors in kg/tonne of explsosive, based on NPI, 2016: Tables 7 & 8, compilled by the authors.

2.3 EmisBLASTO: Programming Technicalities

EmisBLASTO has been developed in Python Ver. 2.7.13 [1] using the PyCharm Professional Ver. 2017.1.4 [2] Integrated Development Environment (IDE) for editing, debugging and running the code, and it is a Microsoft Windows application for Window 7 or newer.

In addition to the standard Python libraries, the following packages have been used in developing the program's code:

- Numpy [3]: for the scientific calculations.
- Tkinter [4] and its extension Pmw [5]: for programming the Graphical User Interface (GUI).
- Openpyxl [6]: for working with the excel files of the Explosives DataBases.

• Fpdf [7]: for the generation of the reports as pdf documents.

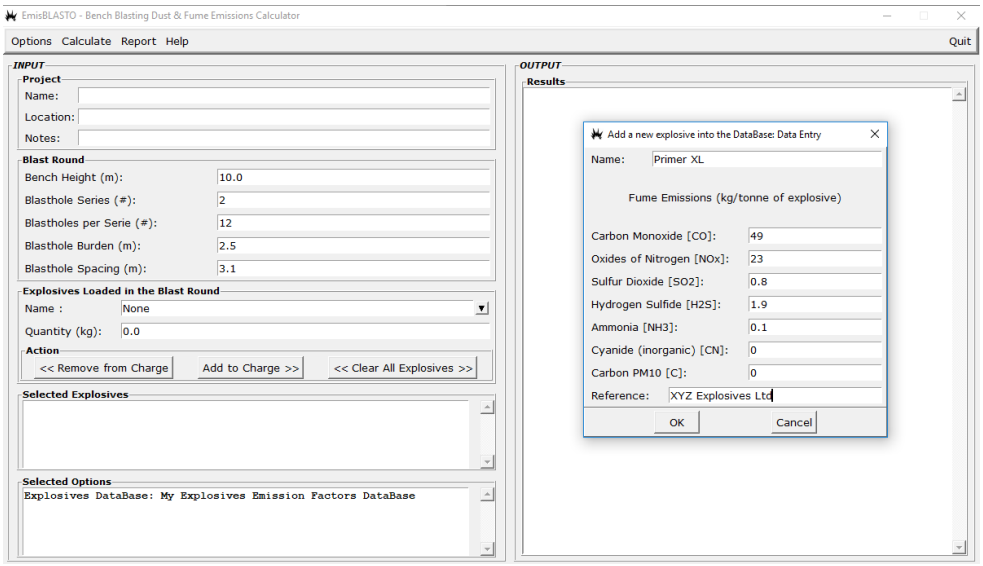


Figure 5. Pop-up window for entering the fume emission factors of a new type of explosive into the Explosives DataBase.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 EmisBLASTO: Case Study

Users interact with EmisBLASTO via a Graphical User Interface (GUI) and all the action happens in a single main window. For demostration purposes, dust and fume emissions are calculated for a blast round in a limestone quarry with the following characteristics (input parameters/values required by EmisBLASTO are marked in *italics*):

Bench Height (m): 15

Blasthole Series (#): 2

Blastholes per Serie (#): 20

Number of Blastholes (#): 40

Blasthole Burden (m): 5

Blasthole Spacing (m): 6

Blasthole Diameter (mm): 165

Drilling Dust Control Method: Fabric Filter

Primer & Bottom Charge: *Dynamite (gelatine)*, one 5 kg cartridge/blasthole = *200 kg*

Column Charge: *ANFO (on site mix 6%)*, 205 kg/blasthole = *8200 kg*

Initiation System: Detonating Cord, *PETN* 6g/m, 20 m/blasthole = *4.8 kg*

The EmisBLASTO screen shot for this case study, which displays the input data, selected options and calculation results for the estimated dust and fume emissions of the blast round is given in Figure 3.

4. CONCLUSIONS

EmisBLASTO is a user friendly calculator developed to estimate dust and fume emissions from drill and blast bench operations in mines, quarries and construction sites. It has been developed in Python 2.7 and from the user's point of view runs in a single GUI window sectioned to include data input and results fields.

A detailed output report is generated for each project examined for printing and record keeping. Currently, the calculator is available as a Microsoft Windows and Linux application while an Android version and a web application are under development.

EmisBLASTO can be employed to assess the impacts of drilling and blasting operations on the atmospheric environment and its results can provide input data for the application of dust and fume propagation models or the design of mitigation measures aiming to improve the overall environmental performance and the sustainable development of the extractive industry.

REFERENCES

NPI, 2012. Emission Estimation Technique Manual for Mining. National Polutant Inventory, Australian Government. Version 3.1, January 2012.

NPI, 2016. Emission Estimation Technique Manual for Explosives Detonation and Firing Ranges. National Polutant Inventory, Australian Government. Version 3.1, August 2016.

USEPA, 1995. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, United States Environmental Protection Agency, Fifth edition, AP-42, Volume I, Chapter 13.

USEPA, 1998. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, United States Environmental Protection Agency, Fourth Edition, AP-42, Chapter 11.

[1] www.python.org (assessed: 15 June 2015)

[2] www.jetbrains.com/pycharm/ (assessed: 15 June 2017)

[3] http://www.numpy.org/ (assessed: 15 June 2017)

[4] https://wiki.python.org/moin/TkInter (assessed: 15 June 2017)

[5] http://pmw.sourceforge.net/ (assessed: 15 June 2017)

[6] https://openpyxl.readthedocs.io (assessed: 15 June 2017)

[7] https://pypi.python.org/pypi/fpdf/1.7 (assessed: 15 June 2017)

PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİMLERİN ÇEVREYE OLAN ETKİLERİNİN EN AZA İNDİRİLMESİ ÇALIŞMALARINDA KULLANILAN HASAR KRİTER TABLOLARI ÜZERİNE BİR YORUM

A COMMENT ON DAMAGE CRITERIA TABLES USED IN THE STUDY OF MINIMISATION OF ENVIRONMENTAL EFFECTS OF BLASTING INDUCED VIBRATIONS

Güzin Gülsev UYAR

Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara, TÜRKİYE

gulsevuyar@hacettepe.edu.tr

ÖZET: Patlatma kaynaklı oluşan sismik dalgaların çevre yerleşim yerleri, endüstriyel yapılar, inşaatlar, alt yapı inşaaları, yeraltı yapıları ve şevler üzerinde yaratabileceği titreşimlerin en aza indirilebilmesi için uygun patlatma tasarımları yapılması gerekliliği bilinmektedir. Yıllardan beri, hem Dünya'da hem Türkiye'de bu tasarımların iyileştirilmesi konularında pek çok araştırmacı tarafından çalışmalar yapılmış ve yapılmaktadır. Patlatma kaynaklı titreşimlerin en aza indirilebilmesi için uygun patlatma tasarımları yapılırken, çevredeki yerleşim yerleri ve yapılara hasar vermemek için hangi koşullar altında hangi sınırlamaları kullanmalıyız konularında bize ışık tutan hasar kriter tabloları vardır. Değişik ülkelerin komisyonları tarafından hazırlanan onlarca hasar kriter tablosu bulunmaktadır. Bu bildiride, bu tabloların yeterliliği, hangi hasar kriter tablolarının hangi koşullarda uygun olabileceği, tabloların seçimi ve kullanılması sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar konusunda, konu ile ilgili tecrübelere dayanarak edinilen birikime göre yorum yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Patlatma, Titreşim, Hasar sınıflama, Parçacık hızı, Frekans

ABSTRACT: *Necessity of appropriate blasting designs in order to minimize vibrations induced by blasting which may propagate to surrounding residential areas, industrial structures, constructions, infrastructure constructions, underground structures and slopes is broadly known. Over the years, both in the world and in Turkey many studies have been carried out and still being performed by researchers. As the blasting designs*

are performed to minimize blast induced vibrations, there are the damage criterion tables shedding light on which thresholds to use as limiting factors under which circumstances. There are dozens of damage criterion tables prepared by the committees of different countries. Within the context of this study comments about which damage criterion table is suitable for which conditions, the significant points to take into consideration when selecting and using the tables are made based upon the knowledge obtained by experiences previously gained.

Keywords: *Blasting, Vibration, Damage criteria, Particle velocity, Frequency*

1. GİRİŞ

Patlatmalı kaya kazısı çalışmalarında, patlatma kaynaklı oluşan sismik dalgaların çevre yerleşim yerleri, endüstriyel yapılar, inşaatlar, alt yapı inşaaları, yeraltı yapıları ve şevler üzerinde yaratabileceği titreşimlerin, çalışılan ülkede kabul görülen hasar kriter tablolarına göre izin verilebilen limit değerler altında olması gerekmektedir. Bu sebeple, çevresel yapılar açısından kritik lokasyona sahip maden, taş ocağı, metro-tünel inşaaları vb. yerlerde patlatmalı kaya kazısı yapılırken, kontrollü patlatmalar gerçekleştirilmelidir. Uygun delik gruplamaları ve uygun gecikmelerle patlatılan deliklerin tasarımlandırmaları şeklinde gerçekleştirilen kontrollü patlatmalardan kaynaklı sismik dalgaların çevredeki yeraltı, yerüstü yapıları ve şevler üzerinde yaratacağı titreşim etkilerinin değerlendirilmesi, hem değerlendiren kişinin konu üzerindeki mesleki tecrübesi, hem de ülkede kabul gören hasar değerlendirme kriter tablo ve grafikleriyle yakından ilgilidir.

Bu bildiriye de konu olan hasar değerlendirme kriterlerinden Dünya çapında kabul görmüş olanları ve titreşim değerlendirme paket programları içerisinde yaygın kullanılanları aşağıda sıralanmıştır (Instantel Blastware Software, NZ Transport Agency, 2012, Singh and Roy, 2010, White Seismograph Data Analysis).

Australia 2187.2	Indonesian Standard SNI 7571
British Standard 7385	Brazilian Standard NBR 9653
CMRI Proposed Indian Standard	New Zeland Standard 4403
Czech and Slovak Standard	Swiss Standard SN640
DGMS (India)	Turkey Mining and Quarrying
German DIN4150	Turkey Construction

USBM RI8507 and OSMRE

Türkiye'nin kendi geliştirdiği bir "hasar değerlendirme kriterleri" çalışması uzun yıllar yapılmadığı için, 2005 yılına dek, Amerikan (USBM, OSMRE) değerlendirme tabloları kabul görmüş ve kullanılmıştır. 2005 yılında, Amerikan standartları olarak da ifade edebileceğimiz bu standartlar hemen hemen aynı şekilde benimsenerek, Türk hasar değerledirme kriterleri olarak ilan edilmiştir (Çevre ve Orman Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, 2005). Aşağıdaki bölümlerde, bu değerlendirme kriterlerine göre patlatma kaynaklı titreşimlerin, patlatma yapılan yer ve çevresindeki yapıların özellikleri de esas alınarak değerlendirilmesi ile ilgili mesleki yorum, örnek vakalar gösterilerek yapılmıştır.

2. HASAR SINIFLANDIRMALARI

Çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen patlatma hasar kriterleri günümüze kadar değişik başarı dereceleriyle uygulanmıştır. Bu araştırmaların çerçevesi iki ana başlık altında ifade edilebilir.

i) Patlatma sonucu oluşan titreşim ve hava şokunun tanımlanması, ölçümü ve ilgili parametrelerin analizi.

ii) Çeşitli yapılar için hasar kriterlerinin belirlenip, bu kriterlerin patlatma sonrasındaki parametrelerle eşleştirilerek uygun patlatma tasarımı.

Geliştirilen bu kriterler arasında, kullandıkları parametreler açısından benzerlik arz eden ve yaygın kabul görerek uygulamada başvuru ve mukayese kaynağı olarak kullanılan normlardan en önemli iki tanesi ABD Madencilik Bürosu'nun hasar kriteri, USBM RI8507 ve Alman DIN 4150 normudur. Aşağıdaki bölümlerde bu standartlar, Türk Maden ve Taş ocakları için ve Türk İnşaat Sektörü için 2005 yılında kabul gören standartlarla birlikte karşılaştırmalı olarak, örnek vaka ile birlikte anlatılmıştır:

2.1. Amerika Birleşik Devletleri Madencilik Dairesi'nin (USBM) Geliştirdiği Hasar Sınıflaması

Amerika Birleşik Devletleri Madencilik Dairesi'nin (USBM) koyduğu hasar sınıflaması Çizelge 1'de verilmiştir. Görüldüğü gibi hasarlar "Eşik Hasar", "Hafif Hasar" ve "Esaslı Hasar" olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır: "Eşik Hasar" sadece görünüm bozucu niteliktedir. "Hafif Hasar" göreceli olarak daha fazla rahatsız edici olmasına rağmen

yapıların dayanımını ve yapı elemanlarının yük taşıma kabiliyetlerini etkilemez. "Esaslı Hasar", yapıda kalıcı deformasyonlar oluşturan ve yapıyı zayıflatan tek hasar türüdür. Patlatma kaynaklı titreşimlerin çevre yapılara olan etkisinin incelenmesinde, "Eşik Hasar" esas alınmalı ve titreşimlerin Eşik Hasar dahi vermeyecek düzeylerde seyretmesi için kontrollü patlatmalar yapılmalıdır.

Çizelge 1. USBM hasar sınıflaması

Hasar Sınıfı	**Hasar Tanımı**
Eşik Hasar (Hasar başlangıcı)	Boya çatlaması ve kabarması, yapı elemanlarının birleşim yerlerinde küçük sıva çatlakları, eski çatlakların uzaması
Hafif Hasar	Sıva kabarmaları ve sıva düşmeleri, taş duvarlarda bölme ve pencerelerde kılcal çatlaklar, saç teli inceliğinden 3mm kalınlığa kadar çatlaklar, gevşemiş harç dökülmeleri
Esaslı Hasar	Duvarlarda geniş çatlaklar, kemerlerde çatlaklar, yapının taşıyıcı elemanlarının zayıflaması, yük taşıma kabiliyetinde zayıflama

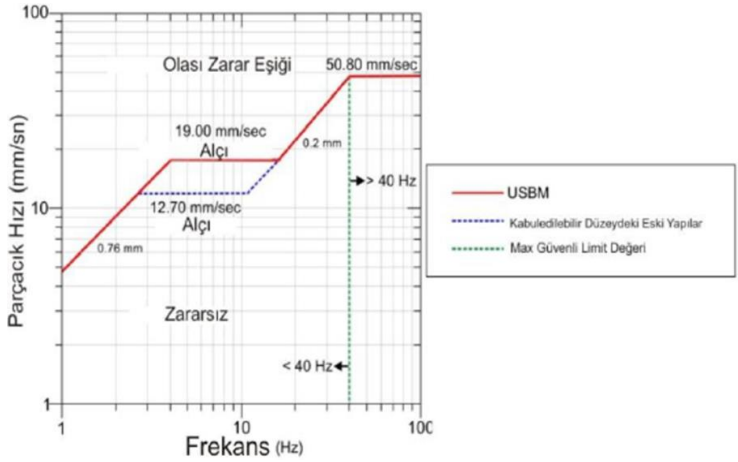
Çizelge 2'de konut tipi yapılarda hasar yaratmayacak emniyetli sarsıntı düzeyleri yapı türlerine göre verilmiştir. Burada verilen değerler binalardaki taşıyıcı elemanlarda çatlaklar yaratmayacak düzeylerdir. Ayrıca binaların tekniğine uygun olarak yapılmış temeller üzerine oturtulduğu, iki kattan daha yüksek olmadığı, zemindeki dalgaların patlatma kaynaklı kısa süreli (bir kaç saniyeden fazla sürmeyen) dalgalar olduğu kabulleri için geçerlidir. Çizelge 2'de verilen sınır değerler A.B.D'deki yerinde ölçüm ve gözlemlerde eşik hasar oluştuğu gözlenen düzeylerden daha düşük seçilmiştir. Bu değerler yüzeysel çatlak oluşum olasılığının en fazla %5 olabileceğini kabul eder. Diğer bir değişle yüzeysel çatlak oluşmamasını %95 oranında garanti eder.

Çizelge 2. USBM'a göre emniyetli titreşim düzeyleri

Yapı Türü	**Yer Sarsıntısı En Yüksek Parçacık Hızı**	
	Düşük frekans <40Hz	Yüksek frekans>40Hz
Modern Evler	19 mm/s	50.8mm/s
Eski Yapılar (Ahşap elemanlı)	12.7mm/s	50.8mm/s

Birleşik Devletler Madencilik Bürosu (USBM), patlatmalardan kaynaklanan titreşimlerin yapılara olan etkisi ve zararlarıyla ilgili 1980'de Siskind ve arkadaşlarına 219 üretim atımının 79 evdeki etkisini belirlemeye yönelik bir çalışma yaptırarak sonuçlarını yayınlamıştır (USBM RI 8507 Bülteni, Siskind vd., 1980). Bu çalışmada, sadece parçacık hızlarının değil, frekansların da hasar oluşumunda etkili olduğu

vurgulanmaktadır. Bu sistem; 40 Hz altında en iyi tahribat kriterinin, frekansın bir fonksiyonu olarak maksimum parçacık hızı olduğunu göstermektedir (Şekil 1).



Şekil 1. USBM hasar değerlendirme grafiği

2.2 T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği

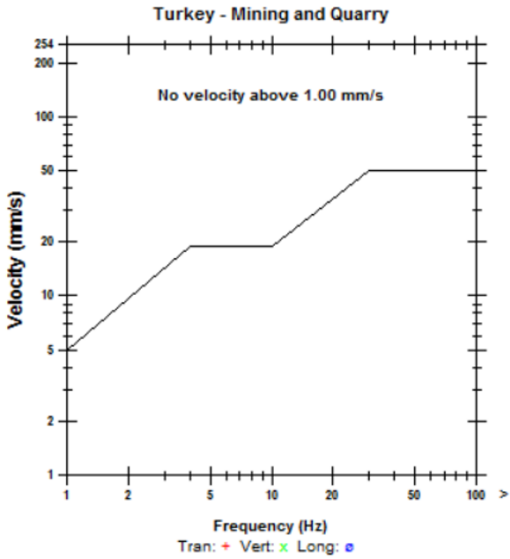
Ülkemiz Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, 01/07/2005 tarihli 25862 sayılı Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmenliğin Çevresel Titreşim Esas ve Kriterleri, Yerleşim alanlarında çevresel kaynaklar için titreşim kriterleri başlığı altında, çeşitli titreşim kaynaklarının neden olacağı çevresel titreşimin kontrol altına alınmasına ilişkin esaslar verilmiştir.

Maden ve taş ocakları ile benzeri faaliyette bulunulan alanlardaki patlamaların çevredeki yapılara zarar vermemesi için, en yakındaki yapının dışında, zeminde ölçülecek titreşim düzeyi Çizelge 3'de verilen değerleri geçemez. Ölçümler üç yönde yapılır ve bunlardan en yüksek olanı alınır. Titreşimler 1/3 oktav bantlarında tepe değeri olarak ölçülür.

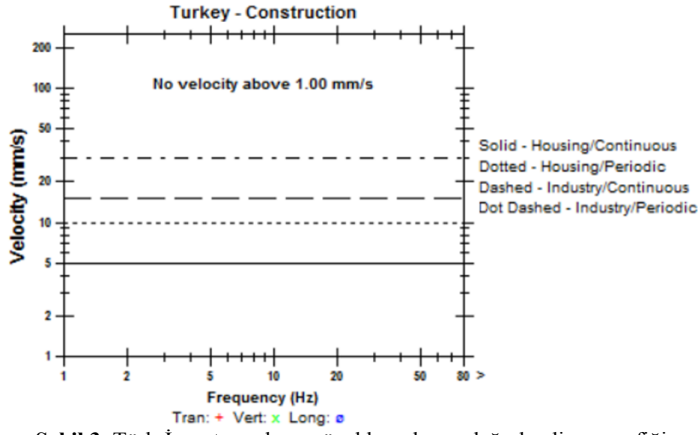
2005 yılında kabul gören bu hasar değerlendirme kriterleri grafiksel olarak Şekil 2 ve 3'deki gibi Türkiye Maden ve Taş Ocakları için; Türkiye İnşaat Sektörü için kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Maden ve Taş Ocakları için hazırlanan grafiğin (Şekil 2), USBM (Şekil 1) hasar değerlendirme grafiği ile aynı olduğu kolayca görülebilir.

Çizelge 3. Maden ve taş ocakları ile benzeri alanlarda patlama nedeniyle oluşacak titreşimlerin en yakın yapının dışında yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri

Titreşim Frekansı (Hz)	İzin Verilen En Yüksek Titreşim Hızı Tepe Değeri (mm/s)
1	5
4-10	19
30-100	50



Şekil 2. Türk-Maden ve Taş Ocakları için hazırlanan hasar değerlendirme grafiği



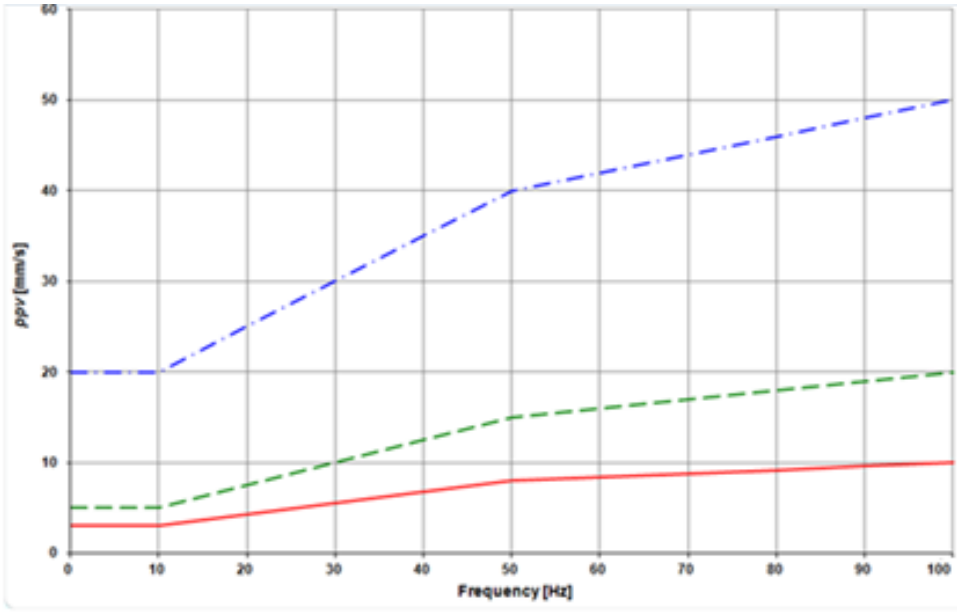
Şekil 3. Türk-İnşaat yapılarına özel hazırlanan değerlendirme grafiği

Amerika'da, Siskind ve arkadaşlarının 1980 yılında, 219 üretim atımının 79 evdeki etkisini belirlemeye yönelik yaptığı çalışmalar sonucu, Amerikan yerleşim yerlerindeki yapı tiplerine özel hazırlanan proje sonucu oluşturulan grafiklerin, 2005 yılında, orijinal Amerikan skalasının hazırlanmasından 25 yıl sonra Türk hasar

değerlendirme kriteri olarak benimsenmesinin ne kadar uygun olacağı ve bizdeki genelde maden ve taş ocaklarına yakın yerlerdeki köy evlerinin Amerikan yapıları ile ne kadar karşılaştırılabilir olduğu tartışılmalıdır. Bu konu, örnek vaka ile ileriki bölümde tekrar ele alınacaktır. Şekil 3'de Türk-İnşaat yapılarına özel hazırlanan değerlendirme grafiği verilmiştir.

2.3 Alman DIN4150 Normu

DIN 4150 Alman Normu'nda frekansa bağlı olarak değişen parçacık hızı sınır değerleri yapı türüne göre Şekil 4'de verilmektedir. Bu normda en alttaki kırıklı çizgi kerpiç, eski yıpranmış tarihi eserler gibi sağlam olmayan yapılar; ortadaki kırıklı çizgi yığma tuğla, beton gibi nisbeten dayanıklı yapılar; üstteki kırıklı çizgi ise betonarme, çelik konstrüksiyon gibi çok dayanıklı yapılar için titreşim frekansına göre parçacık hızı sınırlarını belirlemektedir.



Sınıf	Bina tipi	PPV için referans değerler			
		1-10Hz	10-50Hz	50-100Hz	Bütün frekanslar
1	Ticari, endüstriyel binalar ve yapılar	20	da 20 a 40	da 40 a 50	40
2	Yerleşim yerlerindeki yapılar	5	da 5 a 15	da 15 a 20	15
3	Tarihi yapılar gibi korunması gereken hassas yapılar	3	da 3 a 8	da 8 a 10	8

Şekil 4. Alman DIN4150 standardında, yapı türüne göre, frekansa bağlı olarak değişen parçacık hızı sınır değerleri

Alman DIN (4150) normu, tüm hasar sınıflandırmaları arasında en muhafazakar olandır. Örneğin 1-10 Hz gibi frekansların ürediği tipik açık işletme patlatmalarında yerleşim yerlerindeki betonarme yapılar için 5 mm/s parçacık hızındaki titreşimin aşılmamasını ister. Oysa ki USBM hasar normu ve ondan esinlenerek hazırlanan T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı yönetmeliğine göre, aynı frekanslarda izin verilen eşik değer 19 mm/s gibi çok yüksek bir değerdir. Bu değer, maden ocaklarının yakınlarında yerleşik köy evleri gibi betonarme olmayan yapılar için tahripkar değerlerdir. Bu sebeple, patlatma kaynaklı titreşim analizleri yapılırken muhafazakar, en güvenli tarafta kalan Alman DIN (4150) hasar eşik değerlerinin de dikkate alınması önerilmektedir.

3. HASAR SINIFLAMALARININ ÖRNEK UYGULAMA İLE İRDELENMESİ

İşletmenin işlerini aksatmayacak ama çevreye de hasar vermeyecek patlatmaların yapılabilmesi için uygun gecikme elemanları ve delik gruplamaları ile kontrollü patlatmaların yapılması gerekliliği açıktır. Ancak, bu patlatmaların çevreye verebileceği hasarın değerlendirilmesinde, bir önceki bölümde içerikleri ve sınır değerleri anlatılan değişik hasar değerlendirme kriterleri arasında en uygununun amaca göre seçilmesi gerekliliği de oldukça önemlidir. Aşağıdaki örnekte, üç farklı hasar değerlendirme kriterine göre aynı patlatma verilerinin değerlendirmesine değinilmiştir.

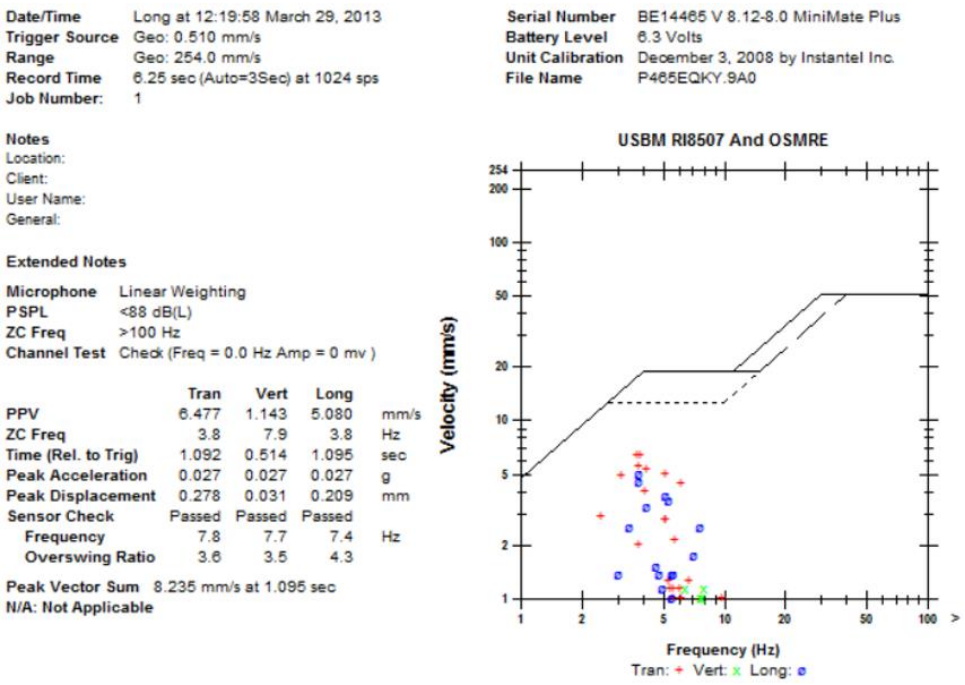
Olay yeri, o tarihlerde (2013 yılında) TKİ BLİ İşletmesine bağlı olan Orhaneli Açık Linyit İşletmesidir. Bildirinin amacı, patlatma kaynaklı oluşan titreşimlerin genliklerini frekansa bağlı olarak hangi limit değerlerini esas alarak değerlendirmeliyiz konusunu yorumlamak olduğu için, patlatma paternleri hakkında burada bilgi verilmemiş, patlatma paternleri ile ilgili iyileştirme çalışmalarının anlatıldığı bir başka bildirimize atıf yapılmıştır (Uyar vd., IMCET 2015).

Şekil 5'de, işletmenin kendi uyguladığı patlatma tasarımlarına göre yapılan patlatmalardan oluşan titreşimlerin, sahaya en yakın (350 m) mesafedeki Orhaneli Köyünde bulunan ve patlatmalardan şikayetçi olan bir evin bahçesinde alınan titreşimlere ait parçacık hızları ve USBM (Amerikan) hasar değerlendirme grafiğine göre verilerin durumu görülmektedir.

Şekil 4 incelendiğinde, üç bileşende (Yanal (Tran), Düşey (Vert), Boyuna (Long)) kaydedilen parçacık hızlarının tamamının izin verilen maksimum değerleri frekansa göre belirlemede kullanılacak eğrinin altında olduğu görülmektedir. Başka bir

deyişle, bu grafiğe bakıldığında, işletmenin yaptığı tasarıma göre gerçekleştirdiği patlatmaların 350 m mesafedeki köy evine hasar verme potansiyeli yoktur. Hatta, hakim frekanslara bakıldığında 5-10 Hz arasında olduğu düşünülürse, bu frekans aralığında izin verilebilen maksimum parçacık hızının 19 mm/s olduğu açıktır. Yani işletme yetkililerinin, bu hasar değerlendirme kriterine göre, şikayetçi olan köy evinin 19 mm/s'ye kadar titreşime maruz kalmasına müsade edebilecek şekilde tasarımlarını değiştirmelerine (delik sayısı artışı, patlayıcı miktarı artışı gibi) izin verilmektedir.

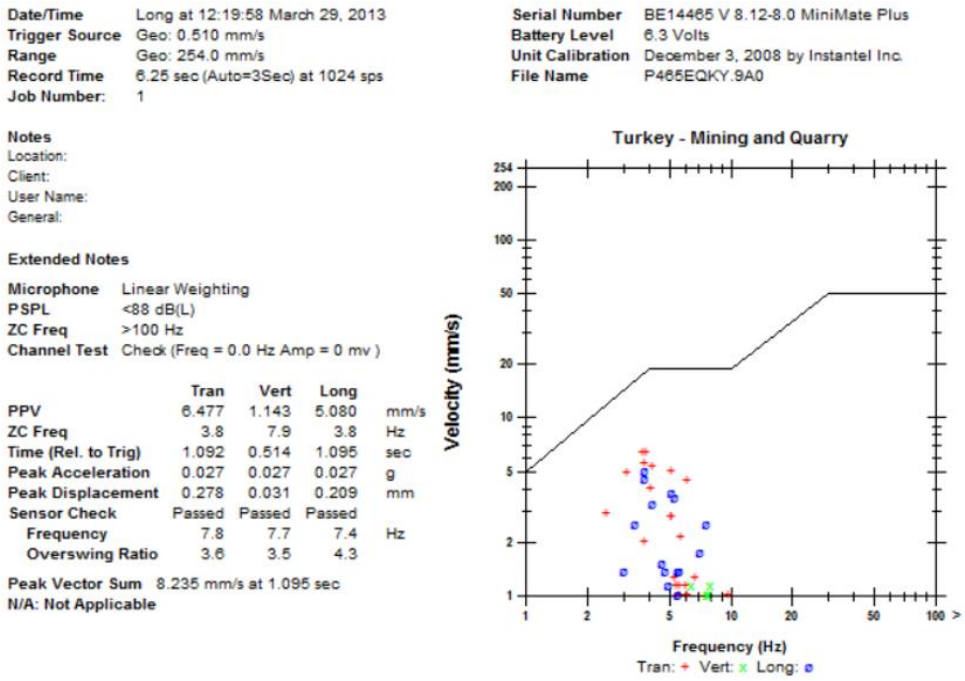
Şekil 6, USBM hasar değerlendirme grafiğinden uyarlanarak Türk hasar değerlendirme kriteri olarak benimsenen grafiğe göre, aynı verilerin durumunu göstermektedir.



Şekil 5. USBM'a göre hasar değerlendirme grafiği

Şekil 5'deki grafikle aynı olduğu, hatta USBM grafiğinde yer alan ve sağlam olmayan yapılar söz konusu olduğunda dikkate alınması için hazırlanmış kesikli çizgi ile belirtilen sınır değer grafiğinin de Şekil 6'daki grafikte olmadığı görülebilir. Bir başka deyişle, Türk hasar değerlendirme kriteri, USBM kriterinden dahi daha kaba ve üst seviyede titreşimlere izin verebilen bir kriterdir.

İşletmede yapılan patlatmalara göre şikayetçi olan evde ölçülen titreşimler, yasal mevzuata göre (Türk hasar belirleme kriteri) köy evine zarar vermeyecek şekildedir diye yorumlanabilir. Ancak Şekil 7, işletmenin uyguladığı mevcut tasarımlara göre yapılan patlatmalardan köy evinin etkilenmiş olabileceğini göstermekte ve daha kontrollü patlatma tasarımları yaparak, titreşimlerin daha muhafazakar Alman DIN4150 normuna göre de değerlendirilmesi gerektiğini işaret etmektedir. Nitekim, aynı patlatma verileri bir kez de Alman DIN4150 hasar değerlendirme kriterlerine göre değerlendirilirse, Şekil 8'de görüleceği üzere, tarihi yapılar (bizim köy evleri gibi) için izin verilen maksimum sınırı gösteren en alttaki eğrinin (Şekilde L3) üzerine çıktığı (patlatma kaynaklı sismik dalganın hakim frekansı 5-10 Hz aralığına göre değerlendirme yapılırsa), yani köy evlerine hasar verme potansiyeline sahip titreşimler olduğu şekliyle yorumlanabilir. Hatta patlatma kaynaklı titreşimler, Şekilde L2 olarak adlandırılan ve sağlam betonarme yapılar için izin verilen, frekansa bağlı olarak en yüksek parçacık hızlarını gösteren eğriyi dahi, 5-10Hz frekans aralığında, geçmektedir.



Şekil 6. Türk hasar değerlendirme kriterine göre verilerin durumu

Şekil 7. Şikayetçi olan köy evindeki çatlaklar

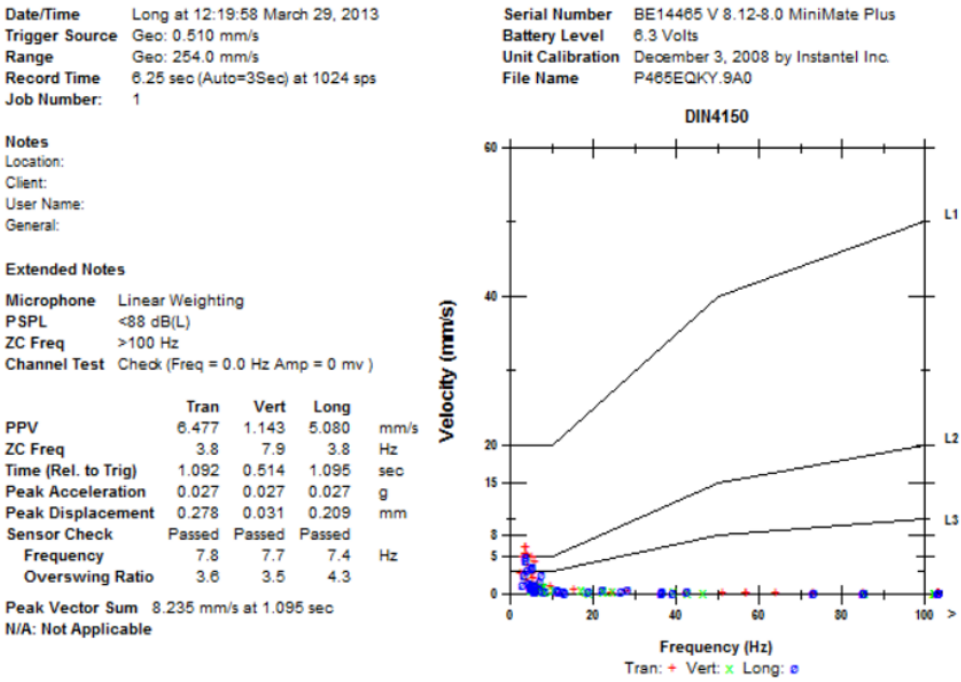
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu patlatmalardan kaynaklı titreşimlerin yapılara hasar verip vermeyeceği hususunda esas alınan hasar değerlendirme normlarında, patlatmanın süresine dair herhangi bir limit değer bulunmamaktadır. Oysa, patlatma işleminde süre de oldukça önemlidir. Örneğin düşük genlikli fakat uzun süreli titreşimler, yüksek genlikli ama kısa süren titreşimlerden daha tahripkâr olabilmektedir. Şekil 9'da görüleceği üzere, bu bildiride örnek olarak verilen patlatmadan kaynaklı titreşimler yaklaşık, 6 saniye civarında sürmekte olup, uzundur. Bu sebeple, yapılara etkilerinin daha fazla olabileceğini dikkate alıp, değerlendirme kriteri olarak Alman DIN4150'yi seçmek daha mantıklıdır. Bildiriye konu olan işletmede mevcut durum böyle iken, şikayetçi olan köy evlerinin maruz kalacağı titreşimleri en aza indirebilmek; başka bir deyişle kontrollü patlatmalar tasarımlandırabilmek için bir dizi çalışma yapılmıştır (Uyar vd, 2015).

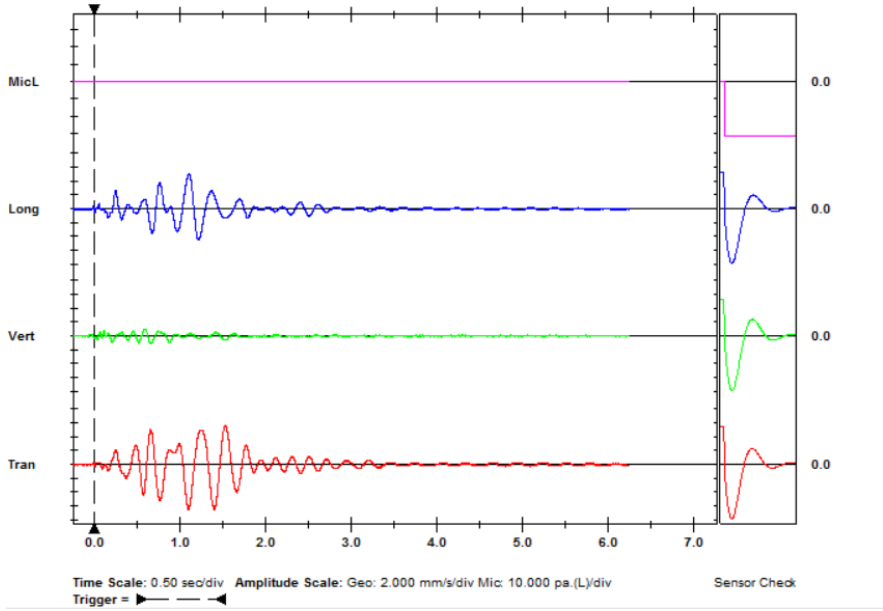
Bu çalışmalar sonucunda Alman DIN 4150 standardına göre, tarihi yapılar sınıflamasında olan çok zayıf köy evlerine 3 mm/s'den daha fazla titreşim vermemek üzere, sürenin de kısa olmasını göz önünde tutacak şekilde delik gruplamaları ve en uygun gecikme elemanları önerilmiş ve patlatmalar gerçekleştirilmiştir. Şekil 10, bu patlatmadan kaynaklı titreşimlerin, aynı köy evinde ölçülen değerlerinin Alman DIN4150 normuna göre durumunu göstermektedir.

Bu kontrollü patlatmada, işletmenin önceden uyguladığı düzenden daha fazla sayıda delik patlatılmış (Uyar vd. 2015), yani işletmenin dekapaj faaliyetleri açısından daha fazla verim elde edilirken, titreşimler, Alman DIN 4150 gibi son derece muhafazakar bir hasar değerlendirme normuna göre dahi izin verilen sınır değerler altında kalmıştır. Böylelikle patlatmaya çok yakın mesafedeki köy evleri, Amerikan ve Türk hasar değerlendirme normlarına göre izin verilen yüksek titreşim değerlerine maruz bırakılmadan, işletme faaliyetlerine verimli bir şekilde devam edebilmiştir.

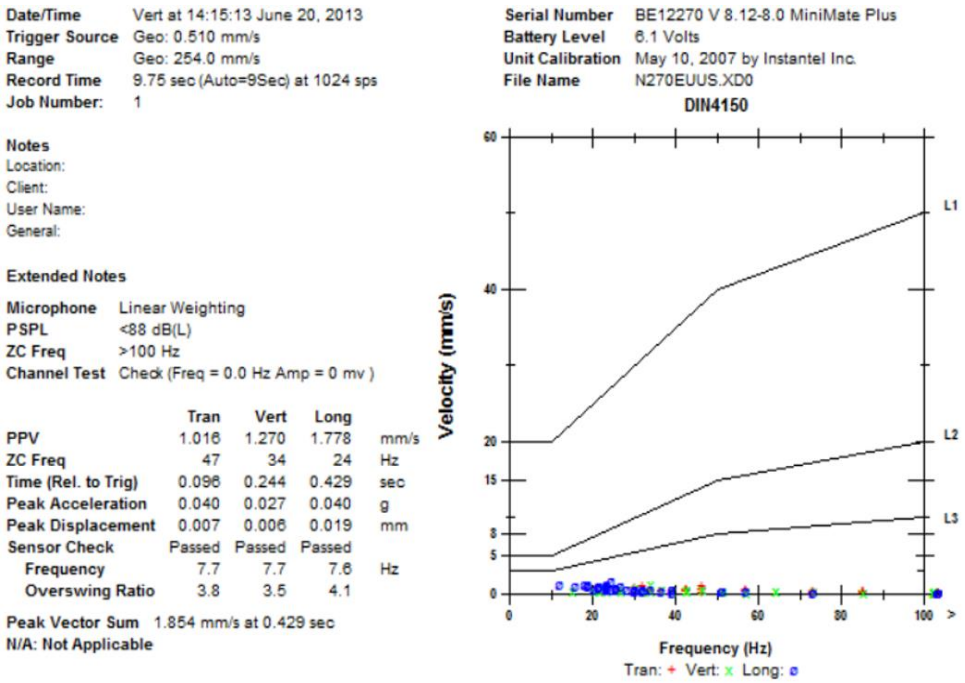
Ayrıca, Şekil 11'de görüleceği üzere, 3 bileşende de titreşime maruz kalma süresi 1 saniye civarına düşürülmüştür.



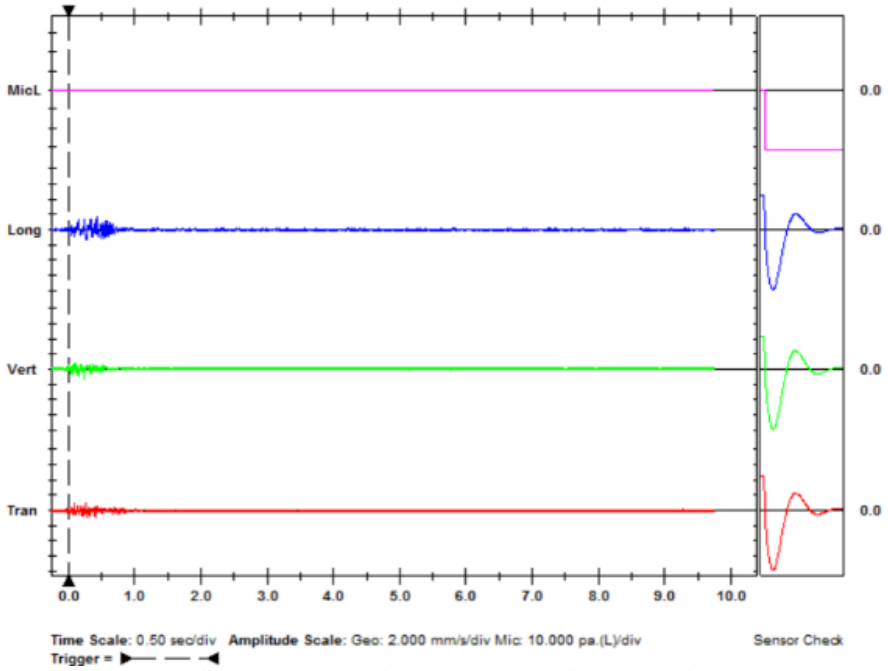
Şekil 8. Alman DIN4150 hasar değerlendirme kriterlerine göre aynı verilerin durumu



Şekil 9. Patlatma kaynaklı sismik dalgalar (3 bileşen)



Şekil 10. Kontrollü patlatma tasarımları sonrasında aynı köy evinde ölçülen titreşimler



Şekil 11. Kontrollü patlatma tasarımları sonrasında aynı köy evinde ölçülen titreşimler

5. SONUÇLAR

Patlatmaların, patlatma kaynaklı titreşim analizleri yapılarak çevre yerleşim yerlerine hasar verip vermeyeceğinin belirlenmesi çalışmalarında Türk hasar kriter değerlendirme eğrilerinde frekansa bağlı olarak izin verilen parçacık hızlarının, özellikle maden sahaları yakınlarındaki kırsal alandaki yerleşik yapılara (köy evleri gibi) hasar verebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü, esas alınan hasar değerlendirme kriterleri, sağlam yapılardan oluşan Amerikan evleri için hazırlanmış standartların uyarlanmasıdır.

Patlatma faaliyetleri yapan işletme ile çevre yerleşim yerleri arasında, titreşimlerin yaratabileceği olası hasarların incelenmesine yönelik çalışmalar yapılırken, özellikle açık işletme patlatmalarının doğası gereği (delik boyları ve çaplarına bağlı olarak kullanılan patlayıcı miktarları, geçilen jeolojik formasyon vb.) yaklaşık 4-10 Hz'ler civarında etken frekanslı dalgaların ürediği düşünülürse, Türk standartlarına göre izin verilen parçacık hızı değerinin 19 mm/s olması oldukça düşündürücüdür. Çünkü eğer 19 mm/s parçacık hızının oluşmasına izin verilen patlatmalar tasarlanırsa, patlatma sahasının yakınlarındaki zaten sağlam betonarme yapılar olmayan köy evlerine hasar verileceği aşikardır. Bu sebeple, daha muhafazakar olan ve bizdeki köy evleri ile benzer yapıda sayılabilecek tarihi yapılar kategorisindeki evlere hasar vermeyecek limit değerleri düşük olan (4-10 Hz arasında 3 mm/s) Alman DIN4150 standardı ile değerlendirme yapılması, mesleki olduğu kadar vicdani bir görevdir.

Kendi yapılarımıza uygun standartlarımızı oluşturmayarak Amerikan standartlarından uyarlama yapılan durumda, işletme patlatmalı kazı faaliyetlerini yaparken, izin verilen titreşim değerlerinin yüksek olması nedeniyle rehavete kapılarak kontrolsüzce patlatmalarını yapabilir ve yargıya taşınan önemli davaların açılmasına sebebiyet verebilir.

Bu sebeple, kendi stadartlarımızın oluşturulması için üniversitelerden ve sektörden konu ile ilgili uzman kişilerin bir araya getirilerek, 1980 yılında Amerika'da Siskind ve arkadaşlarına verilen görevin benzerinin böyle bir uzman kadroya verilmesi gerekmektedir. Böyle bir proje için, tarafımın da içinde bulunduğu değişik akademisyenlerce bireysel teşebbüsler Tübitak vb. kuruluşlara yapılmış olsa da gereksiz bulunmuş, rafa kaldırılmıştır. Bu bildiri aracılığı ile ilgili bakanlıklara ve yetkililere konunun hem bilimsel olarak önemi hem de ileride büyük projelerde karşılaşılabilecek

husumet içeren dava dosyalarını engellemek adına gerekliliği bir kez daha duyurulmaya çalışılmaktadır.

Mevcut kullanılan hasar değerlendirme normlarının, yeraltı patlatmalarının yerüstündeki etkileri; yerüstündeki patlatmaların yeraltındaki etkileri; patlatmaların şev duraylılığı üzerindeki etkilerini değerlendirme açısından hiç bir geçerliliği yoktur. Ayrıca, mevcut hasar değerlendirme normlarında patlatma titreşimlerine maruz kalma süresi de dikkate alınmamaktadır. Bu sebeple, bir önceki maddede üzerinde çalışılması gereken proje, bu eksiklikleri de giderecek biçimde şekillendirilmelidir.

TEŞEKKÜR

Bu bildiriye konu olan değerlendirmelerimi yapabilmemde önemli bir yeri olan; uzun yıllar boyunca hem yeraltı hem de yerüstündeki değişik patlatma projelerini gerçekleştirdiğim ve bir okul gibi gördüğüm Türkiye Kömür İşletmeleri'nin yönetimsel ve teknik kadrosundaki, yıllardır birlikte değişik projelerde çalıştığım tüm personeline teşekkürlerimi borç bilirim.

KAYNAKLAR

Çevre ve Orman Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve YönetimiYönetmeliği, 01.07.2005 tarihli ve 25862 sayılı Resmi Gazete.

Instantel, Blastware Software, http://www.instantel.com/downloads/default.aspx

New Zeland Transport Agency, 2012, Construction Vibration Criteria, Technical Memorandum, Noise and Vibration No:1, https://www.nzta.govt.nz/assets/Highways-Information-Portal/Technical-disciplines/Noise-and-vibration/Standards/Technical-memoranda/Tech-memo-NV1-construction-vibration

Singh P.K. and Roy, M.P., 2010. Damage to surface structures due to blast vibration. Interational Journal of Rock Mechanics and Mining Science, Vo. 47, Issue 6, page 949-961.

Siskind DE, Stagg MS, Kopp JW, Dowding CH, 1980. Structure response and damage produced by ground vibrations from surface mine blasting. USBM RI 8507.

Uyar G.G., Aksoy C.O., Kaypak B., 2015. Şev Duraylılığı Açısından Kontrollü Patlatma Teknikleri: Bursa Orhaneli Linyit Sahası-Gümüşpınar Sektörü Çalışması, Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, Antalya.

White Seismograph Data Analysis, http://www.whiteseis.com/downloads

AÇIK LİNYİT İŞLETMELERİNDE İÇ DÖKÜM SAHALARININ OPTİMAL ALAN KULLANIM PLANLAMASI VE REKLAMASYONU

OPTIMAL LAND USE PLANNING AND RECLAMATION OF INTERNAL DUMP SITE IN LIGNITE OPEN PIT

Tahir MALLI

Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

tahir.malli@deu.edu.tr

ÖZET: Günümüz açık işletme madenciliği anlayışındaki temel değişim, çevresel sürdürülebilirlikle maden sahalarının tekrar doğaya dönüşümü ve ekonomik değerlerin kazanımı yönündedir. Bu değişime uygun olarak artan çevre bilinci ve kullanılabilir arazi ihtiyacını da dikkate alan madencilik planlaması ve uygulamaları da önem kazanmaktadır. Açık işletme madenciliği sırasında geçici olarak bozulan arazi, ocak çukurları, döküm sahalarının rasyonel değerlendirilmesini ve rehabilite edilerek buraların ideal şekilde, çevreye duyarlı peyzaj uygulamalarıyla yeniden ekolojiye ve ekonomiye kazanıldırılması kaçınılmaz bir madencilik realitesidir.

Bu çalışmada, Aydın Linyit A.Ş. kömür işletmesinde linyit üretimini sürdürülürken oluşan ocak çukurları iç döküm yapılarak doldurulmaktadır. Dekapaj atıklarının depolandığı döküm sahaları oluşturularak çevreye verilen zararlar da azaltılmakta ve eş zamanlı olarak bu reklamasyon sahalarının endüstriyel zeytin bahçeleri şeklinde rekültivasyonu yapılarak doğaya, sosyal çevreye ve ülke ekonomisine yeniden kazandırılmaktadır. Böylelikle, çevreye duyarlı madencilik anlayışı ve uygulamaları, kömür üretimi ile zirai üretimin entegrasyonunu açıkça yansıtmaktadır. Maden işletmelerinin stratejilerini en üst düzeye çıkaracak şekilde uzun dönemli sürdürülebilir bu tür reklamasyon uygulamaları ile maden döküm sahaların optimal değerlendirilmesi ve arazi kullanım planlamasında ekonomik bir amaç geliştirilerek alan başına rasyonel faydanın arttırılması da önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Açık işletme madenciliği, Linyit, Üretim, Optimal alan kullanımı, Reklamasyon, Ekonomik amaç

ABSTRACT: *The fundamental change in today's open pit mining concept is the transformation of mine lands into natural structure and the attainment of economic values with environmental sustainability. Mining planning and practices which take into account the increasing environmental awareness and the need for available lands are also gaining importance. A mining reality is the rational evaluation of land, pit quarries, dumping sites temporarily damaged during open pit mining and rehabilitation for recovery of ecology and economy by environmentally sensitive landscaping in an ideal inevitably.*

In this study, it is observed that the dump sites which filled by overburden materials in pits with the internal dumping is being reduced damage to the environment and ongoing coal production in Aydın Lignite Corporation. Simultaneously these reclamation fields in the form of industrial olive gardens is being recultivated into nature, social environment and economy. Thus, an environmental sustainability mining approach and practices clearly reflect the integration of coal production and agricultural yields. Such long-term sustainable reclamation practices that maximize the strategies are recommended to increase the rational benefit per site by evaluating mine dumping sites and developing an economic goal in land use planning.

Keywords: *Open pit, Lignite, Production, Optimal land use, Reclamation, Economic goal*

1. GİRİŞ

Son yıllarda giderek artan çevresel sürdürülebilirlik anlayışı ve kullanılabilir arazi ihtiyacı, açık işletme madenciliği sırasında geçici olarak değişen arazinin yeniden kazanılmasını gerektirmektedir. Bunun sonucu olarak, açık işletmeye sahne olmuş sahaların rehabilite edilerek reklamasyona uygun hale getirilmesi ve buraların yeniden ekonomiye kazandırılması günümüzde oldukça önemlidir. Açık işletme madenciliği anlayışındaki temel değişim, çevresel sürdürülebilirliğe duyarlı ve tekrar ekonomik değerler türetme eğiliminin ön planda tutulduğu; kazı, yükleme ve taşıma operasyonlarıyla entegre olarak reklamasyonun da değerlendirildiği madencilik planlaması önem kazanmaktadır. Açık işletme maden sahalarının reklamasyonu ile döküm sahaları, ocak çukurları ve depolama alanları daha akılcı değerlendirilebilmektedir. Optimal alan kullanımı planlaması, peyzaj mimari

uygulamaları ve rekültivasyon uygulamalarıyla yeniden değerlendirilmesi özellikle zirai kullanıma elverişli hale getirilmesi ile endüstriyel olarak buraların ekonomiye kazandırılmasını sağlamaktadır. Optimum reklamasyon yöntemi seçimi, açık ocak tasarım ve üretim planlamasında en önemli faktörlerden olup açık alan tasarımında planın yeri ve derinliğinin bir fonksiyonu olarak ekonomik hususları da etkilemektedir (Başçetin,2007). Açık işletme planlamalarında iyi planlama maliyetleri düşürdüğü için, yıllık işletme giderlerinin yaklaşık % 8-10'unu oluşturan reklamasyonu diğer operasyonlarla entegre olarak düşünmek gerekmektedir. Bu nedenle, içdöküm uygulamasıyla yüksek dekapaj miktarlarında taşıma mesafesinin azaltılması ve dolayısıyla maliyetlerin düşürülmesi sağlanırken öte yandan çevreye verilecek zarar da en aza indirgenmiş olacaktır.

Madencilik sektörü diğer endüstriyel işletmelerden farklı olarak, doğal çevre ile çok daha fazla etkileşim içindedir. Ülkemizdeki toplam linyit üretiminin yaklaşık % 90'nın açık işletme üretim yöntemiyle gerçekleştirildiği dikkate alınırsa, madencilik faaliyetleri nedeniyle bozulan arazilerin oldukça önemli boyutlara ulaşmaktadır (Ünal vd., 1992). Bu yönüyle, gerek işgüvenliği gerekse çevresel etki değerlendirme bakımından bozulan bu arazilerin yeniden düzenlenmesi ve toplum yararına kullanıma sunulması yasal bir zorunluluk ve maden planlaması aşamasında düşünülmesi gereken bir unsur olmaktadır (Delibalta, 2003). Günümüzde değişen çevre ve sürdürülebilirlik değerleri ile madencilik sektörünün devamlılığının sağlanması için maden kapatma ve doğaya yeniden kazandırma planlamasının tüm madencilik çalışmaları içinde madenciliğin temel faaliyetleri arasında yer alması zorunludur. Öte yandan madencilik faaliyetlerine karşı kamuoyunda olumsuz imajın yerine çevreye duyarlı bir madencilik anlayışının yaygınlaştırılması ve güven eksikliğinin giderilmesi için sözkonusu yetersizliklerin giderilmesi sağlanmalıdır (Düzgün, 2009). Madencilik faaliyetleri, genellikle kırsal bölgelerde çevresel problemler yaratan çalışmalar olarak görülmekte ve olumsuz düşünceler, ağırlıklı olarak araziler üzerindeki fiziksel ve estetik etkiler üzerinde odaklanmaktadır. Madencilik, arazi yüzeylerini geçici olarak değiştiren faaliyet olduğundan belirli bir zaman dilimindeki aktif madencilik faaliyetleri, diğer arazi kullanımları kadar yaygın olmamasına rağmen, önemli ölçüde peyzajı değiştirmekte ve arazinin geçmişteki kullanımı ile ilgili tüm izleri yok etme eğilimindedir. Görsel çevrenin bozulması, peyzajın zarar görmesi, su kaynakları

konusundaki rahatsızlıklar, tarımsal ve orman alanlarının zarar görmesi, erozyon, arazi çökmeleri vb gibi olumsuz etkiler üzerinde yoğunlaşılmaktadır (Sengupta, 1993). Bu nedenle olumsuz etkileri yok etmeye yada minimize etmeye yönelik, ocağın kapatılması ve ocağın faaliyeti devam ederken arazinin yeniden doğaya kazandırılması gerekmektedir. Madencilik faaliyetleri sonrası bozulan arazilerin yeniden düzenlenmesi ve iyileştirilmesinde temel hedef, bu arazilerin ideal peyzaj görünümü kazanması yanında, eski ekolojik ve ekonomik değerine kavuşturulması veya çevreye duyarlı yaklaşımlarla, alan ekosistemini yeniden düzenlenmeye yönelik estetik ve ekolojik değerler gözetilerek daha da geliştirilmesi olmalıdır (Delibalta, 2003).

Aydın Linyit işletmesinde, açık işletme ile kömür üretimini sürdürürken geçici bir süreliğine oluşan açık işletme çukurları da iç döküm stratejisine uygun olarak dekapaj malzemesiyle doldurulup rehabilite edilmektedir. Bu alanlar, optimal reklamasyon uygulamalarıyla endüstriyel zeytin bahçelerine ve ekonomik gelire dönüşmektedir. Ekolojik sisteme ve ekonomiye yeniden kazandırılan açık işletme maden sahaları, sürdürülebilir madencilik ve çevre entegrasyonunu yansıtan bir realitedir.

2. İÇ DÖKÜM YÖNTEMİ ve REKLAMASYON ALTERNATİFLERİ

Türkiye İstatistik Kurumu raporuna göre; maden işletmelerinde toplam 755 milyon ton atık oluştuğu ve bu atıkların % 99,7'sinin dekapaj malzemesinde kaynaklandığı belirtilmektedir (TÜİK, 2014). Toplam atığın % 73,9 'u pasa döküm sahalarında veya düzenli depolama sahalarında, % 18,2 'si ocak içinde içdöküm sahalarında bertaraf edilirken, % 6,8 'i maden sahalarının doğaya yeniden kazandırılması amacıyla ve % 1,1'i ise diğer yöntemlerle geri kazanılmaktadır (Şekil 1).

Şekil 1. Maden atıklarının geri kazanımı (TÜİK, 2014).

Maden işletmelerinde tahrip edilmiş alanın doğal durumuna veya daha uygun kullanıma döndürülmesi, alanın daha verimli, yararlı ve estetik bir görünüme sokulması olarak tanımlanan reklamasyon aynı zamanda maden atıklarının bertaraf edilmesinde etkin bir yöntemdir. Reklamasyon ve rehabilitasyon, madencilik faaliyeti yapılan alanın madencilik sonrası kullanımı için hazırlanmasına yönelik işlemlerle iyileştirilmesi ve yeniden dönüşümüdür (Ramani vd.1990). Genel olarak, açık ocak madenciliği sonrası alan kullanım planlamasında, alanın madencilik öncesi kullanımı ve verimliliği, madencilik sonrası potansiyel için bir gösterge olarak kabul edilir (Michaud, 1981). Bununla birlikte, alanın orijinal topoğrafyasından veya toprak şartlarından kaynaklanan bir sınırlayıcı faktör varsa ve alanı madencilik sonrası daha değerli bir kullanıma dönüştürmek mümkün oluyorsa ya da yöre halkının beklentilerini karşılayabilecek bir fonksiyona kavuşturulabiliyorsa, eski haline döndürülmesi ya da bir başka kullanım için zorlamak gereksiz ve anlamsızdır (Şimşir vd, 2007). Reklamasyon ve rekreasyon uygulamalarında ideal planlama maliyetleri azalttığı için operasyonları detaylı tasarlayıp sonucunu düşünmek gerekmektedir. Kazı miktarının minimize edilmesi maliyet bakımından fayda sağlayacağı gibi, çevreye verilecek zarar da azalacaktır (Pamukçu, 2004). Ayrıca üretim sahası geometrik boyutu, öngörülen arazi kullanım planı ve işletme bölgesindeki jeolojik, hidrolojik, zemin mekaniği koşulları ve de kullanılan maden makinaları teknolojisi, uygulanacak arazi rehabilitasyon yöntemini etkilemektedir. Bu nedenle açık işletme üretim, nakliyat, döküm sistemi seçimi ve ekipman planlanmasında, madencilik sonrası bozulan arazilerin yeniden kullanım ve dönüşüm planları da gözönünde tutulmalıdır (Köse vd., 1993).

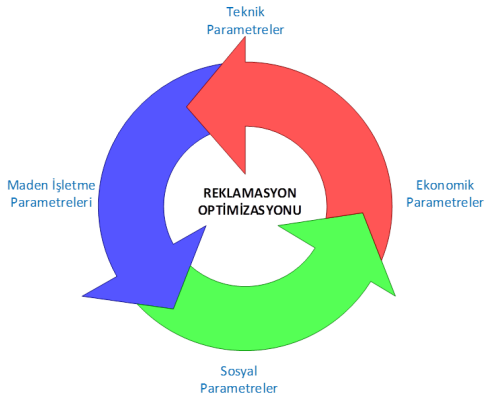
Özellikle uygulanacak reklamasyon çalışmaları, üretim süreci ile planlanmalı ve eş zamanlı olarak sürdürülmelidir. Açık işletme kömür üretim kapasitesi, açık işletme derinlik ve diğer işletme parametrelerine bağlı olarak örtükazı dekapaj miktarı, döküm sahasının hacimsel olarak boyutlarını etkilemekte ve döküm alanını da belirlemektedir. Döküm yöntemine bağlı olarak iç döküm yöntemi nakliye mesafesini azalttığı için ve dış döküme göre çevresel ve görsel kirlilik potansiyeli olmaması avantajlıdır. Ancak işletme koşulları ve planlama kısıtları, döküm sahasının yüzey alanı, yüksekliği, şev açısı ve duraylılığını belirlemektedir. İşletmede drenaj faaliyetlerinin yapılması su seviyesinin düşmesini sağlayacak ve bunun doğal bir sonucu olarak da şev açısı daha

dik bir konuma geleceği için daha fazla malzemenin depolanması sağlanacaktır (Kılıç ve Onur, 2001). Reklamasyon alanına dönüşecek döküm sahasının yüzey şekillendirme, hacmin doldurulması ve teraslama işlemlerindeki en önemli unsur, şev kayması ve erozyon riskine karşın döküm sahasının stabilizasyonudur. Sahanın stabilitesi için geniş çaplı tesviye işlemleri, eğim değişikliği, zeminin stabilizasyonu yöntemleri uygulanabilmektedir. Potansiyel kayma riski olasılığına, şiddetine, kaymayı tetikleyen mekanizmalara, insan hayatı ve ekipmana vereceği zarara göre stabilizasyon yöntemi belirlenmektedir. Eğim değişikliği yönteminde şevin stabilitesi, kazı ve doldurma tekniğinin değişik uygulamarı şeklinde şevin üst kısmının alınması ile artırılabilmekte veya şevin potansiyel kayma bölgeleri boyunca şev dibine malzeme dolgusu yapılarak şev direnci artırılabilmektedir. Zemin stabilizasyonu veya zemin iyileştirme yöntemi ile fiziksel ve kimyasal alterasyon yoluyla zeminin yük taşıma kapasitesinin artırılması teknikleri olup; zeminin desteklenmesi, betonlama, jeosentetik uygulama, kimyasal işlemleri kapsamaktadır. Bu iyileştirme çalışmaları ile zeminin mukavemet, sıkıştırılabilme, kohezyon ve bunların sonucunda da erozyona karşı dayanım özellikleri arttırılmaktadır. Peyzaj açısından doğal görüntülerin ortaya çıkması için doğala özdeş şev, teras ve drenaj paternleri; görsel açıdan oldukça sade, estetik ve doğal bir yapıda tasarlanmalıdır. Açık işletme sonrası bozulan arazilerin yeniden düzenlenmesi için teknolojik süreçte kullanılan ekskavatör, nakliye araçları ve dökücüler uygulanacak olan arazi rehabilitasyon yöntemini etkileyebilmektedir (Brauer 1997).

Reklamasyon çalışmalarının maliyeti, toplam işletme maliyetinin % 9.8' idir. Bu maliyetin % 90'ını, kazı, dolgu, düzeltme gibi arazi şekillendirme çalışmaları oluşturmaktadır (Kartallıer,2006). İşletme giderlerinin yaklaşık % 10'una yaklaşan bu reklamasyon maliyet değerini düşürebilmek için üretim başında kazı ve yükleme operasyonlarını, materyali sadece birkez ideal bir döküm alanına taşımak şeklinde planlamak gereklidir. Çünkü madencilik sonunda yapılacak doldurma işlemi en pahalı rekültivasyon tekniği olacaktır. Bunun için yapılması gereken, optimum işletme planlaması ve üretim aşamasında reklamasyon operasyonunu da tasarlayabilmektir. Reklamasyon uygulamalarının maliyetlere etkisi çok açıktır. Bu nedenle, maden planlaması aşamasında detaylandırılarak optimal alan kullanımının belirlenmesi gerekmektedir (Mallı vd., 2011). Reklamasyon uygulamaları ve maliyetleri, işletmelere göre değişmektedir. Doğu Almanya linyit ocaklarının ıslahı projesi ile 7,5 milyar €

harcanarak 100000 hektardan fazla alan kullanılabilir hale getirilip çevreye kazandırılmıştır (Kuyumcu, 2005). Batı Kentucky havzasında reklamasyon değeri, toplam işletme maliyetinin % 8'i civarındadır. Başka bir uygulamada, örtü-kazı oranı 8 olan ve her 100 ton üretim için 0,2 hektarlık arazinin bozulduğu bir açık işletmede reklamasyon maliyetinin 0,32 $/ton olduğu ve toplam maliyetinin % 7,6'sı olduğu belirlenmiştir. Bu maliyet değeri hektar başına 1000 $ ile 20000 $ arasında değişmektedir (Ünal vd.1992, Kuzu vd,1998).

Doğa onarım çalışmaları; alan kullanım planlaması ile alanın değişik faktörler yönünden önerilen kullanımlara uygunluğunun araştırılmasıyla başlamaktadır. Yeniden düzenlenmesi ise bu planlamaya uygun kazı ve döküm yapılması, bitkisel toprağın ayrı depolanıp daha sonra serilmesi, tesviye, drenaj işleridir. İyileştirme ise yeniden bitkilendirme ile biyolojik verimliliğin kazandırılması, İzleme ve bakım çalışmaları ise arazi verimliliğinin geliştirilmesidir (Akpınar, 2005). Arazi ıslahı ve madencilik sonrası faaliyetler, madencilik projesinde önemlidir. Geri kazanılan alanın en uygun arazi kullanımının seçimi, genel süreçte kritiktir. Bununla birlikte, en uygun arazi kullanımı, dikkate alınan teknik, çevresel, hukuki, ekonomik, sosyal kriterlerin çeşitliliği ve kabulün sağlanması nedeniyle karmaşık bir karar problemidir. Sosyal ve çevresel kısıtlamalar, yerel makam ve topluluk gibi karar vericileri karakterize eden öznelliğe bağlı olarak komplekslik artmaktadır. Maden sahası için tek bir arazi kullanımı seçimi, potansiyel arazi kullanımlarının sıralanması ve alternatiflerin önceliklendirilmesi odaklıdır (Pavloudakis vd., 2009). Reklamasyon uygulamasını belirleyen genel faktörler; maden işletme, teknik, sosyal ve ekonomik kriterlerdir (Şekil 2).



Şekil 2. Reklamasyon optimizasyonu ve genel parametreleri

Reklamasyon seçiminde maden sahası jeolojisi, yerleşim merkezine olan uzaklığı, topoğrafik yapı ve arazi durumu gibi kısıtlayıcı faktörler, maden yataklanma geometrisi, işletmenin çalışma tekniği ve teknolojisi, şev stabilitesi, döküm sahası planlaması, dekapaj malzemesi, üst örtü toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri, ekolojik sistem, iklim, sıcaklık, nem, rüzgar, güneşlenme şiddeti gibi teknik faktörler etkilidir. Sosyal kriterler ise nüfus, istihdam, yasal yükümlülüklerin yerine getirilmesi ve çevresel etki ile hassasiyetlerdir. Ekonomik açıdan yatırım maliyeti, amortisman süresi ve reklamasyon projesinin rantabilitesi önemli ayrıntılardır (Soltanmohammadi vd. 2010). Reklamasyon faktörleri ve alt kriterler Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Reklamasyon parametreleri

Genel faktörler			
Maden sahası	**Teknik**	**Sosyal**	**Ekonomik**
Jeolojik faktörler	İşletme parametreleri	Nüfus	Yatırım
Merkeze uzaklık	Lokasyon ve yapı	İstihdam	Maliyet
Topoğrafya	Ekoloji ve toprak	Yasal yükümlülük	Amortizasyon
Arazi durumu	İklim	Çevresel etki	Proje rantabilitesi

Açık işletme sonrası bozulan arazinin yeniden düzenlenmesinde ideal bir peyzaj görünüm sağlamak kadar, buradan ekonomik olarak yararlanmak da hedeflenmelidir. Bu amaçla, arazi geri dönüşüm planları; ziraat (tarım, bahçe, vb.), orman (ticari ve ticari olmayan), rekreasyon (eğlence ve dinlenme yerleri, parklar, halka açık alanlar vb.), su kullanımı(balıkçılık, toplumsal ihtiyaçlar), bayındırlık ve inşaat(hafif endüstriyel binalar, konut ve hizmet binaları, yol vb.), yaban hayatı (biyotop, doğal koruma alanları vb.) gibi amaçlar için kullanılabilir (Saltoğlu,1992, Köse vd., 1993). Maden kapatma sonrası uygulanan çalışmalar, mera, tarım arazileri, ormancılık, göl, spor sahası, park, konut, ticari, sanayi, eğitim, sürdürülebilir toplum talepleri ve depolama gibi diğer arazi kullanımlarının ekosistem için geliştirilebileceğini göstermektedir (Soltanmohammadi vd., 2010). Ayrıca koşullar uygun olduğunda güneşlenme süresi ve rüzgar şiddeti gibi faktörlere göre rüzgar veya güneş enerji santrali olarak da değerlendirilebilmektedir. Reklamasyon alternatifleri için genel olarak 10 farklı geri dönüşüm ve arazi kullanım planı bulunmaktadır (Çizelge 2).

Bitki seçiminde genel olarak iklim şartları gölge ve ışık durumları ile toprak yapısı, toprağın fiziksel özellikleri, pH derecesi, Ca içeriği, toprak mineralizasyonu, içerdiği makro-mikro elementler, toprağın tuzluluğu, toprağın bünyesi, organik madde içeriği gibi toprağın kimyasal özellikleri, sıcaklık, nem, yağmur, don olayları,

güneşlenme süresi, güneşlenme şiddeti, rüzgar yönü ve şiddeti gibi iklim koşulları ile başka bitkilerle ilişkileri ve bitki ekolojisidir (Pamukçu, 2004). Bitki seçim kriterleri; ekolojik, işlevsel, kültürel ve ekonomik kriterler olup seçilecek bitkiler bu kriterler göz önüne alınmadığında, yaşama şansı azalacağından ötürü rekültivasyon çalışmalarını aksatabilmektedir (Güney, 1989).

Çizelge 2. Geri dönüşüm ve reklamasyon alternatifleri

Alternatif	Geri dönüşüm
	Uygulama projeleri
A-1	Piknik alanları, göl, gölet, doğal yaşam parkları
A-2	Aquapark, açık-kapalı yüzme havuzu
A-3	Hayvan, balık çiftliği
A-4	Açık hava tiyatrosu, sinema, sanat merkezi
A-5	AVM, konut, tesis, fabrika
A-6	Spor kompleksi, golf sahası, stadyum
A-7	Endüstriyel bahçe ve fidanlıklar
A-8	Rüzgar türbini-RES, güneş paneli-GES
A-9	Orman ve kereste üretimi
A-10	Dolgu, depo alanı

3. REKÜLTİVASYON UYGULAMASI

3.1 Genel Bilgiler

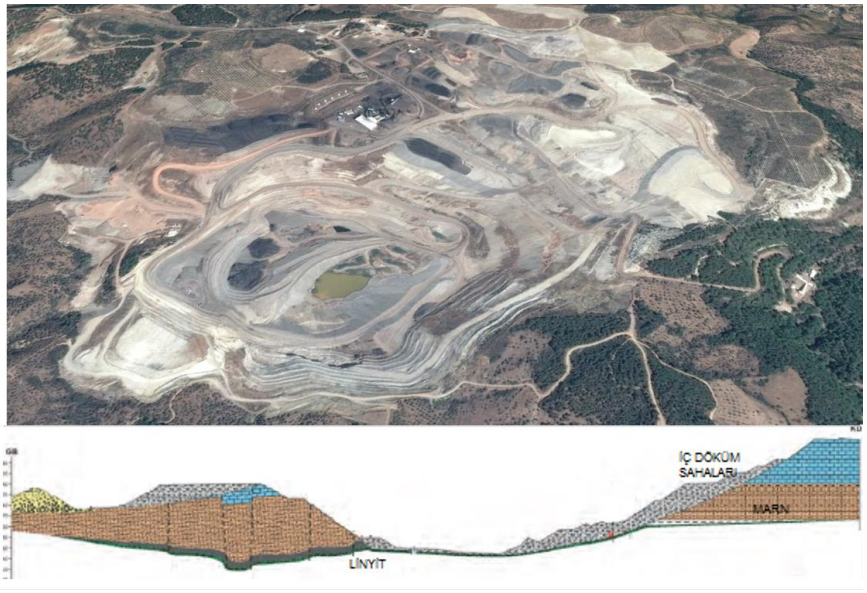
Aydın Linyit A.Ş.'ne ait kömür işletmesi, Aydın ilinin 15 km güney doğusunda açık işletme olarak faaliyet göstermekte olup yıllık yaklaşık yarım milyon ton linyit kömürü üretimi gerçekleştirmektedir. İşletmeye ilişkin genel bilgiler Çizelge 3'de verilmektedir.

Çizelge 3. Maden işletmesine ait teknik parametreler

İşletme verileri	Açıklama
Kömür rezervi	13645000 ton
Linyit üretim kapasitesi	450000 t/yıl
Dekapaj miktarı	30000 m^3/gün
İşletme derinliği ve şev eğimi	170 m ve ortalama 30^o genel şev açısı
Ortalama kömür kalınlığı	7,28 m
Üretim yöntemi	Ekskavatör-kamyon örtü-kazı yöntemi
Nakliye mesafesi	Ortalama 2,5 km

3.2 Sahanın Jeolojisi

Aydın Şahinali kömür havzası, Menderes masifinin güneyinde metamorfitler üzerinde uyumsuzlukla gelen kömürlü neojen birimlerden oluşmaktadır. Temel birimler gnays, şist ve fillitlerden oluşmuştur ve bu birimler üzerine sırasıyla kömür damarı, silttaşı, kiltaşı, killi kumlu kireçtaşı seviyeleri ve alüvyal örtü tabakları ardalanmıştır (Evcen, 2005). Açık linyit işletmesinin görüntüsü ve jeolojik kesiti Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3. Açık linyit işletmesinden görünüm ve jeolojik kesit (Evcen, 2005)

3.3 İç Döküm Yöntemi ve Alan Kullanımı

Kömür üretimi tamamlanan sahalar, üst örtü malzemesiyle iç döküm stratejisine uygun olarak döküm sahalarına doldurulmakta ve ardından gerekli işlemlerle yığınlar teraslanıp stabiliteleri sağlanmaktadır. İşletmede günlük 30000 m^3 dekapaj malzemesi, ortalama 2,5 km mesafedeki döküm sahasına taşınarak toplamda 130 milyon m^3 hacmindeki maden atığı, 130 ha reklamasyon alanı dönüştürülmektedir (Çizelge 4). Maden işletmesinde oluşturulan iç döküm sahaları, devam eden reklamasyon uygulamaları ve rekültive edilen alanlara ait görünüm Şekil 4'de verilmektedir.

Çizelge 4. Maden reklamasyon parametreleri

İşletme verileri	Açıklama
Lokasyon (şehir merkezine uzaklık)	15 km
Döküm sahası alanı	1300 dekar
Yükselti değeri (rakım)	310 m
Ekoloji ve toprak	Humuslu, kumlu, killi ve kireçli yapıda
İklim	Sıcaklık ortalaması 17,5 º (-11 ile 43,6º)
Yağış miktarı	Yağış ortalaması 656 mm/yıl
Rüzgar hızı	2,3 m/sn ve hakim yön doğu
Güneşlenme süresi ve ışınım değeri	3011 h/yıl ve 1557 kWh/m^2-yıl

3.4 Rekültivasyon Çalışmaları

İşletme tüm parametreleri dikkate alarak ve ekonomik kriterleri de değerlendirerek, endüstriyel bahçe alternatifini en ideal reklamasyon uygulaması olarak karar vermiştir.

Bu reklamasyon alanlarında stabilitesi sağlanmış ve iyileştirilmiş düz zeminlerde ekolojik dengeye en uygun ve yüksek adaptasyon sağlayan 60000'i aşan zeytin plantasyonları uygulanırken (Şekil 5), şevli yüzeylerde ise akasya plantasyonu uygulanmıştır. Rekültivasyon çalışmalarıyla endüstriyel zeytin bahçelerine dönüşen üretimi sonlanmış maden sahaları, çevreyle entegrasyon içinde doğaya saygılı sürdürülebilir madencilik anlayışının olumlu sonuçlarıdır. Ayrıca, bu tür uzun ömürlü reklamasyon uygulamalarından gelecek yıllar için ciddi ekonomik kazanımlar da beklenmektedir.

Şekil 4. İç döküm sahaları ve reklamasyon alanları

Şekil 5. Rekültivasyon uygulaması tamamlanan zeytin bahçeleri

4. DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA

Reklamasyon uygulamalarında optimal alan kullanımının belirlenmesinde özellikle ekonomik faktörler etkili olmaktadır. Bununla birlikte teknik sınırlayıcı faktörler kadar lokasyona özgü dinamiklerinde belirleyici olduğudur. Maden işletmeleri için optimal reklamasyon alternatifi seçiminde; şehir merkezine uzaklık, iklim, ekolojik faktörler gibi teknik kısıtlar belirleyici olmakla beraber özellikle ekonomik amaca yönelik proje rantabilitesinin daha yoğun etkisinde olduğu görülmektedir. Bu maden işletmesi için

yapılan değerlendirmeler de; yörenin dinamiklerine uygun endüstriyel zeytin bahçesi, orman-kereste üretimi ve hayvan çiftliğine dayalı reklamasyon uygulamalarının rasyo-ekonomik sonuçlar verdiği görülmektedir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Reklamasyon alternatiflerinin değerlendirilmesi

Parametre	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8	A-9	A-10
Jeolojik faktörler	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+
Merkeze uzaklık	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+
Topoğrafya	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+
Arazi durumu	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+
İşletme kriterleri	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
Lokasyon - yapı	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+
Ekoloji	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+
İklim	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Nüfus	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
İstihdam	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Yasal yükümler	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Çevresel kriterler	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Yatırım	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Maliyet	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Amortizasyon	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Rantabilite	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-

Bu reklamasyon uygulaması ve elde edilen sonuçlar;

- ✓ Reklamasyon alternatiflerinin değerlendirilmesinde, çevreyle uyumlu ve bölgenin iklim, ekolojisine uygun seçimler yapılmasıyla avantajlar sağlandığı,
- ✓ Reklamasyon alternatifleri içinde zeytinlik gibi endüstriyel bahçelerin bu ekolojik sisteme en uygun plantasyon olduğu ve uzun dönem ekonomik gelir sağlayan çözüm olduğu,
- ✓ Maden işletmelerinin üretimle birlikte iç döküm yöntemiyle dekapaj malzemesinin oluşan çukurları doldurarak maden atıklarının depolanıp reklamasyon alanlarına dönüştürülmesi ile çevreye verilebilecek zarar önlenip azaltılırken rasyonel bir başka yatırımın da gerçekleştirilebildiği görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çevresel sürdürülebilirlik değerleriyle entegre açık maden işletmeciliği, sektörün devamlılığı açısından oldukça önemli bir realitedir. Bu yönüyle, linyit kömür üretimini sürdüren açık kömür işletmelerinde dekapaj malzemelerinin iç döküm yapılarak ocak çukurlarının doldurulması ile çevreye verilen zarar da olabildiğince azaltılmaktadır. Üretimle eş zamanlı olarak oluşturulan reklamasyon sahaları, endüstriyel zeytin

bahçeleri şeklinde rekültivasyonu yapılarak kısa sürede ekolojik sistemine doğaya, sosyal çevreye ve ülke ekonomisine yeniden kazandırılması yanısıra madencilik faaliyetlerinin çevreye duyarlı olarak yürütülmesi oluşan negatif imajın yıkılarak toplum güveninin kazanılmasını da sağlayacaktır. Optimal reklamasyon uygulamaları, rasyonel yatırımlarla ekonomik değerler elde edilmesinin ve kömür üretimi ile birlikte zirai üretimin entegre olarak sürdürülebileceğini açıkça göstermektedir. Bu tür uygulamaların yaygınlaşmasıyla, sürdürülebilir madencilik ve çevre açısından olduğu kadar ülke ekonomisi içinde oldukça önemli kazanımlar sağlanacağı açıktır.

Maden işletmeleri stratejilerini en üst düzeye çıkaracak uzun dönemli sürdürülebilir bu tür reklamasyon uygulamalarıyla değerlendirip arazi kullanım planlamasında ekonomik amaç geliştirilerek alan başına rasyo-ekonomik fayda arttırılmalıdır.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın oluşmasında, teknik açıdan yardımlarını sunan AYDIN LİNYİT A.Ş. ve ATAY HOLDİNG yöneticilerine teşekkürü bir borç bilirim.

KAYNAKLAR

Akpınar, N., 2005. Madencilik faaliyetleri sonrası onarım çalışmalarında bitkilendirme süreci, Madencilik ve Çevre Sempozyumu, 5-6 Mayıs 2005, Ankara

Başçetin, A., 2007. A decision support system using analytical hierarcy process(AHP) for the optimal environmental reclamation of an open pit mine, Environmental Geology, Vol.52, No.4, pp. 663-672.

Brauer, H., 1997. Handbuch des umweltschutzes und der umweltschutztechnik, Bd.5, TU Berlin, Institutfür Verfahrenstechnik, Springer Verlag Berlin, 129-163.

Düzgün, Ş. 2009. Maden kapatma planlaması ve doğaya yeniden kazandırmanın temel ilkeleri, 3. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Ankara.

Delibalta, M.S., 2003. TKİ-GELİ (Muğla) bölgesinde dekapaj döküm sahasındaki şev duraysızlıklarının incelenmesi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

Evcen, E., 2005. Şahinali (Aydın) neojen havzasındaki kömürlerle ara tabakalı killerin mineralojisi, oluşumu ve ekonomisi. DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

Güney, A.,1989. Peyzaj onarımında bitki kullanımı ve ege bölgesinde kullanılabilecek bazı bitkiler. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. Cilt: 26 Sayı: 3., İzmir.

Kartallıer,V., 2006., İzmir ve çevresindeki eski taşocaklarının rekültivasyonu ve rehabilitasyonu, DEU Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 24-32.

Kılıç,A.M., Onur, A.H., 2001. Türkiye Afşin-Elbistan Linyitleri (A.E.L) Açık İşletmesi İç Döküm Sahası Dinamik Duraylılık Analizi, 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, 11-16.

Köse, H., Şimşir, F. , Güney, A., 1993. Açık maden işletmelerinde rekültivasyon ve rekreasyon, DEÜ, Mühendislik Fakültesi Yayınları No:236, İzmir, 51.

Kuyumcu, M., 2005. Doğu Almanya linyit ocakları ıslahı ve çevreye entegrasyonu, Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Ankara, 165-172.

Kuzu, C., Ökten, G., Nasuf, E., 1998. Kömür ocaklarının çevre düzenlenmesi, Kömür, Kural O.(edt), İstanbul, 585-601.

Mallı, T., Köse, H., Deliormanlı, A.H., Karakuş, D., 2011. Linyit açık işletme madenciliğinde reklamasyon ve rehabilitasyon uygulamalarının teknik ve ekonomik değerlendirmesi, 4. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, İzmir, 103-112

Michaud L.H., 1981. A manual of reclamation practice, Ontario, International Academic Services Ltd.

Pamukcu, C., 2004. Açık ocaklarda alternatif rehabilitasyon modellerinin geliştirilmesi ve örnek bir uygulama, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Projesi, İzmir, 257.

Pavloudakis , F., Galetakis, M., Roumpos, C., 2009. A spatial decision support system for the optimal environmental reclamation of open-pit coal mines in Greece, International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 23:4, 291-303.

Ramani, R.,V.,Sweigard,R. J, Clar, M. L., 1990. Reclamation planning, Surface Mining Handbook, ABD, 750-769.

Sengupta, M., 1993. Environmental Impacts of Mining: Monitoring Restoration and Control. Lewis Publisher, Florida, USA.,441,5.

Soltanmohammadi H., Osanloo M., Bazzazi A.A., 2010. An analytical approach with a reliable logic and a ranking policy for post-mining land-use determination, Land Use Policy, 27: 364-372.

Şimşir, F., Pamukçu, C., Özfırat, K. M., 2007. Madencilikte rekültivasyon ve doğa onarımı, DEÜ, Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi 9 (2): 39-49.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2014 . Maden İşletmeleri Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri.*www.tuik.gov.tr/haberbülteni*

Ünal, E., Kara, D., Vatan B., 1992. Açık ocak kömür madenciliği sırasında bozulan işletme sahalarının yeniden düzenlenmesi ve iyileştirilmesi, Madencilik, Sayı:1, 5-16.

TAKING THE NEXT STEP: USE OF ONLINE ANALYTICAL PROCESSING (OLAP) FOR ENVIRONMENTAL DATA ANALYSIS

BİR SONRAKİ AŞAMA: ÇEVRE VERİLERİNİN ANALİZİNDE ÇEVRİMİÇİ ANALİTİK İŞLEME (OLAP) KULLANIMI

M. Mustafa KAHRAMAN[1*], Sean DESSUREAULT[2]

1: Gumushane University, Department of Mining Engineering, Gumushane, TURKEY

2: University of Arizona, Department of Mining and Geol. Eng., Tucson, AZ, USA

*: Corresponding Author: kahraman@gumushane.edu.tr

ABSTRACT: Mining operations have ultimate goals to operate safe, be productive and comply with environmental regulations. To measure, manage, and comply with each process, the data must be captured from each area. Most of these processes are tracked by technologies that are also measuring many other conditions. The data in these systems are being captured and stored in databases or historians with an intention to benefit the operation in the future, but the challenge lies in the fact that these are highly voluminous and varying data sources qualifying as Big Data, where the skill sets and integrated data infrastructure is rarely present to allow the data to achieve its full value. Such challenges usually result in personnel falling-back to known pre-technology era approaches such as basic intermittent paper and observation-based approaches. This paper discusses a case study of the development of Big Data business intelligence tools to increase use of voluminous environmental data for compliance and analysis in a copper and coal mines, integrating both relational and process-based sources. The approach uses data warehousing as a platform, environmental personnel as people and process change as solution.

Keywords: OLAP, Data Integration, Environmental BigData, Process Change

ÖZET: *Maden operasyonlarının temelde hedefi emniyetli, üretken ve çevresel düzenlemelere uygun çalışmaktır. Her aşamanın ölçümü, yönetimi ve uygunluğu için her proseste veri toplanmalıdır. Bu aşamaların çoğu diğer durumların da seviyesini ölçen teknolojiler tarafından donatılmıştırlar. Bu sistemlerdeki veriler kaydedilip veri tabanlarında gelecekte bir gün fayda sağlayacakları umuduyla kaydedilirler. Ancak bu*

süreçte karşılaşılan asıl sorun "BüyükVeri"olarak adlandırılan bu büyük hacimli ve çeşitli veri kaynaklarının kullanımı çalışanların yetenekleri ve veri altyapısındaki eksiklikler sebebiyle verilerin tam faydasını göstermesini engeller. Bu tür problemlerin nihayetinde bir çok kez çalışanlar vazgeçerek teknoloji öncesi yaklaşımlardan kalem-kağıda geri bile dönebilmektedirler. Bu çalışmada ilişkisel ve proses tabanlı, yüksek hacimdeki çevre verilerinin iş zekasi araçları kullanılarak bakır ve kömür madenlerinde uyumluluk ve analiz amacıyla kullanılması vaka çalışması konu alınmaktadır. Yaklaşımda veri ambarcılığı platform, çevre personeli insan kaynağı ve çözüm olarak proses değişimi olarak kullanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *OLAP, Veri Entegrasyonu, Çevresel BüyükVeri, Proses Değişimi*

1. INTRODUCTION

As the world transforms with smarter infrastructures and devices, the amount of data generated by sensors or systems are at peak. As the mining industry transforms at a slower pace compared to many other industries, it possible to predict importance of data in next decades. Today, in large modern mining operations, some data sources continuously generate data at different frequencies. Most of these systems collect data automatically. The primary data sources in open pits are Fleet Management Systems, process control systems, enterprise systems (ERP) that often have both accounting systems and maintenance records, and various other sensors or spreadsheets. As technology advances, more data is being collected, yet mines are having the problem of being data-rich while knowledge-poor. (Dessureault, 2007) Data management consists of all disciplines surrounding data governance. However, the particular focus for this work is on data warehousing and data analysis to maximize the use of data for decision support and analysis.

2. BUSINESS INTELLIGENCE

Data will be in the center of this study; therefore, it is important to explain the data concept. Data does not have any meaning by itself. Integrating different data sets from different sources can help to make the data useful. Data is only valuable when it becomes knowledge. For example, 35° is a datum. However, it does not enable any type

of analysis. When it is combined with different data such as location, day, time, or altitude, it can become useable information.

2.1. Data Types

According to Lee and Famoye (2011), there are two major types of data.

Qualitative Data: The values are non-numeric categories. Examples: location name, equipment ID, operator ID.

Quantitative Data: Data values are counts or numeric measurements. Quantitative variables can be discrete or continuous. An example of discrete variables can be the load count of a shovel. Temperature of an engine is an example of a continuous variable.

2.2 Data Collection

Almost all of the equipment, workforce, and processes in a mine generate data about their work. Some of the data is accumulated from sensors, PLCs, GPS, and also humans. Data collection and utilization is essential for monitoring and managing the operation. In recent years, the number of data-generating elements has increased. For example, large haul truck manufacturers install onboard diagnostic systems in their machines. Important health parameters about a vehicle, such as exhaust manifold temperature, strut pressures, engine temperature, and oil pressure and operating parameters such as throttle position, use of service brake or retarder, speed, engine rpm, and transmission gears are captured and recorded by these systems. (Coyle and Holmes 2007)

2.3 Data Warehousing

A data warehouse is a centralized reservoir for making successful decisions that store and integrates a collection of data that resides in multiple information sources. (Chau et al., 2002) Inmonna (2008) describes a data warehouse as a subject-oriented, integrated, time-varying, non-volatile collection of data in support of the management's decision making process. The biggest advantage of a data warehouse over a transaction-processing normalized database is its process speed during analysis. Data warehouses collect and integrate data from multiple sources, facilitate understanding among users,

and track changes over time. (Dessureault and Sinuhaji, 2007) Because they allow integration of different components, data warehouses are a great of help for organizations in making analysis and understanding the relations of different components. Figure 1 shows the architecture of a traditional data warehouse. In the first step, data is collected from different sources and is extracted to staging tables. Then the errors and other data issues are fixed and transformed into a consistent format (data preprocessing). In the last step, these tables are loaded into the data warehouse. Once the tables are loaded in the data warehouse, then simple reporting and advanced analysis such as On-line Analytical Processing (OLAP) and data mining can be done. As OLAP will be in the focus of this paper will not cover data mining.

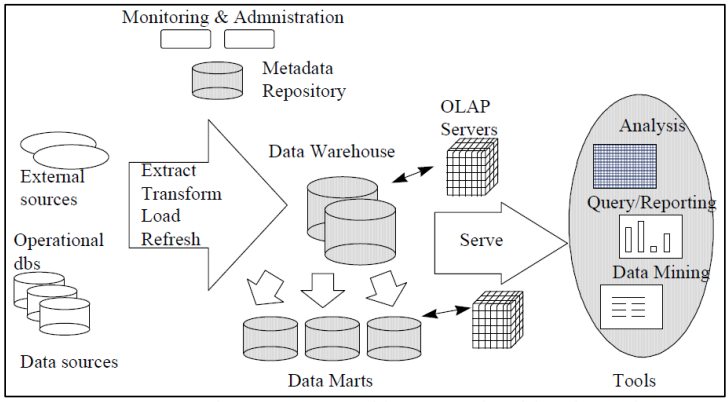


Figure 1. Data warehouse system architecture (Chaudri and Dayal, 1997)

2.3.1. On-line Analytical Processing (OLAP) and On-line Transaction Processing (OLTP)

OLAP is data analysis technology that allows multi-dimensional slicing and aggregation of the business data. The method is very commonly used as a decision support tool in various businesses to make quality decisions in less time. (Chaudri and Dayal, 1997) The method uses data warehouse tables that are generated from original data tables. It structures the data using common elements between data warehouse tables for OLAP cube multi-dimensional analysis. (Chau et al., 2002)

OLTP (On-line Transaction Processing) is database technology to query and transact data to support immediate needs of operations. (Conn, 2005) The differences between traditional operational and warehouse data are given in Table 1. Because

operational data is updated very frequently according to current activity, it is feasible to make modifications. On the other hand, data warehouses store the data from a period of time and summarize the data to allow the user to make analyses with the help of OLAP.

Table 1. Comparison of Operational (OLTP) and Warehouse (OLAP) Data (Egen Cons, 2002)

Characteristic	**OLTP**	**OLAP**
Transaction volume	High	Low to huge
Response time	Very fast	Reasonable
Updating	High volume	Very Low
Time Period	Current Period	Past to Future
Scope	Internal	External
Activities	Focused, clerical operational	Exploratory, analytical, managerial
Queries	Predictable, periodic	Can be unpredictable, ad hoc
Modification	Dynamic	Static

3. CASE STUDY: Environmental Management

Large copper mine in Arizona purchases process control system and installs sensors to track dust emissions on conveyor belts and water sprinklers to suppress dust. The dust sensors are configured to collect data every 2 seconds. The data is collected and historicized by process historian. There are three critical conveyors that need attention in terms of dust emission. However, the challenge is users can only access and see the data through HMI (Human Machine Interface) screens. Data is recorded as a value with a timestamp and sensor name (tag) for each sensor. 43.200 sensor readings are collected per day. Considering the mine is operating 24/7; the amount of data generated per year is over 125 million records for only these sensors. In deed the system has over 150 other sensors that collect data at various frequencies. This amount of data is beyond capability of traditional mining workforce to handle.

An OLAP solution was created to enable analysis, monitor and increase environmental compliance. In order to create an OLAP solution, the data is extracted from historian through ODBC connectors on hourly schedule. Then, extracted data is transformed into fact and dimension tables in concordance with data warehouse structure. Table 2 shows list of created dimensions and their respective row count along with fact table. Finally, the OLAP cube is created and processed (updated) every hour. The star schema of the OLAP cube is given in Figure 2. The cube is linked with other sensors or measures from the operation, hence, further analysis and tracking environmental compliance was made possible.

Table 2. Row count of dimensions and fact table

Table Name	Row Count
Fact Table	326.275.942
Date	2.783
Milliseconds	1.000
Mine	2
Shift	2
Tag	8
Timeframe	22.090
TOD	86.400
TOS	43.200

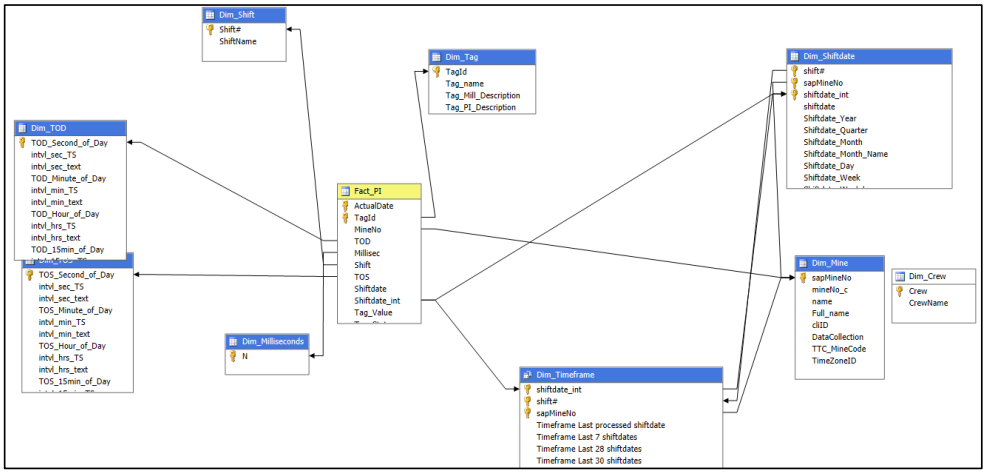


Figure 2. The star schema for OLAP Cube

4. CASE STUDY: Operational Intelligence

It is common knowledge that fuel is one of the major cost drivers of mining operations not only in dollar value but also for environmental impact. Despite the high cost, mine operations with large equipment fleet often have inefficiencies in fuel consumption. One common issue is leaving in-pit equipment left idled for extended periods of time. Large coal operation in North America adapts new feature of Fleet Management System (FMS) to identify immobility duration of a running machine and notify responsible third party personnel when the threshold idle duration (30 minutes) is passed with the details of excessive idling event. This approach enables instant response to the events. However, to reduce fuel consumption change management is needed.

In original work flow the data was being recorded by FMS operator on spreadsheets and excessive events were being recorded on a spreadsheet daily and typically supervisors were notified. Original recorded data only included machine name, start and stop time of the excessive idling event. Using modern database technology the

data was extracted from FMS system tables through SQL queries and integrated with other data such as operator, date, shift, and crew which are being used by all other systems. Idling durations were calculated and assigned to each event consequently to an operator. Mine management adapted this new data from OLAP cube into their crew & operator performance evaluation metrics. Operator scorecards are being used in this operation to evaluate performance of truck drivers on monthly basis. These scorecards adapted count of excessive idle durations by operator into their scorecard which is automated from data warehouse. On the other hand, supervisors were also evaluated by their respective crew performances. Average of idling events by truck operators in same crew is considered crew supervisors' performance. Figure 3 shows example scorecard created from OLAP cube. Count of Idling Alarm is the metric added to track excessive idling hence fuel wastages. Performance of an individual operator is compared with his own crew and the entire mine. When the performance of the operator is better than both (crew and mine) then points for that metric was achieved. This operation is estimated to reduce excessive idling event over 60% in last 3 years.

[redacted] Mine

Truck Operators

Date	6/12/2016 to 7/11/2016
Crew	Crew 1
Operator Name	[redacted]
Equipment Model	Kom 830E

KPI	Operator	Crew	Mine	Points Possible	Points Achieved	Total Score
Avg Truck Delay Time per shift/oper (min)	25.2	27.2	31.9	10	10	
Avg Truck Ready Time per shift/oper (hrs)	7.6	7.3	7.1	10	10	
Avg Spot time (min)	1.4	1.2	1.3	10	0	
Tons moved by Operator per Shift	9,338	7,405	8,357	10	10	
Avg Lunch Time Duration (min)	35.4	32.1	36.4	10	0	
Avg Tons per Mile	47.3	45.6	44.6	10	10	
Count of Machine Health Alarms	86	132	144	10	10	
Total Load Count Last 10 Shift Changes	3	4	3	10	0	
Count of Idling Alarm Caused	2	3	3	10	10	
Avg Speed Last Hour of Shift (mph)	12.05	11.85	11.8	10	10	
			Total	100	70	70%

Figure 3. Scorecard created from OLAP cube including idling alarm metric

5. CONCLUSION

The purpose of this research was to use data warehouse technic to handle large and disconnected data sources. As the amount of data generated and captured by systems, machines and people is increasing rapidly, mines should invest time and effort to use more modern systems. Even though, OLAP is not known for handling real-time data; it is possible to increase update frequency by efficient coding and process optimization. In past years we have proved that operational mining data warehouse can refresh up to every 5 minutes. OLAP is a technology that can easily handle mid-tier (daily data generation<10.000.000) data amounts. Most mines in the world can be categorized low to mid-tier data generating operations. Hence data warehousing and OLAP can be solid answer to data dilemma. Measuring is the first step by collecting data, however, data analysis and sophisticated decision making is the key for next generation mines. Data warehouse and OLAP are two instrumental technologies for business intelligence.

REFERENCES

Chau K. W., Cao Y., Anson M., Zhang J., 2002. Application of data warehouse and Decision Support System in construction management, Automation in Construction, 12(2): 213-224.

Chaudhuri S., Dayal U., 1997. An overview of data warehousing and OLAP technology, ACM SIGMOD Record, 26 (1), 65-74.

Conn S. S, 2005. OLTP and OLAP Data Integration: A Review of Feasible Implementation Methods and Architectures for Real Time Data Analysis, Proceedings. IEEE Southeast Conference, 515-520.

Coyle, R., and Holmes, S., 2007. Smart Mining Systems. APCOM, 2007. Web. Acces.16 August. 2011.

Dessureault, S. D., 2007. Data mining, mining data: energy consumption modeling, CIM Bull., 2 (6), 1-7.

Dessureault, S. D., and Sinuhaji A., Coleman, P., 2007. Data mining mine safety data, Mining Engineering: August 2007. pp. 64-70

Egen Consulting, 2002. Data Warehouse Concepts- Key Differences between operational database and warehouse. Web. Accessed: 12 September 2011

Inmonna, W. H., 2008. Datawarehouse4u, Data warehouse. Web. Accessed: 5 May 2017

Lee, C., and Famoye, F., 2011. Data types and possible analysis techniques. Web. Acces.: 21 July 2011.

ATMOSFERİK DİSPERSİYON VE TOZ MODELLEMESİ

ATMOSPHERIC DISPERSION AND DUST MODELING

Özgür GENÇ[1*], Orhan CERİT[2]

1: Çevre Yüksek Mühendisi, Sivas TÜRKİYE

2: Cumhuriyet Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü Sivas TÜRKİYE

*:Sorumlu Yazar: ozgur_genc@hotmail.com

ÖZET: Bu çalışmada gazların ve partikül maddelerin, atmosferik koşullar da dikkate alınarak atmosferde dağılım yönü ve mesafeye bağlı olarak konsantrasyon değerlerinin, çeşitli sayısal yöntemler kullanılarak bulunması amaçlanmıştır. Çalışmada açık alanlarda, kazı, yükleme, boşaltma stoklama ve nakliye gibi çeşitli faaliyetlerin beraber yapıldığı madencilik ve saha çalışmalarından kaynaklanan emisyonların dağılımı hesaplanmıştır. Söz konusu yazılımda Mülga Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından yayımlanan ve halen Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yürütülen Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde (SKHKKY) yer alan emisyon faktörleri kullanılabildiği gibi EPA, Kanada Çevre Ajansı gibi kabul görmüş emisyon faktörleri de kullanılmıştır. Hesaplama sonucunda hakim rüzgar yönünde veya emisyon dağılım alanının belirli bir noktası için emisyon miktarı hesaplanabildiği gibi yine hakim rüzgar yönünde belirli aralıklarla çizgisel ve alansal emisyon dağılımı değer tahminleri yapılabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Modelleme, Emisyon, İmisyon, Toz

ABSTRACT: *In this study we aimed to determine the gas and particulate matters' concentration values using various numerical methods, in relation with their dispersion direction and distance within the atmosphere and by taking under consideration the atmospheric conditions. In the study, the distribution of the emissions from the mining and field works in which the various activities such as excavation, loading, unloading, stocking and transportation were carried out was calculated in the open areas. In this software, the emission factors included in the Industrial Air Pollution Control Regulation of the Ministry of Environment and Urbanization as well as the accepted emission factors such as EPA and the Canadian Environment Agency, are used. As a result of the calculation, the emission can be calculated for the dominant wind direction*

or for a certain point of the emission distribution area, and also the linear and spatial emission distribution value estimations can be made at certain intervals in the dominant wind direction.

***Keywords**: Modeling, Emission, Dissolution, Dust*

1. GİRİŞ

Hava kalitesi ve hava kirliliği olgusu çok sayıda işlem ve sürecin bir arada etkili olduğu kapsamlı ve bir o kadar da kompleks bir sistemdir. Hava kalitesinde, ısınmadan kaynaklanan emisyonlar, endüstriden kaynaklanan emisyonlar, ulaşım ve taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar gibi insani kaynaklar (antropojenik) etkili olabileceği gibi bitki emisyonları (biyojenik), orman yangınlarından kaynaklanan emisyonlar, volkanik faaliyetler gibi doğal kaynaklardan kaynaklanan emisyonlar da etkili olabilmektedir. Söz konusu emisyonlar atmosfere doğrudan kirletici etki yapabileceği gibi başta kirletici olmayan ama kimyasal reaksiyonlar nedeni ile hava kalitesini ikincil olarak etkileyen maddeler de içerebilir.

Atmosfere salınan ve hava kalitesini etkileyen maddeler çeşitli reaksiyonlarla (kimyasal/fotokimyasal) dönüşüme uğrayabilir ve rüzgar vektörü, bağıl nem, sıcaklık, sıcaklığın yükseklikle değişimi, basınç, yağış gibi meteorolojik faktörler yatayda ve düşeyde taşınım (adveksiyon/konveksiyon), dispersiyon ve birikimi etkileyebilir. Emisyon gerçekleştikten sonra kirleticilerin çevredeki konsantrasyonlarını belirleyebilmek için hava kalitesi modelleri kullanılır. Bu atmosferik modeller, emisyon, meteoroloji ve topoğrafya gibi verileri girdi verisi olarak kullanırlar. Sonrasında matematiksel formüller ve sayısal teknikleri işleterek atmosferdeki taşınım, dispersiyon gibi fiziksel süreçleri çalıştırabildiği gibi kimyasal tepkimeleri işleyen kimya algoritmaları ile birlikte kullanıldığında kirletici tür dönüşümlerini de gerçeğine uygun bir şekilde üretebilir (Tayanç, 2013).

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, gazların ve partikül maddelerin, atmosferik koşullar da dikkate alınarak atmosfer içerisinde dağılım yönü ve mesafeye bağlı olarak konsantrasyon değerlerinin, çeşitli sayısal yöntemler kullanılarak bulunması amaçlanmaktadır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışma kapsamında gazların ve 10 mikronun altındaki partikül maddelerin meteorolojik etkiler de dikkate alınarak atmosferdeki davranışı ve hareketi modellenecektir. Boyutu 10 mikronun üzerinde olan partikül maddeler için de çöken toz konsantrasyonu hesaplama yöntemleri de bu çalışma kapsamında model uygulamasına dahil edilmiştir. Ayrıca kaçak toz emisyonu azaltma yöntemleri ve bu yöntemlerin verimliliği ve modelleme sonuçlarına etkisi de bu çalışma içerisinde ayrıca değerlendirilmiştir.

1.3 Önceki Çalışmalar

Planlama aşamasındaki bir işletmenin veya tesisin, kurulması düşünülen bölgedeki hava kalitesini nasıl etkileyebileceğini, atmosfere verilebilecek gaz ve tozların atmosferik koşullara bağlı olarak, nasıl dağıldığını belirlemek için kullanılacak tek yöntem modellemedir (Duran v.d. 2016; Değerli ve Ünver, 2002). Modelleme, doğal koşulların laboratuvarda benzetilmesi temeline dayanılarak hazırlanan fiziksel modeller ve teorik hesaplamalara dayanan matematiksel modeller olmak üzere iki farklı şekilde yapılabilmektedir. Ancak uygulama kolaylığı nedeniyle yaygın olarak matematiksel modelleme tekniği kullanılmaktadır. Matematiksel modeller arasında doğrudan ölçüm yoluyla bulunan değerler ile uyumlu sonuç vermesi açısından en çok kullanılanı Gauss modelidir (Demirci, 1998; Güllü, 2001; Cora and Hung, 2003).

Tozun dağılım hesaplamalarında kullanılan bilgisayar modelleri, aslında matematiksel modellerin bilgisayar yazılımlarına uyarlanmasıdır. Bilgisayar modelleri arasında ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından geliştirilmiş olan endüstriyel kaynak dağıtım modelleri (industrial source complex dispersion models – ISC models), bölgesel dağılım modelleri (all terrain dispersion models – ATDM), rüzgâr dalga modelleri (breeze wake models), rüzgâra göre hava grafik modelleri (breeze air graphics models) yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak atmosferik taşınım olaylarının son derece karmaşık bir süreç olması, çok sayıdaki katsayının belirlenmesi zorlukları, model kurma ve verilerin toplanarak düzenlenmesinde ortaya çıkan sorunlar nedeniyle bilgisayar yazılımlarının kullanımında bir takım sorunlar çıkmaktadır. Bu nedenle, evrensel bir modelin elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Buna karşın, temel model yaklaşımlarının uygulama yapılacak kaynak ve bölgenin özeliklerine bağlı olarak çeşitli

kabul ve sadeleştirmelerle ele alınması daha yaygın kullanılan bir yöntemdir (Kalafatoğlu vd, 1995; Demirci, 1998; Turanoğlu, 2000).

Yapılan literatür araştırmasında ülkemizde toz modelleme yazılımı ile ilgili yapılan tek çalışmanın Prof. Dr. Bahtiyar ÜNVER ve Çevre Yüksek Mühendisi Ersan DEĞERLİ tarafından yapıldığı anlaşılmaktadır (Değerli ve Ünver 2002). Bunun dışında İnternet ortamında Gauss denkleminin alt yapı olarak kullanıldığı ve hesap tabloları ile oluşturulmuş çeşitli programlar bulunmaktadır. Ancak bu programlar bilimsel yayınlarda yayınlanmış çalışmalar değildir. Hava kalitesi modellemesine yönelik olarak yapılan çalışmalar daha çok mevcut EPA ve Kanada Çevre Ajansı gibi dünya çapında kabul görmüş kuruluşlar tarafından hazırlanan yazılımlarının anlatımı ile ilgili araştırmalardır.

2. EMİSYON FAKTÖRÜ HESAPLAMALARI VE KABULLER

Modelleme, yapılması uzun çalışmalar gerektiren ve istatistiki verilerin toparlanması sonucu geliştirilmiş matematiksel yöntemlerdir. Emisyonların atmosferde saçılımı ve çevredeki çeşitli noktalarda ulaşabileceği konsantrasyon seviyelerinin öngörülebilmesi açısından modelleme çalışması yapılması, yürürlükte olan yönetmeliklere göre de gereklilik göstermektedir.

Toz modellemesinde incelenecek toz kaynakları çok çeşitli ve çok farklı yapılarda olabilmektedir. Bacadan doğrudan atmosfere emisyon verilebildiği gibi arazide yürütülen kazı, patlatma, nakliye, stoklama, yükleme ve boşaltma gibi pek çok faaliyet sonucu belli alansal, çizgisel veya hacimsel kaynaklardan da atmosfere emisyon verilebilmektedir. Bu çalışmada madencilik ve kazı faaliyetleri sonucu oluşabilecek emisyon için Gauss olasılık eşitliklerini temel alan bir model yazılımı oluşturulmuştur.

2.1 Madencilik ve Kazı Çalışmalarında Oluşan Toz Emisyonu Modellemesi

Madencilik genel olarak yerkabuğundaki minerallerin çeşitli amaçlarda kullanılmak üzere hammaddeye dönüştürülmesi şeklinde tanımlanabilir. Söz konusu minerallerin hammadde olarak kullanılması için çeşitli yöntemlerle çıkarılması işlemi sırasında bir takım sorunlarla karşılaşılabilmektedir. Bu çevresel sorunların en önemlisi de toz oluşumudur.

Kazı çalışmaları da yine madencilik çalışmaları ile benzer özellikler göstermektedir. Kazı çalışmalarında oluşacak toz ile madencilik faaliyetlerinde oluşacak toz gerek oluşma şekilleri gerekse yayılım şekilleri açısından benzerlikler göstermekte, ancak kazı çalışmalarının yerleşim yerlerine çok daha yakın olabilmesi, madencilik faaliyetlerinin ise daha çok kırsalda meydana gelmesi kazı çalışmalarının önemini arttırmaktadır. Kazı çalışmaları ve madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan toz emisyonunun hesaplanması ve toz kontrolü için alınması gereken tedbirler ile emisyon sınır değerleri ülkemizde Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından yayımlanan Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde(Resmi Gazete, 2009) belirtilmiştir.

Bu çalışmada gerek ülkemiz mevzuatı açısından gerekse EPA tarafından yayımlanan toz emisyonlarının hesaplanmasında kullanılan kabuller ve hesaplama yöntemleri aşağıda çizelge halinde sunulmuştur. Çizelge 1, 2, 3 ve 4'te EPA, Kanada Çevre Ajansı, Avustralya Çevre Ajansı tarafından kullanılan ve kullanılması önerilen emisyon faktörü hesaplama formülleri ile söz konusu formüllere ilişkin veriler verilmiş olup Çizelge 5'te ise ülkemiz mevzuatı kapsamında kontrollü ve kontrolsüz durumlarda kullanılan emisyon faktörleri yer almaktadır.

Çizelge 1. Emisyon faktörü hesaplama formülleri (EPA)

	PST	PM10	Açıklama
Üst toprak kaldırılması ve dekapaj çalışmalarında oluşan emisyon	EF=(($k \times s^{1,3} \times W^{2,4}$)/1.000.000) + 0.029* [1]		k: Partikül aerodinamik çapı (TAKM:9,6, PM10:1,32) s : Malzemenin silt içeriği (%) W: Araç ağırlığı (ton) EF: kg/km araç
Yükleme Sırasında Oluşan Toz Miktarı	EF = 0,58/$M^{1,2}$	EF = 0,75 x (0,596/$M^{0,9}$) [2]	U: Rüzgar hızı (m/sn) M: malzemenin nem içeri (%)
Boşaltma Sırasında Oluşan Toz Miktarı	EF = 0.0012 x ((U/2.2)^{1,3}/(M/2)^{1,4}) [3]	EF = 0.00056 x ((U/2.2)^{1,3}/(M/2)^{1,4}) [4]	
Nakliye yollarından kaynaklanan toz emisyonu	EF= 0,2819 × k × ((s/ 12)^a) × ((W/ 3)^b) [5]		k, a, b : partikül boyutuna göre belirlenen katsayılar (birimsiz)** s:Yüzey malzemesi silt içeriği (%) W : Ortalama Kamyon Ağırlığı (ton)
Stoklardan rüzgar erozyonu ile oluşan toz emisyonu	EF= 1,12 × (10^{-4}) × J x 1,7 x (s/1,5)x(365x (365 – P)/ 235) x (I/15) [6]		J : Partikül aerodinamik çap faktörü (JTPM=1, JPM10=0,5, JPM2,5=0,2) s : Stoklanan malzemenin silt içeriği (%) I : Yıl içinde rüzgar hızının 19,3km/sa (5,36m/sn)'ten büyük olduğu zaman (%) EF: Emisyon Faktörü (kg/m2 yıl)

Çizelge 2. Yollar için Emisyon Tahmin Katsayıları (Huertas v.d., 2012)

Katsayı	PM2,5	PM10	PM30
k	0,15	1,5	4,9
a	0,9	0,9	0,7
b	0,45	0,45	0,45

Çizelge 3. Metalik Cevherlerin Kırma Eleme Sistemleri için Em. Faktörleri (EPA 2004)

	Yüksek nem içerikli cevher			Düşük nem içerikli cevher		
	TAKM	PM10	PM10/TAKM	TAKM	PM10	PM10/TAKM
Birincil Kırıcı	0,01	0,004	0,4	0,2	0,02	0,1
İkincil Kırıcı	0,03	0,012	0,4	0,6	ND	0,06
Üçüncül Kırıcı	0,03	0,01	0,33	1,4	0,08	0,9
Islak Öğütme	Önemsiz	Önemsiz		Önemsiz	Önemsiz	
Kuru Öğütme (hava akımı yoluyla ayırım yapılması koşuluyla)	14,4	13	0,9	14,4	13	0,9
Kuru Öğütme (hava akımı yoluyla ayırım yapılmadan)	1,2	0,16	0,13	1,2	0,16	0,6
Kurutma (titanyum ve zirkonyum kumu hariç tüm mineraller)	9,8	5,9	0,6	9,8	5,9	0,5
Döner kepçeli ekskavatör dahil transfer, konveyör ile aktarma	0,005	0,002	0,4	0,06	0,03	0,75
Eleme	-	-	-	0,08	0,06	-
Boksit/Alumina	-	-	-	0,6	ND	

*ND: Veri bulunmamaktadır.

Çizelge 4. Taş Ocaklarına Ait Kırma Eleme Sistemleri için Emi. Faktörleri (EPA 2004)

Kaynak	Kontrolsüz (kg/t)			Kontrollü (kg/t)		
	TAKM*	Toplam PM10	Toplam PM2,5	TAKM	Toplam PM10	Toplam PM2,5
Birincil Kırıcı	ND	0,0012	ND	ND	0,00027	ND
İkincil Kırıcı	ND	0,0012	ND	ND	0,00027	ND
Üçüncül Kırıcı	0,0027	0,0012	ND	0,0006	0,00027	0,00005
Eleme	0,0125	0,0043	ND	0,0011	0,00037	0,000025

*TAKM 100µm ve altındaki partikül maddeyi kapsamaktadır.
*ND: Veri bulunmamaktadır.

Çizelge 5. Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine Göre Emi. Faltörleri

Kaynaklar	Kontrolsüz	Kontrollü	Birim
Patlatma	0,080	-	kg/ton
Sökme	0,025	0,0125	
Yükleme	0,010	0,005	
Boşaltma	0,010	0,005	
Birincil Kırıcı	0,243	0,0243	
İkincil Kırıcı	0,585	0,0585	
Üçüncül Kırıcı	0,585	0,0585	
Nakliye (gidiş-dönüş toplam mesafesi)	0,7	0,35	kg/km-araç
Depolama	5,8	2,9	kg toz/ha gün

2.2 Kaçak Toz Emisyonu Azaltma Yöntemleri Ve Yöntem Verimliliği

Kaçak toz kaynaklarının kontrol edilmesi amacıyla uygulanan teknikler maliyet, verimlilik ve uygulanabilirlik yönünden her işletmede ve hatta her emisyon kaynağında farklılık göstermekte olup, genellikle sulama, kimyasal stabilizasyon, rüzgar kırıcılar

kullanılarak yüzeydeki rüzgar hızının düşürülmesi veya kaynağın kapalı olacak şekilde çevrelenmesi şeklinde uygulanmaktadır. Sulama genellikle en çok tercih edilen ve maliyet yönünden de diğerlerine göre en uygun, ancak geçici bir toz kontrol yöntemdir (Beşir, 2015). Çizelge 6'da yerüstü madenciliğinde uygulanabilen başlıca toz kontrol önlemleri ve bu önlemler için öngörülen toz azaltma verimlilikleri sunulmaktadır.

2.3 Modelleme Çalışmalarında Kullanılan Sabitler ve Diğer Veriler

Yukarıda ifade edilen emisyon faktörlerinin yanında modelleme çalışmasının temelini oluşturan matematiksel denklemlerde bir takım verilerin girilmesi gerekmektedir. Aşağıda denklemi oluşturan diğer parametrelere ait bilgilere yer verilmiştir.

2.3.1 Standart sapma

Modelleme çalışmalarında sonucu etkileyen en önemli faktörlerin σ_y ve σ_z standart sapma faktörleridir. σ_y ve σ_z emisyon dağılımının atmosferde düşey ve yatay yönlerinde sapma miktarını göstermektedir. EPA tarafından standart sapma değerleri kırsal bölgeler ve kentsel bölgeler için iki ayrı formül ile önerilmiştir. EPA tarafından Industrial Source Complex (ISC3) Modeli için Pasquill-Gifford eğrilerinden geliştirilen denklemlere göre kırsal bölgeler için standart sapma;

$\sigma_y = 465.11628\ x\ x\ x \tan(TH)$, $\sigma_z = a\ x\ x^b$

formülleri ile hesaplanır. (Heinsohn, 1999) burada

TH= 0.01745 x x x (c-d x lnx), σz=a x xb, x= mesafe

a,b,c ve d katsayıları aşağıdaki Çizelge 7-9'da sunulmuştur.

Ayrıca standart sapma hesabında çeşitli abaklar da modelleme çalışmalarında kullanılabilmektedir. Abaklarda standart sapma değerleri 100 km mesafeye kadar verilmiştir.

2.3.2 Çökelme hızları:

Çökelme hızı partikül maddelerin ve çöken tozların hava ortamında yer çekimi etkisi ile alçalma hızıdır. Bu hesaplama için partikül büyüklüklerine göre çeşitli alçalma hızları Çizelge 10'da sunulmuştur.

Çizelge 6. Kaçak Toz Kontrolü Yöntem ve Verimliliği (Beşir, 2015)

Emisyon Kaynağı	Faaliyet	Kontrol Yöntemi
Bitkisel Toprağın	Sıyrılması	Toprağın nelması %50
Taşıma (Stabilize Yollar)	Sulama (2 litre/m2 saat) / Sulama (>2 litre/m2 saat)	%50 / %75
	Yolun asfalt gibi bir malzeme ile kaplanması	> %90
	Araç hız sınırının 40km/sa olarak uygulanması	% 44
	Toz bastırıcı kimyasalların kullanılması	%84
Stok Alanına Boşaltma	Su spreyleme	%50
	Yığınlayıcı kullanılması	%25
	Stok alanını 3 kenarlı çevreleyecek şekilde kapatılması	% 75
	Rüzgarlı hava koşullarında stok yığınının üzerine branda serilmesi	% 90
	Su spreyleme özellikli teleskopik besleme oluğu	%75
	Rüzgar elekleriyle tamamen veya rüzgar yönünün kapatılması	%75
	Tamamen kapalı alan içine alınması	%99
Stok Alanından Yükleme	Su spreyleme	%50
Rüzgar Erozyonuna açık alanlar, stok alanları	Rüzgar kesici olarak ağaç veya funda dikilmesi	%25
	Çapraz rüzgar sırtları oluşturmak	%24-93
	Rüzgar kesici dikmeler uygulanması	%4-88
	Toz bastırıcı kimyasal ya da çakıl taşı Konması	%84
	Kuvvetli rüzgarların öncesinde su ile Islatmak	%90
	Ön rehabilitasyonun yapılması	%30
	Bitkilendirme yapılması	%40
	İkincil rehabilitasyonun yapılması	%60
	Yeniden bitkilendirme	%90
	Rehabilitasyonun tamamlanması	%100
Stok Alanları	Su spreyleme	%50
	Rüzgar kırıcıların kullanılması	%30
	Bitkilendirme veya tamamen kapalı ortama alınması	%99
	Stok alanı zemin hazırlıklarının yapılması	%30
	Üzerine kaya korumalık veya üst toprak uygulanması	%30
Delme	Su spreyleme / Filtre kullanılması	%70 / %99
Kırma	Malzemenin Islatılması	%50
	Su spreyleme	%50
	Yüzey aktif madde kullanılması	%80
	Su spreyleme + yüzey aktif madde Uygulaması	%75
	Kısmen üstünün kapatılması	%85
	Tamamen üstünün kapatılması / Tesisin bina içinde kurulması	%90
	Toz toplama sistemi / Filtreleme	%95 / %97,5
	Tesisin negatif basınç altında bina içinde kurulması	%100
Eleme	Üsütünün kapatılması	%50
	Üstünün kapatılması ve su spreyleme	%75
	Üstü kapatılması + Su spreyleme + Yüzey aktif madde kullanılması	%90
	Filtreleme sistemi kullanılması ve üstünün kapatılması	%95
	Sökülebilir filtre sistemi ile kapatılması	%97,5
Malzeme transferi ve konveyör bant	Kimyasal içerikli su spreyleme	%90
	Tamamen kapalı alan içine alınması	%70
	Kapalı alan içine alınması ve filtre Kullanılması	%99
Trene Yükleme	Üstünün tamamen kapalı olması	%70
	Üstünün tamamen kapalı olması ve filtre kullanılması	%99

Verimlilik PM10 miktarı için sunulmaktadır.

Çizelge 7. Kırsal Bölge İçin σ_z Hesabı Katsayıları (Turner, 1994)

Kararlılık Sınıfı	X(km)	a	B	Kararlılık Sınıfı	X(km)	a	B
A	<0.10	122.8	0.94470	E	<0.10	24.260	0.83660
	0.10-0.15	158.080	1.05420		0.10-0.30	23.331	0.81956
	0.16-0.20	170.220	1.09320		0.31-1.00	21.628	0.75660
	0.21-0.25	179.520	1.12620		1.01-2.00	21.628	0.63077
	0.26-0.30	217.410	1.26440		2.01-4.00	22.534	0.57154
	0.31-0.40	258.890	1.40940		4.01-10.00	24.703	0.50527
	0.41-0.50	346.750	1.72830		10.01-20.00	26.970	0.46713
	0.51-3.11	453.850	2.11660		20.01-40.00	35.420	0.37615
	>3.11	-	-		>40.00	47.618	0.29592
B	<0.20	90.673	0.93198	F	<0.20	15.209	0.81558
	0.21-0.40	98.483	0.98332		0.21-0.70	14.457	0.78407
	>0.40	109.300	1.09710		0.71-1.00	13.953	0.68465
C	Tamamında	61.141	0.91465		1.01-2.00	13.953	0.63227
D	<0.30	34.459	0.86974		2.01-3.00	14.823	0.54503
	0.31-1.00	32.093	0.81066		3.01-7.00	16.187	0.46490
	1.01-3.00	32.093	0.64403		7.01-15.00	17.836	0.41507
	3.01-10.00	33.504	0.60486		15.01-30.00	22.651	0.32681
	10.01-30.00	36.650	0.56589		30.01-60.00	27.074	0.27436
	>30.00	44.053	0.51179		>60.00	34.219	0.21716

Çizelge 8. Kırsal Bölge İçin σy Hesabı Katsayıları (Turner, 1994)

Kararlılık Sınıfı	c	D
A	24.1670	2.5334
B	18.3330	1.8096
C	12.5000	1.0857
D	8.3330	0.72382
E	6.2500	0.54287
F	4.1667	0.36191

Çizelge 9. Kentsel Alanlar İçin σ_y ve σ_z hesabı (Turner, 1994)

Kararlılık Sınıfı	σ_y	σ_z
A	$0.32X(1+0.0004X)^{-1/2}$	$0.24X(1+0.001X)^{-1/2}$
B	$0.32X(1+0.0004X)^{-1/2}$	$0.24X(1+0.001X)^{-1/2}$
C	$0.22X(1+0.0004X)^{-1/2}$	0.20X
D	$0.16X(1+0.0004X)^{-1/2}$	$0.14X(1+0.003X)^{-1/2}$
E	$0.11X(1+0.0004X)^{-1/2}$	$0.08X(1+0.015X)^{-1/2}$
F	$0.11X(1+0.0004X)^{-1/2}$	$0.08X(1+0.015X)^{-1/2}$

Çizelge 10. Tane Büyüklüğüne Göre Alçalma Hızı (R.G.,1986)

Sınıf	Tane büyüklüğü (μm)	Alçalma hızı, Vdi (m/s)
i = 1	5 den küçük	0.001
i = 2	5-10	0,01
i = 3	10-50	0,05
i = 4	50 den büyük	0,1

Dağınık kaynakların hava kirlenmesine katkı değerleri hesaplanırken bunlar nokta kaynak gibi kabul edilirler. Havada asılı partikül maddeler için hava kalitesine katkı değerleri (i=1) sınıfından (i=4) sınıfına kadar her tepe noktası için hesaplanırlar.

Her birinden bulunan katkılar toplanarak hava kirlenmesine katkı değeri bulunur. Tane büyüklüğü dağılımı belli değilse Vdi = 0,07 m/s alınarak hesaplama yapılır.

Çöken tozlar için hava kirlenmesine katkı (HKD) değerleri hesabında, (i = 1) den (i = 4) e kadar her bir sınıf için formül kullanılır. Böylece bulunmuş asılı partikül maddelerden her bir tepe noktası için ortalama olarak bir günde çöken tozlar formül ile hesaplanır. Tane büyüklüğü belli değilse alçalma hızı olarak 0,7 m/s alınır (R.G. 1986).

Hava Kalitesi Korunması Yönetmeliğinde tane büyüklüğü belli olmaması durumunda çökelme hızı her ne kadar 0.7 m/sn olarak verilmiş olsa da Çizelge 10'da söz konusu alçalma hızı için en yüksek değer olarak 0.1 m/sn alınmıştır. Bu nedenle yönetmelik metninde belirtilen 0.7 m/sn değerinde bir çelişki olduğu kanaatine varılmıştır.

2.3.3 Etkin baca yüksekliği, tozun yerden yükselip dağılmaya başladığı mesafe

Baca tipi bir kaynaktan belli bir sıcaklık ve debi ile çıkan gaz atmosferde karşılaştığı gaz ile sıcaklık farkı ve momentum sayesinde bir süre daha yükselmeye devam eder. Bacadan çıkan gazlar kimyasal yapılarına, sıcaklıklarına, bacadan çıkış hızlarına ve rüzgar hızları gibi bir kısım parametrelere bağlı olarak Δh kadar yükseldikten sonra dağılmaya başlar. Zemin seviyesinden itibaren dumanın yükseldiği H+Δh yüksekliğine etkin baca yüksekliği denir. Etkin baca yüksekliği

- Ampirik bağıntılar yoluyla,
- Abaklar yardımıyla bulunur.
- Teorik olarak basınç farklılıklarından yola çıkılan denklemler yoluyla hesaplanabilir.

2.3.4 Ayırıcı veri (z) değerinin girişi

Bilgisayarlarda model hesaplamalarında, havada asılı tanecik ve çöken toz miktarı hesaplamalarında, z ayırıcı veri olarak kullanılmaktadır. Açık ocaklarda, havada asılı taneciklerin dağılım modellemesinde genellikle z=2 m (insanın soluyabileceği yerden olan en üst yükseklik), çöken tozların hesabında ise z=0 metre olarak veri girişi yapılmaktadır.

2.3.5 Gauss dağılım eşitliği model uygulamasında kabuller

Gauss dağılım eşitliğinin kullanıldığı yöntemlerde bir takım kabullerin yapılması ve bu kabuller doğrultusunda sonuçların değerlendirilmesi modellemenin verimliliği için uygun olacaktır. Bahsi geçen kabullerden önemli olan bir kaçı aşağıda sunulmuştur.

- Reaksiyona girmeyen birincil kirleticiler için kullanılır.
- Model çok ince partikül emisyonları için başarılı olup, iri toz tanecikleri için modifikasyon gerekir.
- Rüzgarın düşeyde değişiminin sabit olduğu kabul edilir.
- 25 km yi aşmayan mesafeler için uygundur.
- Model Pasquill-Gifford kararlılık sınıflandırmasını kullanır.
- Kirletici konsantrasyonunun noktasal kaynakta zamana göre değişmediği kabul edilir.
- Efektif difüzyon katsayılarının (σ_y , σ_z) sabit olduğu kabul edilir.
- X yönünde rüzgar hızının değişmediği kabul edilir.
- Plume türünün değişmediği kabul edilir.

Kirleticiler ya da kirleticilerin bir kısmı bacadan çıktıktan sonra üzerinde yol aldığı zeminin özelliklerine göre zeminden yansıyabileceği gibi kirleticilerin bir kısmı zemin tarafından tutulabilir. Gauss formülü bu iki durum için de ayrı ayrı değerlendirme yapabilmektedir.

<u>*Yansımanın olmadığı durumda kirletici konsantrasyonu;*</u> (Özellikle SO_2 ve NO_x ler İçin)

$$C(x,y,z,H) = \frac{Q}{2\times\pi\times\sigma_y\times\sigma_z\times U_H}\times\exp\left(\frac{-1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2}+\frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2}\right)\right) \qquad (7)$$

Q : Kaynaktan yayılan kirleticiye ait kütle debisi (kg/saat)

z : Yükseklik (m)

H : Efektif baca yüksekliği (m)

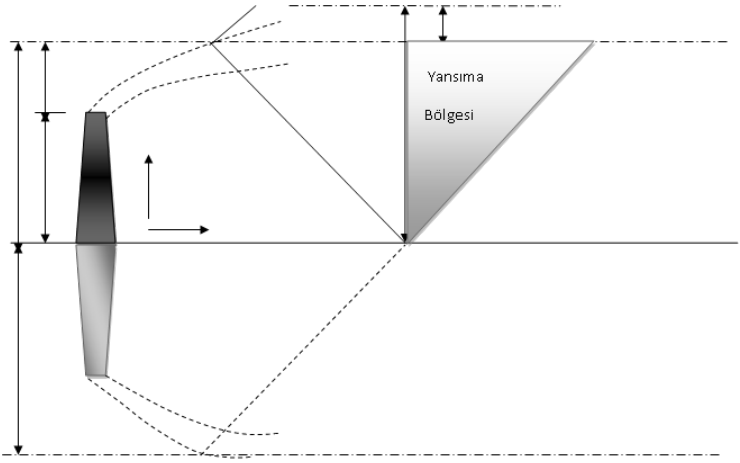
σ_y : Yatay yayılım katsayısı

σ_z : Düşey yayılım katsayısı

U_H: Etkin baca yüksekliğindeki rüzgar hızı (m/s) (Genel olarak 10 m deki rüzgar hızı)

<u>*Yansımanın olduğu durumda kirletici konsantrasyonu;*</u> (Özellikle CO ve VO_x için)

Zemin tarafından kirleticilerin absorblandığı durumda dumanın z-H kadar zeminden yansıması dikkate alınır (Şekil 1).



Şekil 1. Kirleticinin yansıma durumu (Yıldırım, 2012).

$$C(x,y,z,H)=\frac{Q}{2\times\pi\times\sigma_y\times\sigma_z\times U_H}\times\exp\left(\frac{-1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right)\times\left\{\exp\left(\frac{-1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right)+\exp\left(\frac{-1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right)\right\} \quad (8)$$

Fiziksel ve kimyasal olarak aktif olmayan gazlar ve ince aerosoller için oldukça başarılı olan bu yukarıdaki denklemler iri taneli tozlar için bazı düzenlemelere gereksinim duymaktadır. Taneciğin tipik çökelme hızı V_{di} olmak kaydıyla kirleticinin dağılımı;

$$C(x,y,z,H)=\frac{Q}{2\times\pi\times\sigma_y\times\sigma_z\times U_H}\times\exp\left(\frac{-1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right)\times\left\{\exp\left(\frac{-1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right)+\exp\left(\frac{-1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right)\right\}+....$$

$$....+\frac{\sqrt{2}\times V_{di}}{\pi\times U_H}\times\exp\left\{\frac{1}{\sigma_z\times\xi}\int_0^x\exp\left[\frac{-H^2}{2\times\sigma_z^2\times\xi}\right]\times d\times\xi\right\} \quad [9]$$

Burada; ξ yapay integrasyon değişgeni olup $\sigma_z(\xi)$ fonksiyonu entegre edilebilirse yukarıdaki denklem nümerik olarak çözülebilir.

Q (x,y,z):Tepe noktasında, her bir yöndeki yayılma durumu için Hava Kirlenmesine Katkı Değeri (HKD) (mg/m^3 yoğunlaşma biriminde),

£, :x yönünde integrasyon değişkeni,

x,y,z :Tepe noktasında kartezyen koordinatları, (x: yayılma yönünde ve bu yayılma yönüne dik durumlarda y:yatay, z:dikey)

d(x,y) :Çöken toz miktarı (mg/m^2 gün),

z :Tepe noktasının zeminden yüksekliği (m),

Q : Kaynaktan çıkan kirleticilerin kütlesel debisi (kg/h),

CTZ: Yatay ve dikey yayılma katsayıları (m), (Rüzgarın gidiş yönüne (x yönü) ve kaynaktan olan uzaklığına (x değeri) bağımlı olarak bulunabilen y ve z doğrultularındaki kirlilik dağılımlarının standart sapma katsayıları)

Ua: Anemometre ile ölçülen rüzgar hızı (m/sn),

UR: Yer seviyesindeki (Ua) rüzgar hızının havanın kararlılık sınıfına göre belirlenmiş olan temsili rüzgar hızı (m/sn),

Uh: Tozun, zeminden yükseldikten itibaren dağılmaya başladığı mesafedeki rüzgar hızı (m/sn),

h :Tozun zeminden itibaren dağılmaya başladığı yükseklik (m),

Vdi : Havada asılı taneciklerin alçalma hızı (m/sn),

Vda: Çöken tozların alçalma hızı (m/sn)

Yukarıda bahsi geçen kabuller ve parametreler ile formül bilgisayar modelleme yazılımına girilerek sonuçlar elde edilmeye çalışılmaktadır. Kabullerden, değeri faaliyet konusu ve yeri gibi faktörlerde değişmeyenler yazılıma doğrudan girilebilir. Ancak işletmenin türü ve diğer koşullarda değişken olan değerler yazılımda seçenekli olarak kullanıcıya sunulmaktadır.

3. TOZ MODELLEMESİ

Önceki bölümlerde modelleme çalışması için bir takım hesaplama yöntemleri ile emisyon faktörlerinin hesaplanması ve modellemede yapılan kabuller anlatılmıştır. Toz modellemesi çalışmasında bahsi geçen kabuller kullanılarak model oluşturulmuştur. Modelleme ana ekranında (Şekil 2) yer alan "Hesaplama" bölümünde dört adet seçenek bulunmaktadır. Ancak bu makalede sadece Kazı Taşıma Kırma-Eleme Stok Kaynaklı Emisyon için çalışma yapılmıştır.

1.Tek Nokta Kaynaklı Emisyon

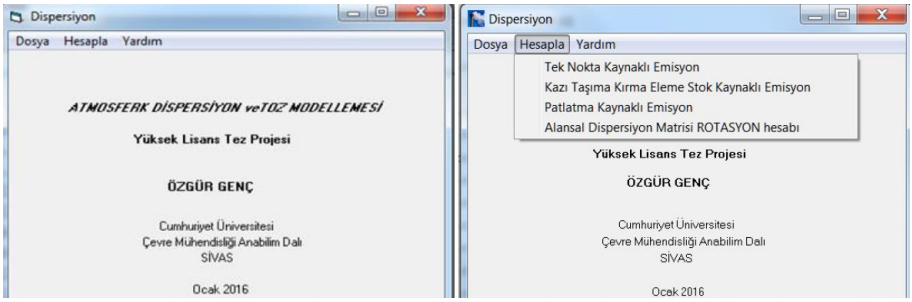
2.Kazı Taşıma Kırma-Eleme Stok Kaynaklı Emisyon

3.Patlatma Kaynaklı Emisyon

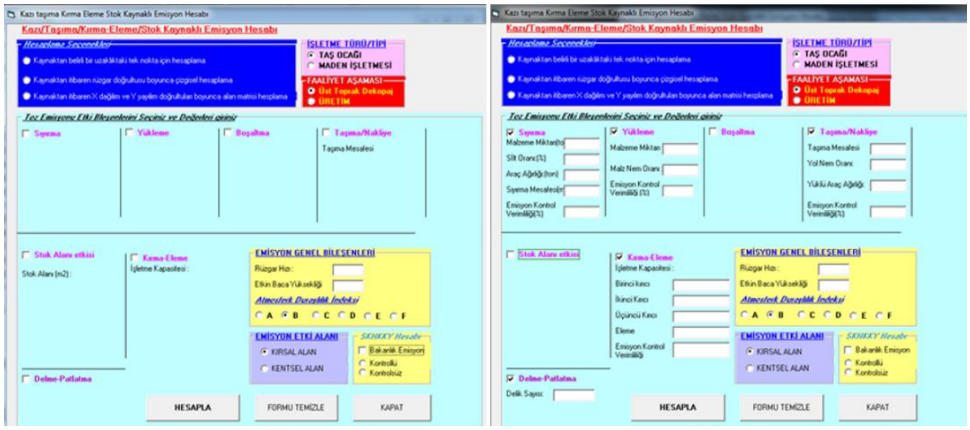
4.Aşansal Dispersiyon Matrisi Rotasyon Hesabı

Kazı Taşıma Kırma-Eleme Stok Kaynaklı Emisyon seçeneğinde tipik bir açık ocak maden işletme sahasından, taş ocağından veya kazı faaliyetinden kaynaklanan tozun

yayılım hesaplamaları yapılabilmektedir. Bu bölümde işletmede aynı anda faal olan üniteler seçilerek hesaplama yapılabilir. Hesaplamak istenilen zaman diliminde faal olmayan üniteler ise seçilmez (Şekil 3).



Şekil 2. Toz Modellemesi Ana Ekran Görüntüsü. a) Ana Ekran. b) Toz Modellemesi Seçenekleri.



Şekil 3. Kazı Taşıma Kırma-Eleme Stok Kaynaklı Emisyon Hesabı Girdi Ekranı. a) Genel bileşenlerin görünümü. b)Bileşenlerin alt girdi seçenekleri.

Ayrıca bu bölümde işletmenin taş ocağı veya taş dışı değerli maden ocağı olup olmadığı, yapılan çalışmanın üst toprak sıyırma işlemi mi yoksa üretim faaliyeti mi olduğu gibi seçenekler de yer almaktadır. Bunun yanı sıra bu ekranda SKHKKY'de belirtilen kontrollü ve kontrolsüz emisyon faktörleri için de hesaplama yapılabilmektedir.

Yukarıda bahsi geçen modellerin oluşturulmasında kullanılan ekranda yer alan "*Hesaplama Seçenekleri*" kısmında 3 adet hesaplama yöntemi bulunmaktadır.

a) Kaynaktan belirli bir uzaklıkta tek nokta için emisyon hesabında emisyon kaynağından belli bir uzaklık için imisyon değeri hesaplaması yapılmaktadır. Bu değerin hesaplanabilmesi için rüzgar yönü X yönü kabul edilip X yönünde uzaklık

(km olarak), Y yönünde sapma (metre olarak) ve Z yer seviyesinden yükseklik (metre olarak) verilerinin girilmesi gerekmektedir. (Şekil 4a)

b) Kaynaktan itibaren rüzgar doğrultusu boyunca çizgisel hesaplama seçeneğinde hesaplanmak istenen doğrultunun başlangıç ve bitiş noktalarının kaynaktan uzaklığı, hesaplama aralığı (kaç metrede bir hesaplama yapılması istenildiği) ve hesaplanması istenilen noktanın yer seviyesinden yüksekliği verileri girilerek hesaplama yapılır. Bu hesaplamada X yönünde doğru boyunca imisyon hesaplaması yapılır. (Şekil 4b)

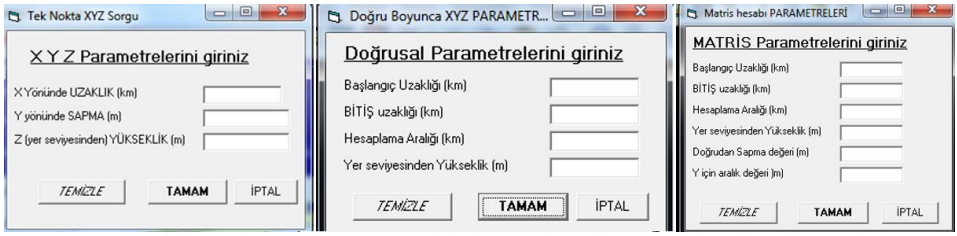
c) Üçüncü seçenekte kaynaktan itibaren X dağılım ve Y yayılım doğrultuları boyunca alan matrisi hesabı"nda ise hesaplamak istenilen doğrultunun başlangıç ve bitiş noktalarının kaynaktan uzaklığı, doğrultu boyunca hesaplama aralığı, hesaplamak istenilen noktanın yer seviyesinden yüksekliği, hesaplanılması istenilen noktanın hesaplama doğrultusundan sapma miktarı ve sapma aralığı verileri girilerek hesaplama yapılır. Bu hesaplama sonucunda alan matrisi oluşturacak şekilde imisyon hesabı yapılır. (Şekil 4c)

Ekranlarda ayrıca hesaplanması istenilen yerin kentsel alan mı yoksa kırsal alan mı olduğu, rüzgar hızı ve etkin baca yüksekliği verilerinin girilmesi ve modelleme yapılan işletmenin taş ocağı mı yoksa değerli maden sahası mı olduğudur da seçenekler arasındadır.

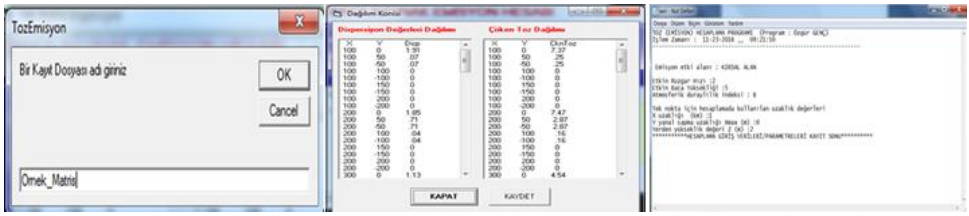
Modelleme yapılabilmesi için istenilen veriler girilerek "Hesaplama" butonu işaretlendiğinde hesaplama sonuçları ayrı bir form üzerinde dispersiyon dağılımı ve çöken toz dağılımı olarak iki sütun halinde gösterilir. Elde edilmiş sonuçlar kayıt altına alınmak isteniyorsa bu form üzerindeki "Kaydet" seçeneği ile kayıt işlemi gerçekleştirilir. "Kaydet" seçeneği seçildiğinde ekrana gelen "bir kayıt dosyası adı giriniz" sorgusuna dosyanın adı girilerek kayıt oluşturulur. Modelleme sonuçları sonuç dosyası olarak kaydedilmektedir. Kayıt işlemi PM10 ve çöken toz için ayrı ayrı yapılmakta, ayrıca modelleme yapılırken girilen tüm veriler ayrı bir dosya ile kaydedilmektedir (Şekil 5).

Tüm hesaplamalar yapılıp sonuçlar metin belgesine yazdırıldıktan sonra istendiği takdirde Şekil 6'da yer alan dispersiyon matrisi rotasyon hesabı ekranı kullanılarak gerçek koordinatlara dönüştürülebilir. Ekranda yer alan rügar yönü, emisyon kaynağına ait enlem ve boylam değerleri (UTM) girilip daha önce mesafeye göre emisyon değerleri hesaplanarak kaydedilen metin belgesi seçildiği takdirde gerçek

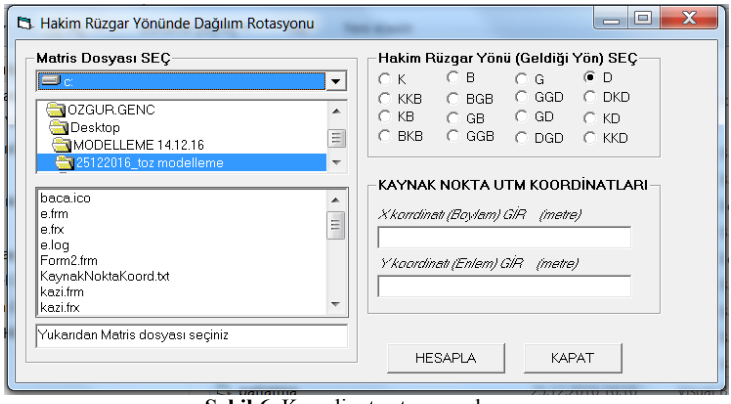
koordinatlarda toz dağılım sonucu elde edilip yeni bir metin belgesi olarak kaydedilebilir. Hesaplama sonucunda emisyon kaynağı merkez kabul edilerek mesafeye göre emisyon değerleri bulunur. Ancak hesaplama sonuçlarının koordinat sistemine dönüştürülerek gerçek noktalarda emisyon değerleri bulunması mümkündür. Bunun için aşağıda yer alan rotasyon hesabı kullanılabilir.



Şekil 4. Toz Modellemesi Hesaplama Seçenekleri. a) Tek Nokta Verileri Giriş Ekranı. b) Doğrusal Emisyon Hesabı Veri Giriş Ekranı. c) Matris Şeklinde Hesaplama Veri Giriş Ekranı.



Şekil 5. Sonuç Ekranları. a)Kayıt Dosyası Adı Girme b)Sonuç Ekranı. c)Girilen Veriler.



Şekil 6. Koordinat rotasyon ekranı.

Ülkemiz mevzuatı açısından değerlendirme yapılabilmesi için toz modellemelerinin yapılması önemli yer tutmaktadır. Bu açıdan bakıldığında örnek uygulamada elde edilen sonuçların değişik yazılımlarla düzenlemesi sonucu uydu görüntüsü, topoğrafik harita veya grafik haline dönüştürülebilir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Özellikle 2. Dünya savaşı sonrası hızlı bir şekilde artan sanayileşme ile çevrenin olumsuz etkilenmesi sonucu insanları yeni tedbirler almaya itmiştir. 1960'lı yıllarda ilk olarak Amerika Birleşik Devletlerinde ortaya atılan ve çevresel sorunların belirlenmesinde yeni bir yöntem olarak sunulan sorunun oluşmadan belirlenerek tedbir alınması ÇED kavramını ortaya çıkarmıştır. İlerleyen yıllarda tüm dünyada kabul gören ÇED kavramının uygulanmasında önemli bir aşama da hava emisyonu üretmesi muhtemel tesislerin belirlenerek kurulma aşamasında alınacak tedbirlerin tartışmaya açılmasıdır.

Atmosfere verilen kirleticilerin Modelleme yöntemi ile tahmin çalışmaları temiz hava planları ve oluşturulacak politikalar için güçlü bir destekleyicidir. Bu yöntem ile mevcut kirletici kaynaklarından oluşan kirleticilerin ne şekilde dağılacağı hesaplanabildiği gibi, kurulması planlanan proje aşamasında olan tesislerin kurulacakları bölgede hava kalitesini ne oranda etkileyeceği de belirlenebilir. Böylece tesisin o bölgede kurulup kurulmayacağına karar verilebilir, kurulmayacaksa alternatif yer seçimleri değerlendirilir ayrıca uygun alternatif baca gazı arıtma tesisleri planlanabilir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aynı program içerisinde bulunan yöntemle arazide gerçek koordinatlara (UTM, 6 Derecelik) dönüştürülebilir. Bulunan sonuçlar çeşitli coğrafi bilgi sistemi yazılımlarıyla topoğrafik haritalara, uydu görüntülerine v.b işlenerek değerlendirmeler yapılabildiği gibi mesafe konsantrasyon eğrilerine işlenerek te sonuçlar tartışmaya açılabilir.

Ancak yapılan modelleme çalışmalarının gerçeğe yakın sonuçlar vermesi çok uzun ve karmaşık bir veri toplama sürecine ihtiyaç duymaktadır. Faaliyetin gerçekleştirilmesi planlanan sahada ve geneli temsil eden atmosferik verilerin doğru toplanması, toplanan verilerin yazılıma doğru girilmesi ve alınan sonuçların doğru yorumlanması önemlidir. Ülkemizde atmosferik veriler genellikle il merkezlerinde bazen de meteoroloji istasyonu bulunan ilçe merkezlerinden elde edilmektedir. Ancak ülkemiz coğrafi büyüklüğü düşünüldüğünde kilometrelerce uzaklıkta yer alan istasyonlardan elde edilen verilerin bölgeyi ne kadar temsil edeceği önemli bir sorundur.

KAYNAKLAR

Cora, MG, Hung, YT, 2003. Air dispersion modelling: a tool for environmental evaluation and improvement, Environmental Quality Management, Spring, 75-86 (DOI: 10,1002/tqem,10075).

Değerli. E., Ünver. B. 2002. Açık Ocaklarda Toz Dağılımının Bir Bilgisayar Yazılımı İle Değerlendirilmesi Madencilik, Cilt 41, Sayı 3, s3-17.

Demirci, E, 1998. Samsun'da hava kirliliğinin matematiksel modellerle incelenmesi ve modellerin karşılaştırılması, (Yüksek Lisans Tezi), *Ondokuz Mayıs Üniversitesi* , 166s Samsun.

Duran Z, Erdem B ve Doğan T, 2016. Açık Ocak Patlatmalarında Toz, Hava Şoku, Gürültü, Titreşim ve Taş Fırlamasının Bir Bilgisayar Yazılımı ile Değerlendirilmesi 14s *Cumhuriyet Üniversitesi*, Sivas.

Güllü, G, 2001. ÇED çalışmalarında hava kalitesi modellemesi, eğitim seminerleri-1, Çevre Mühendisliğinde Bilişim Teknolojileri, *Çevre Mühendisleri Odası*, Ankara.

Heinsohn. H.J., Kabel. R.L. 1999. Sources And Control Of Air Pollition.

Huertas, J., Camacho, D., Huertas, M. 2012. Standardized emissions ınventory ethodology for open pit mining areas, Environmental Science and pollution Research,

Kalafatoğlu, E, Tırıs, M, Örs, N, Gözmen, T, Erencek, E, Şirek, A, 1995. SPU 04 hava modellemesi ve hava kalitesi modellemesi kurs notları*, Çimento ve Toprak Sanayi Genel Müdürlüğü,* Ankara.

Anonim 1986. Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği (19259) *TC Resmi Gazete* 02 Kasım

Anonim 2008. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (26898) *TC Resmi Gazete* 06 Haziran.

Anonim 2009. Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (27277) *TC Resmi Gazete* 3 Temmuz.

Tayanç. M. 2013. *Hava Kirliliği Araştırma Dergisi* 2 Türkiyede Hava Kirliliği Modellemesi s112-122.

Turanoğlu, N, 2000. Hava kirliliği meteorolojisi dersi notları, ISCLT-3 Hava Kirliliği Modellemesi Çalışmaları, *Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Turner D.B. 1994. Workbook Of Atmosferic Dispersion Estimates An introduction to dispersion modeling 2nd ed, Lewis Publishers Boca Raton Fl.

EPA 2008. (United States Environmental Protection Agency), Integrated Review Plan for the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter, 152s, North Carolina,

EPA 2004. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks 1990-2002 *U.S. Enviromental Protection Agency Eashington D.C.*

Beşir. A.Ç. 2015. Yerüstü Madenciliğinde Kullanılan Partikül Madde Emisyon Faktörlerinin Türkiye ve Uluslararası Uygulamalarla Değerlendirilmesi (Yükseklisans Tezi) *Hacettepe Üniversitesi* 186s, Ankara.

DEVELOPMENT OF IMMEDIATE RESPONSE PLAN FOR FUGITIVE DUST IN COAL MINES

KÖMÜR MADENLERİNDE KAÇAK TOZA KARŞI ACİL MÜDAHALE PLANI GELİŞTİRİLMESİ

M. Mustafa KAHRAMAN[1*], Mustafa ERKAYAOGLU[2]

1: Gumushane University, Department of Mining Engineering, Gumushane, TURKEY

2: Middle East Technical University, Department of Mining Engineering, Ankara, TURKEY

*: Corresponding author: kahraman@gumushane.edu.tr

ABSTRACT: EPA defines fugitive dust as particulate matter that is generated from open operations that do not pass through stack, chimney or vent. Fugitive dust level is measured by PM_{10} (particulate matter smaller than 10 microns) or $PM_{2.5}$ (particulate matter smaller than 2.5 microns). Large mine operations with bench blasting and large equipment such as dragline, electric shovel, track dozers and off-road haul trucks can cause considerable amount of fugitive dust during production processes. Frequently the dust level remains steady; however, this process remains quite vulnerable to wind. Ambient air quality is measured by air quality monitors surrounding the coal mines located in Powder River, Wyoming USA. This paper proposes a methodology to develop an immediate response plan for increased fugitive dust levels caused by operations.

Keywords: Fugitive dust, Data integration, Response plan

ÖZET: *EPA (Çevre Koruma Ajansı) kaçak toz emisyonlarını açık operasyonlarda bir baca veya havalandırma deliğinden geçmeden salınan partikül madde olarak tanımlamaktadır. Kaçak toz seviyesi PM_{10} (10 mikrondan küçük partikül madde) veya $PM_{2.5}$ (2,5 mikrondan küçük partikül madde) şeklinde ölçülür. Basamak patlatmaları yapılan ve dragline, elektrikli şovel, paletli dozer ve maden kamyonlarının çalıştığı büyük maden operasyonları üretim sürecinde hatırı sayılır miktarda kaçak toza sebep olmaktadırlar. Çoğunlukla toz seviyesi stabil olsa da; bir çok kez bu seviye rüzgara karşı oldukça hassastır. Powder River, Wyoming A.B.D. bölgesinde ortama ait hava*

kalitesi madenlerin çevrelerine konumlandırılmış toz/partikul ölçüm sistemleri ile ölçülmektedirler. Bu çalışmada operasyonel dinamikler içerisinde yükselen toz emisyon seviyelerine yönelik acil müdahale planı geliştirilmesi için bir yöntem önerilmektedir.
Anahtar Kelimeler: *Kaçak toz, Veri entegrasyonu, Müdahale planı*

1. INTRODUCTION

As the fugitive dust from human activities such as blasting, mining, mineral processing, stocking became more of a concern for health, water, visibility and even aesthetics; large mining regions/operations also started monitoring particulate matter smaller than 10 microns. (PM_{10}) In USA air quality standards between states might vary; however federal EPA standard for mean daily PM_{10} exposure is 150 $\mu g/m^3$. Mining operations have to monitor impact of their activities through approved ambient network. Air quality should be monitored through upwind and downwind stations for their boundaries. Mining operations also have to run meteorological monitoring and report annual monitoring of meteorology and air quality in approved formats including level exceedance by timestamp. For exceedances justification memo is also requested. Therefore, it is significant to monitor and manage air quality in the mining operations. Because the PM_{10} can be induced by various reasons it is critical to have a systematic response to high level emissions.

2. LITERATURE REVIEW

Research about fugitive dust in mining gained importance with the continuously updated environmental standards and the change in the society's perspective on environmental protection. Empirical equations were derived by EPA, as also presented by Annegarn (1993), to represent emissions of vehicles. Patra et al. (2016) reviewed existing empirical approaches related to different mining activities and stated that strategies are required to determine PM exposure levels. Technological improvement in mining industry enabled mines to utilize monitoring systems and prepare management systems for environmental auditing. Papagiannis et al. (2014) studied the external cost of dust emissions related to upstream mining activities. Fugitive dust is an environmental issue that is not only designated to coal mining. Cattle et al. (2012) characterized dust deposits in a gold mine and stated that coarse size dust deposition

was comparably higher at locations close to the mine pit. Mining and mineral processing activities have the potential to generate coarse sized dust whereas finer sizes could be regionally transported. Similarly, Gautam and Patra (2015) estimated the particulate matter concentration at different depths of an open pit copper mine by their developed approach, although it was limited by the lack of data to represent shallow depths. An integrated data warehouse that sources data from different sensors would overcome this issue. Gautam et al. (2015) investigated the particle travel from workplaces at an open pit iron mine and stated that workers are exposed to higher concentrations of PM even when the mine does not operate although the study area was only focused on shallow depths. The operation of the mine consists of different activities that have the potential to generate dust.

Onder and Yigit (2009) evaluated different mining activities at an open cast coal mine and stated that drilling might also be a major contributor to dust emissions. Hence, drill operators get more exposed to dust at coal mines. Pandey et al. (2008) stated that the highest amount of dust deposition was observed near the coal handling plant indicating that fugitive dust should be analyzed from a site specific perspective. Aneja et al. (2012) characterized the PM_{10} related to surface coal mining, mainly related to truck haulage although data related to weather conditions was insufficient. This highlights the crucial role of integrated data in the investigation of environmental impacts in mining. Another advantage of a data warehouse is the data quality that can be sustained and has a crucial impact on data analysis. George et al. (2012) analyzed the air quality at a coal mine and stated that the location of monitoring systems and the technology of the devices used can lead to unreliable results. A data warehouse also enables to implement advanced approaches, such as Neural Networks, for the estimation of dust concentrations. Lal and Tripathy (2012) trained Artificial Neural Networks to predict concentration of dust particles. Another source of particulate matter is the railway system that passes under the silos and is the main transportation method of incoming trains. Akaoka et al. (2017) investigated the impact of coal carrying trains on particulate matter concentrations in residential areas. It was concluded that there was a significant increase in PM_{10} concentration when coal trains passed and further research should be conducted to reveal the impacts of meteorology and train related factors. The impact of meteorology related factors are commonly observed in seasonal variations of

wind, temperature, and humidity as stated by Pandey et al. (2014). Stockpiles and dump sites are other major sources of fugitive dust in mining. Kakosimos et al. (2011) simulated a dump site of a lignite mine and concluded that there is a considerable increase in PM_{10} concentration designated to the overburden dump.

Utilization of data only leads to improvement when it becomes part of daily mine management and a decision making tool for managers. Chaulya (2004) investigated the air quality at an opencast coal mine, suggested to plant certain types of plant species as a green belt and pointed out the requirement of political changes for an environment friendly mining operation. Incorporating air quality studies into the planning phase of a mine project would initiate the cooperation of management and improve the process of creating preventive measures as stated by Ghose and Majee (2000). Huertas et al. (2012a, 2012b, 2014) stated that the characterization and modelling of dust and emissions becomes more difficult in areas where multiple mines are present and regional area is similar to the mine. Kong et al. (2011) suggested establishing chemical profiles of fugitive dust to identify the sources as accurately as possible. Another approach to gain more information from PM_{10} measurements was introduced by Kosztowniak et al. (2016) by investigating organic carbon and elemental carbon compositions. Mine sites have specific characteristics due to the mining method, equipment, seasonal properties, and other factors. Preventive measures for fugitive dust will therefore be site specific.

3. METHODOLOGY

Systematic response to the air quality monitoring is a key for fast and successful reaction. Most mine operations do have standard response plan for air quality violations. Broadly mines delegate air quality monitoring to environmental and production departments. In the event of air quality violation possibility, production department is notified in order to take actions. However, neither these actions do have systematical path, nor standard procedures. Individual operators or supervisors make their decisions based on their personal views and experiences. This section explains a methodology based on data and standardizes the response to such conditions. The approach consists of the following steps:

3.1. Data Foundation

Air quality data is collected through dust monitors. Monitoring can be made manually or in modern days automatically. Automatic systems measure and send the data in real-time through internet (4G or Wi-Fi) to their databases or cloud solutions. However, considering the nature of mining, monitors can be placed in an area that might not have cellular coverage or internet connection. Hence it is crucial for monitoring device to historicize the measurements until data is extracted. As the air quality levels are affected by natural or human factors; it is important to create data foundation for decision making process. This approach starts by collecting and centralizing the data sources, such as blasting schedule, real-time equipment production data and meteorological data. Data warehousing can be one method to centralize the data for integration. Another method could be creating data marts and common date-time elements for integration.

3.2. Define Alarm Conditions and Setting the Thresholds

Dust level standards vary from state to another. According to 2005 WHO (World Health Organization) guidelines Particulate Matter PM_{10} should be annually under 20 $\mu g/m^3$ and daily under 50 $\mu g/m^3$. Mean annual value by EPA National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) is 150 $\mu g/m^3$ whereas for state of California standard is 50 $\mu g/m^3$. Because of the differences in values; it is recommended to set up an alarm for threshold levels determined by mine management to in concordance with legislative standards. The threshold level for alarm should be lower than the maximum allowed limit; but also it should not be so low that will create extra sensitivity. Creating tiers rather than one threshold is also another option. Maximum allowed limit will be top tier response where production can be ceased; lower level tiers will have other actions.

3.3. Identify Sensor Location/Wind and Active Machines in the Zone

Mines with dust issues have typically two or more dust monitors. Considering the area of open pit coal operations, identification of the monitor with exceedance and wind speed/direction will help to identify the area where the dust is generated. Because the mine leases are back to back; in some cases it is possible that mining activity from one mine affecting other mines' sensors. Once the dust generating area is identified, the list of active equipment in that region can be gathered.

3.4. Investigate Initial Possible Causes

In this step it is essential to determine the main contributing reasons that are increasing PM_{10} level. Blasting, open stockpiled material, digging, crushing, conveying, dragline dumping, drilling, storm and off-road trucks can be some of the reasons that generate dust in open pit mines. The dust can be caused by one or combination of many different reasons.

3.5. Focus on Controllable Elements

When the particulate matter is caused by mining activities, the focus should be on the machines and stockpiles. List of active machines in the region is needed in order to start. In large mine operations Fleet Management Systems (FMS) are used to monitor and guide in-pit equipment. Equipment positions, activities, production and speeds are all recorded by these systems. With help of FMS data machines in the dust generating zone can be obtained easily. Particular actions for each machine group should be determined in this step. The last response should be to stop production.

3.6. Sensor Calibration

Devices require routine maintenance after operating certain duration. If the measured PM values to be inconsistent despite all responses and no-other known reasons; there might be an extra need for calibration.

4. CASE STUDY

4.1. Background

The partner mine is located in the Powder River Basin (PRB), USA. The basin has many large open pit coal mines surrounding the mine. Six air quality monitoring stations are on periphery of the mine. Figure 1 illustrates the coal mine and the monitoring stations around it. The coal mine uses dragline, cast-blasting and shovel-trucks for overburden removal. Coal is mined through shovels and conveyed by off road trucks to the crushers. In-situ overburden and coal is loosened through blasting. All in-pit equipment is tracked with FMS and position, production and status data is recorded into databases. Draglines are also tracked high precision dragline navigation system for productivity and precision.

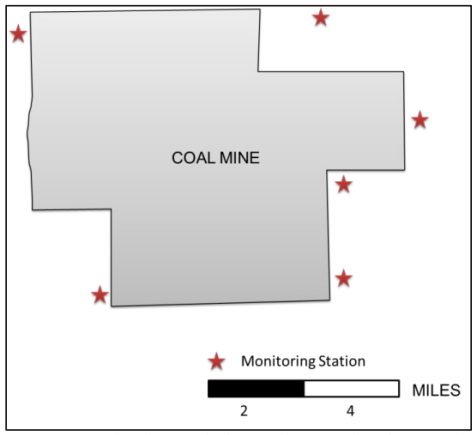


Figure 1. Coal mine and air quality monitoring stations

4.2. Development of Response Plan

All data needed for responding high particulate matter condition (Air Quality Levels, Meteorological data, FMS data, and Dragline High Precision data) were extracted and loaded into a Data Mart using Structured Query Language (SQL). Then the various data sources were integrated through common elements such as location, time, date etc. Integrated data can be updated as frequently as desired, but in this instance every 3 minutes was chosen. The data mart is used in different steps of the response plan to provide factual data from various systems in decision making. Figure 2 illustrates the structure of the data mart and step by step response plan for particulate matter management for the coal mine.

5. CONCLUSIONS

Grades of metals are decreasing, pits are getting deeper and human population is at pinnacle levels. Emerging economies are rapidly increasing their metal-mineral demands. Considering production and commodity price cycle, keeping fugitive dust level under certain limits is a challenge for mine controllers. When air quality levels exceeded maximum allowed levels and justifications are insufficient, enforcement might follow. Accordingly, the decision making process for air quality control should be fortified. Frequently mines employ production personnel for responding high PM levels. This is imperative as these are the people who make the decisions for in-pit equipment that might be primary dust generators. Nonetheless, the background of such personnel might not be capable of developing response plan or simply they might be tied-up on

their primary tasks. This research demonstrates immediate response plan based on data from various sources can be collected and integrated. Then data can utilized for decision making process striving fugitive dust in mining operations.

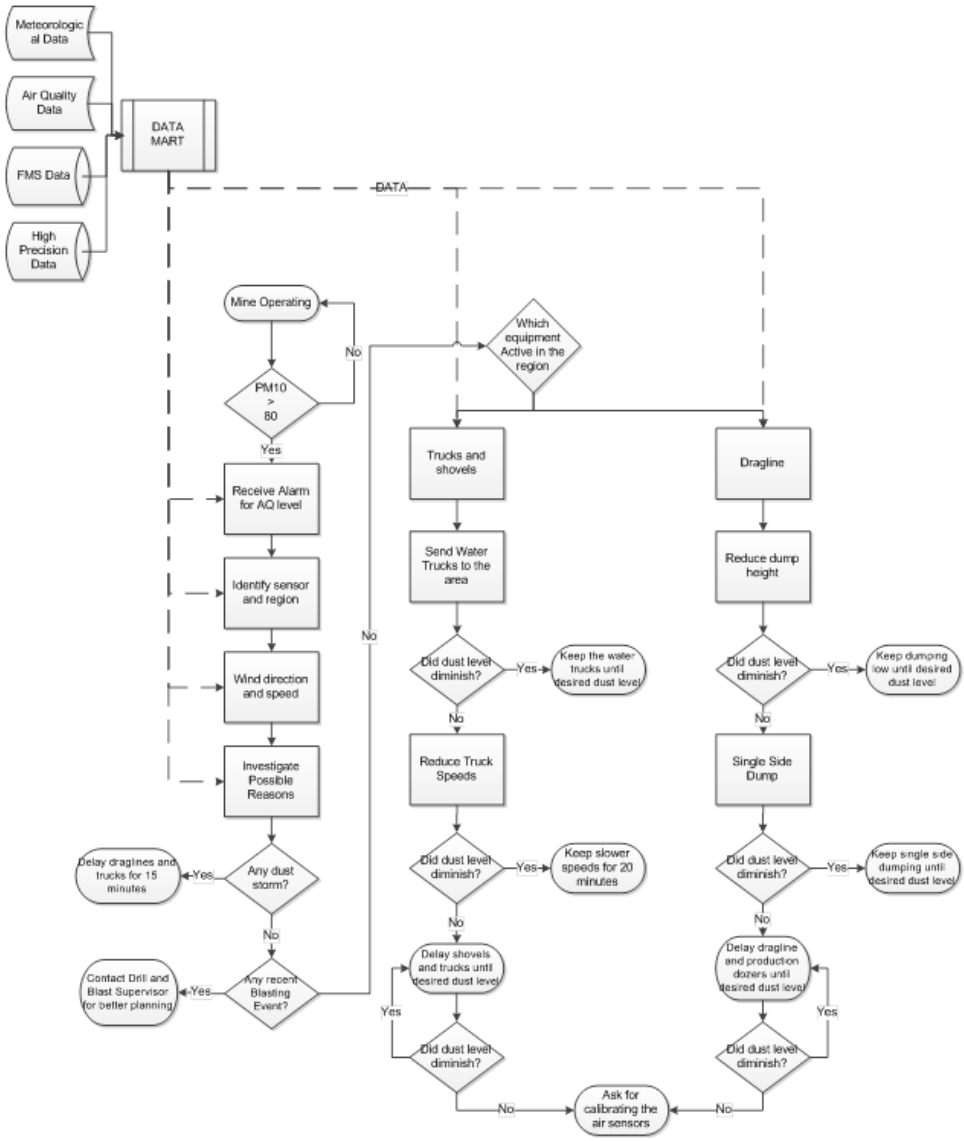


Figure 2. Response plan for the coal mine and data mart structure

REFERENCES

Akaoka, K., McKendry, I., Saxton, J., Cottle, P.W., 2017. Impact of coal-carrying trains on particulate matter concentrations in South Delta, British Columbia, Canada. Environmental Pollution, Volume 223, 376-383.

Aneja, P.V., Isherwood, A., Morgan, P., 2012. Characterization of particulate matter (PM_{10}) related to surface coal mining operations in Appalachia. Atmospheric Environment, Volume 54, 496-501.

Annegarn, H., 1993. Control of dust emission and impacts from surface mines and works. South African Institute of Mining and Metallurgy.

Cattle, S.R., Hemi, K., Pearson, G.L., Sanderson, T., 2012. Distinguishing and characterising point-source mining dust and diffuse-source dust deposits in a semi-arid district of eastern Australia. Aeolian Research, Volume 6, 21-29.

Chaulya, S.K., 2004. Assessment and management of air quality for an opencast coal mining area. Journal of Environmental Management, Volume 70, 1-14.

Gautam, S., Patra, A.K., 2015. Dispersion of particulate matter generated at higher depths in opencast mines, Volume 3, 11-27.

George, K.V., Patil, D.D., Alappat, B.J., 2013. PM_{10} in the ambient air of Chandrapur coal mine and its comparison with other environments. Environmental Monitoring Assessment, Volume 185, 1117-1128.

Ghose, M.K., Majee, S.R., 2000. Sources of air pollution due to coal mining and their impacts in Jharia coalfield. Environment International, Volume 26, 81-85.

Huertas, J.I, Huertas, M.E., Solis, D.A., 2012a. Characterization of airborne particles in an open pit mining region. Science of the Total Environment, Volume 423, 39-46.

Huertas, J.I., Huertas, M.E., Izquierdo, S., Gonzalez, E.D., 2012b. Air quality impact assessment of multiple open pit coal mines in northern Colombia. Journal of Environmental Management, Volume 93, 121-129.

Huertas, J.I., Huertas, M.E., Diaz, J., 2014. Assessment of the natural sources of particulate matter on the opencast mines air quality. Science of the Total Environment, Volume 493, 1047-1055.

Gautam, S., Prusty, B.K., Patra, A.K., 2015. Dispersion of respirable particles from the workplace in opencast iron ore mines. Environmental Technology & Innovation, Volume 4, 137-149.

Kong, S., Ji, Y., Lu, B., Chen, L., Han, B., Li, Z., Bai, Z., 2011. Characterization of PM_{10} source profiles for fugitive dust in Fushun-a city famous for coal. Atmospheric Environment, Volume 45, 5351-5365.

Kakosimos, K.E., Assael, M.J., Lioumbas, J.S., Spridis, A.S., 2011. Atmospheric dispersion modelling of the fugitive particulate matter from overburden dumps with numerical and integral models. Atmospheric Pollution Research, Volume 2, 24-33.

Kosztowniak, E., Ciezka, M., Zwozdziak, A., Gorka, M., 2016. OC/EC from PM_{10} in the vicinity of Turow lignite open-pit mine (SW Poland): Carbon isotopic approach. Atmospheric Pollution Research. Volume 7, 40-48.

Lal, B., Tripathy, S.S., 2012. Prediction of dust concentration in open cast coal mine using artificial neural network. Atmospheric Pollution Research. Volume 3, 211-218.

Onder, M., Yigit, E., 2009. Assessment of respirable dust exposures in an opencast coal mine. Environmental Monitoring Assessment. Volume 152, 393-401.

Pandey, S.K., Tripathi, B.D., Mishra, V.K., 2008. Dust deposition in a sub-tropical opencast coalmine area, India. Journal of Environmental Management, Volume 86, 132-138.

Pandey, B., Agrawal, M., Singh, S., 2014. Assessment of air pollution around coal mining area: Emphasizing on spatial distributions, seasonal variations and heavy metals, using cluster and principal component analysis. Atmospheric Pollution Research, Volume 5, 79-86.

Papagiannis, A., Roussos, D., Menegaki, M., Damigos, D., 2014. Externalities from lignite mining-related dust emissions. Energy Policy, Volume 74, 414-424.

Patra, A.K., Gautam, S., Kumar, P., 2016. Emissions and human helath impact of particulate matter from surface mining operation – A review. Environmental Technology & Innovation, Volume 5, 233-249.

A USE OF TIME-LAPS 3D GEO-ELECTRICAL INVERSED MODELS FOR MONITORING ACID MINE DRAINAGE WITHIN A COAL WASTE PILE-A CASE STUDY

KÖMÜR ATIK YIĞINLARINDAKI ASİT MADEN DRENAJININ İZLENMESİ AMACI İLE HIZLANDIRILMIŞ 3D JEOELEKTRİKSEL TERS ÇEVRİLMİŞ MODELLERİN KULLANIMI–BİR VAKA ÇALIŞMASI

Behshad Jodeiri SHOKRI[1*], Fojan SHAFAEI[2], Faramarz Doulati ARDEJANI[2]

1: Department of Mining Engineering, Hamedan University of Technology, Hamedan, IRAN

2: School of Mining, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, IRAN

*Corresponding Author: b.jodeiri@hut.ac.ir

ABSTRACT: In this paper, monitoring of acid mine drainage which is resulted from an abandoned coal waste pile in northeastern of Iran was investigated by applying time-laps 3D geoelectrical models. For this purpose, 2D geoelectrical surveys were conducted with dipole-dipole array along four parallel profiles over the pile. The surveys were repeated with time-laps technique after 180 days of the first stage of the surveys. Then, the measured data were assembled into 3D data sets and further modeled by inverting these data. 3D resistivity models reveal that acid mine drainage is being generated which is indicated with lower resistivity values in shallower depth of the pile where pyrite oxidation process is easily done by oxygen diffusion mechanism through the wastes. Besides, the results of time-laps 3D geoelectrical models illustrate that seasonal changes specifically precipitation could affect plume of acid mine drainage. The results also show that the plume could transport to deeper layers.

Keywords: Acid mine drainage, Resistivity, Coal waste pile, Pyrite oxidation

ÖZET: *Bu bildiride, İran'ın kuzeydoğusundaki terk edilmiş kömür atık yığınlarından kaynaklanan asit maden drenajının izlenmesi, hızlandırılmış 3D jeoelektrik modelleri kullanılarak araştırılmıştır. Bu amaçla, atık yığını üzerindeki dört paralel profil*

boyunca dipol-dipol dizilimi ile 2D jeoelektrik ölçümler yapılmıştır. Araştırmanın ilk aşamasından 180 gün sonra hızlandırma tekniği ile ölçümler tekrarlanmıştır. Daha sonra ölçülen veriler 3D veri setlerine dönüştürüldü ve daha sonra bu veriler tersine çevirerek modellendi. 3D direnç modelleri, asit maden drenajının atık boyunca oksijen düfüzyonu mekanizması sayesinde pirit oksidasyonunun kolaylıkla gerçekleştiği yığının daha düşük özdirenç değerlerine sahip sığ derinliklerinde üretildiğini göstermektedir. Dahası, hızlandırılmış 3D jeoelektriksel model mevsimsel yağış değişikliklerinin asit maden drenajının yayılmasını etkileyebildiğini göstermektedir. Sonuçlar drenajın daha derin tabakalara doğru yayılarak taşınabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Asit maden drenajı, Özdirenç, Kömür atık yığını, Pirit oksidasyonu*

1. INTRODUCTION

Acid mine drainage (AMD) is a long term environmental concern which is resulted from mining activities. It is generally generated by oxidation process of sulphide minerals specifically pyrite within coal or metal wastes piles or tailings impoundment (Doulati Ardejani et al. 2011). Geochemical and geophysical methods are the most common tools in predicting and monitoring AMD plumes. In comparison with the geochemical measurements which are time consuming and expensive methods, some surface geophysical surveys (e.g. electrical, Induced polarization (IP), self potential (SP), electromagnetic (EM), very low frequency (VLF-EM), ground penetration radar (GPR) and seismic methods) are non-destructive, in situ and also faster methods.

Among the geophysical methods, geoelectrical techniques are used to be highly promising tools to delineate AMD pathways and its' contaminated plumes (Anterrieu et al. 2010; Buselli and Lu 2001; De Vos et al. 1997; Doulati Ardejani et al. 2008; Ebraheem et al. 1990; Jodeiri Shokri et al., 2014, 2016a and 2016b; Merkel 1972; Poisson et al. 2009; Yuval and Oldenburg 1996). For instance, Buselli and Lu (2001) evaluated the usefulness of the several geophysical methods (SP, DC, IP and TEM) to investigate their application in detecting any seepage from the structures used in tailings site at the Ranger mine site in the Northern Territory, Australia. Rucker et al. (2009) investigated the AMD pathways using electrical resistivity at the Lundusky mine, Montana, USA. Their results showed that the total dissolved solids (TDS) values at the regions with lowest resistivity were 2.5 times greater than those of the uncontaminated

groundwater wells. Poisson et al (2009) performed electrical resistivity imaging (ERI), GPR, and EM conductivity techniques at three different areas of a waste rock pile of a poly-metallic mine in the Abitibi mining region of Quebec, Canada to successfully characterise its internal structure. Gomez et al (2010) utilised a combination of geophysical and geochemical methods to study the AMD generation problem at Haveri Au-Cu mine tailings in Finland. Jodeiri Shokri et al. (2014), applied a combination of geochemical and geoelectrical data to study of pyrite oxidation process within a coal waste pile. For the first time, they suggested a strong relationship with a strong correlation (R^2= 0.88) between the fraction of pyrite remaining and apparent resistivity within the coal wastes in shallower depth of the pile. They also investigated by a comparison between a 3-D geo-electrical model results and a 2D numerical modeling of the long-term oxidation process and multi-component reactive transport of its products within the pile (Jodeiri Shokri et al. 2016 b). In another research, Jodeiri Shokri et al. (2016 a), performed a combined geophysical surveys including VLF-EM and DC resistivity to delineate of likely AMD plumes in downstream of Alborz-Sharghi coal washing area. They found that the plumes were caused by leaching of coal tailing impoundments in the area.

The literature reviews revealed that although different valuable researches have been recently conducted in monitoring AMD plumes in the vicinity of their sources, there is not any investigations of variations of AMD generations during the time. The main objective of this paper is presenting a time laps of 3D geoelectrical inversion on an abandoned coal waste pile in Alborz-Sharghi coal washing plant to investigate and monitor of AMD generation and its' changes in seasonal variations.

1.1. Site Description

The studied waste pile is resulted from jig machine wastes of Alborz-Sharghi coal washing plant. The plant is located in Tazareh coal mine area which is the main coal mine of Alborz-Sharghi coal region, 31 km far from Damghan city, in the Semnan Province, northeast of Iran (Figure 1). The pile was abandoned since 2000. It was approximately 20 m in height and covered an area of about 100m × 150m in 2012. The area is characterised by a mountainous climate, having an average precipitation of 133.7

mm per year (Rainfall Data of Semnan Province 2012). The temperature in the plant site varies from about -10 ºC in winter to about 40 ºC in summer.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Design of Geoelectrical Surveys

Due to budget and field, only the 2D geoelectrical surveys were performed with dipole-dipole array to detect of likely AMD plumes in four parallel profiles on the surface of the pile in June 2012. Moreover, second surveys were repeated 180 days after the first surveys for investigation of seasonal variations on the plumes with time-lapse technique along the profiles. The length of the profiles was 65 m with interline spaces 25 m and 5 m for electrode spacing.

2.2 Inversion of Geoelectrical Surveys

After surveying, 2D lines with data in the RES2DINV format were combined into two data sheet files in the format used by the RES3DINV program. Subsequently, the combined data were inversed applying RES3DINV. The 3D models of inversed resistivity obtained for electrode grids sizes of 14 × 4 with by 217 resistivity data in both data sets. Smoothness constrained inversion method was employed in inverting of the data sets. The mesh sizes for the 3D inversion are based on the grid sizes of the collated data sets (RES3DINV Manual 2009).

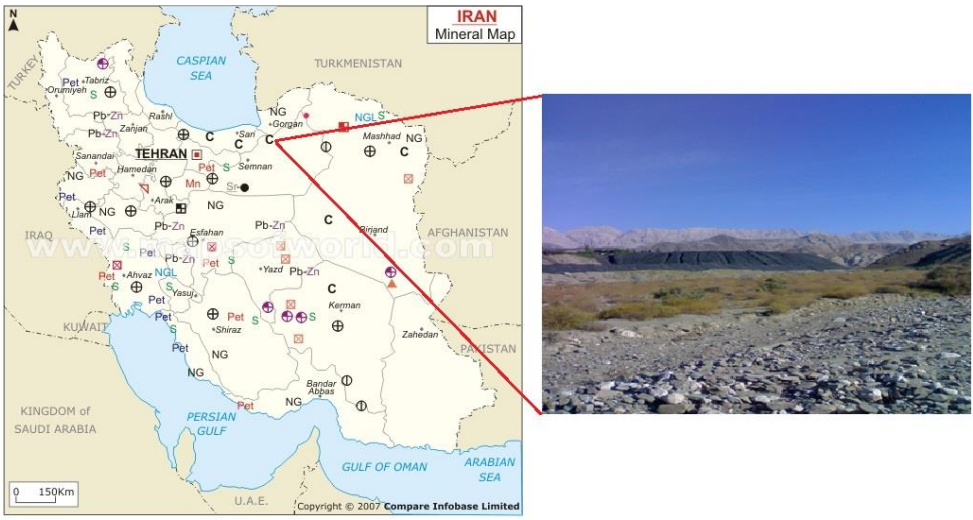


Figure 1. Geographical map and a view of coal waste pile

3. RESULTS AND DISCUSSION

The 3D model obtained from the inversion of the first and the second geoelectrical surveys are shown in Figures 2-3, respectively. As found from the figures, there are six cross sections of resistivity from different depths of the pile. However, it seems that there are two different measured resistivity zones in the models range from 10 ohm.m to 600 ohm.m, demonstrating that the oxidized with low resistivity zone and unoxidised zones with high resistivity zone. Indeed, AMD generation effects on the resistivity values. The lower resistivity values may be interpreted as AMD generation zones within the pile where pyrite oxidation process is being occurred. According to the figure, lower resistivity values (less than 50 ohm.m) were observed in shallower depths of the pile (from surface of the pile to depth of 3.76 m) which could be interpreted as AMD generation zone (the zone of pyrite oxidation process). Indeed, oxygen could be easily diffused through pore spaces of the wastes particles and led to oxidize pyrite. This process causes to form of pyrite oxidation products. It seems that this process could be affected the resistivity values.

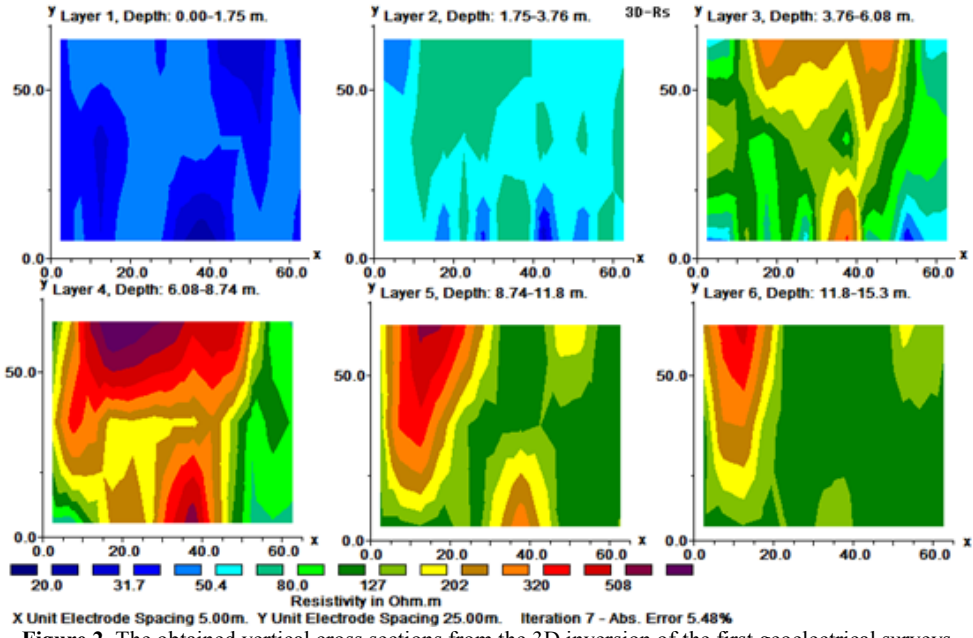


Figure 2. The obtained vertical cross sections from the 3D inversion of the first geoelectrical surveys

With increasing the depth of the pile, the inversed resistivity values rose to higher values which can be referred to as unoxidised zone. This zone is seen in deeper

resistivity slices (from 50 ohm.m to 600 ohm.m) with different depths of the pile (from 3.75 m to 16 m). Although, the mixing of coal wastes associated with different mines, since a high amount of impurities would cause higher resistivity values in some sections of the slices.

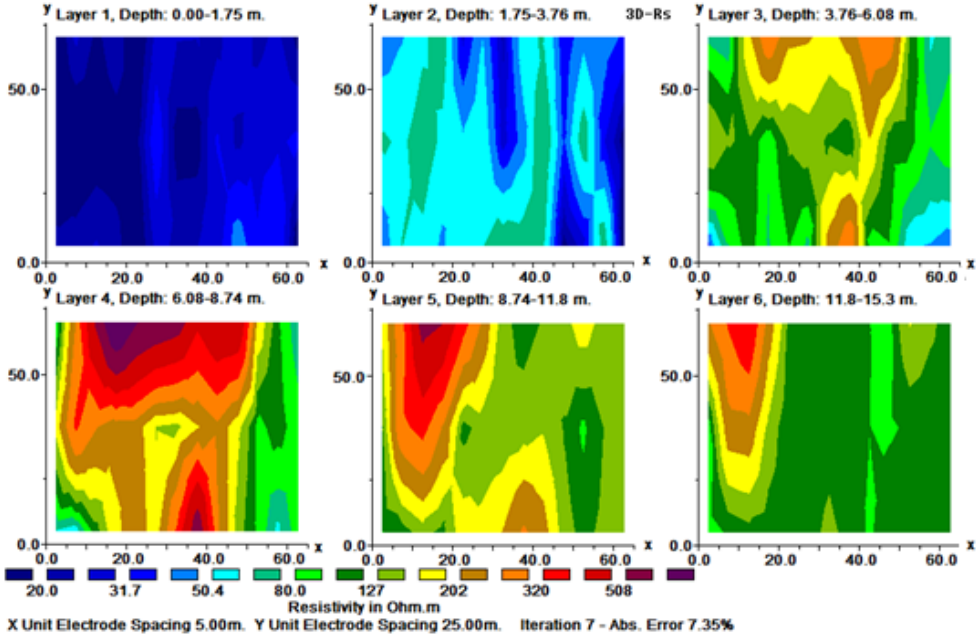


Figure 3. The obtained vertical cross sections from the 3D inversion of the second geoelectrical surveys

For better understanding of the changing of inversed resistivity values in the pile, 3D view of the models obtained from the inversion of the pile were built by converting the first and the second surveys data to Slicer/Dicer program (Figure 4.a-b). As seen from the figure, it seems that the changes of resistivity values were affected by seasonal changes such as precipitation.

As mentioned before, the first surveys were done in June which is one of the lowest amount of rainfall moons in a year while the second surveys were conducted in January with higher amounts of precipitation. It seems that AMD products were transported from shallower depths of the pile to deeper layer. However, the figure also shows that the oxidation process has not taken place in deeper layers of the pile. Besides, the filed observations revealed that the local fractures on the pile surface might be played an important role of ease surface recharge penetration to deeper layers.

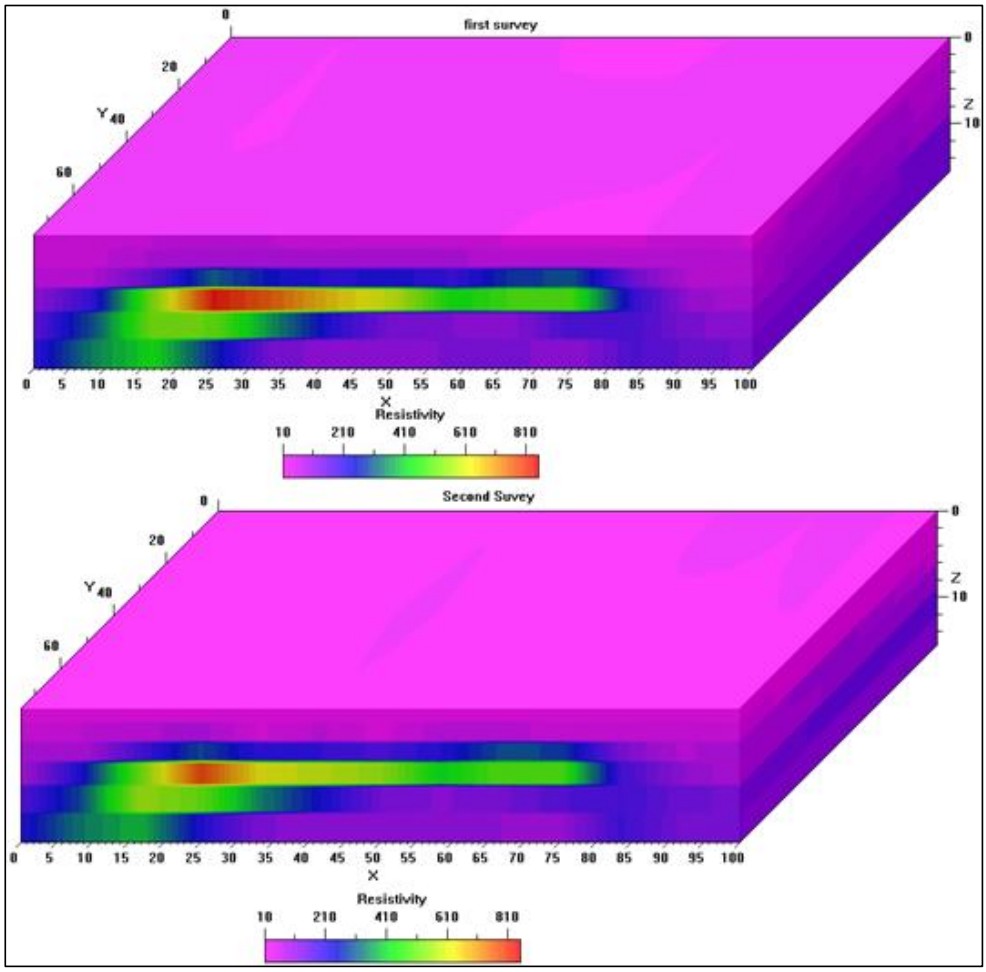


Figure 4. 3D models obtained from the inversion of a) the first and b) the second resistivity data measured over the waste pile

4. CONCLUSIONS

AMD plumes was investigated by applying a time laps of 3D geoelectrical models within the wastes produced by the Alborz Sharghi coal washing plant, in northeastern Iran. Due to field and budget limitations, 2-D geo-electrical surveys were only conducted with dipole-dipole array in four parallel profiles of the pile. The surveys were repeated with time laps technique after 180 days of the first surveys. After collecting the resistivity data, they collated to 3D data set applying RES2DINV software. The data was modeled by an inversion method to build 3D models of the pile. The interpretation of 3D geo-electrical investigations illustrates that the pile consisted of two different resistivity zones. Upper horizontal layers at shallower depths up to 3.76 m, show a low

resistivity which could be recognised as AMD generation zone while deeper layers of the pile describe an un-oxidized zone where the resistivity values have the highest amount. The interpretation of the geo-electrical surveys applying a time-lapse technique also reveal that the likely AMD plume movement through the waste materials by taking into account the changes in resistivity during time. It seems that the local fractures on the pile surface play an important role in oxygen diffusion to the oxidation zones within the wastes and ease surface recharge penetration to deeper layers which facilitate transportation of the pyrite oxidation products through the pile materials and development of low resistivity zones.

REFERENCES

Anterrieu, O., Chouteau, M., Aubertin, M., 2010. Geophysical characterization of the large-scale internal structure of a waste rock pile from a hard rock mine. Bulletin of Engineering Geology Environment, 69: 533-548.

Buselli, G., Lu, K., 2001. Groundwater contamination monitoring with multichannel electrical and electromagnetic methods. Journal of Applied Geophysics, 48: 11–23.

De Vos, K.J., Pehme, P., Greenhouse, J.P., 1997. Ground geophysical surveys for mine wastes. Proceedings, Exploration '97, 4th Decennial International Conference on Mineral Exploration, p. 917-926.

Doulati Ardejani, F., Jodieri Shokri, B., Moradzadeh, A., Soleimani, E., Ansari Jafari, M.A., 2008. Combined mathematical-geophysical model for prediction of pyrite oxidation and pollutant leaching associated with a coal washing waste dump. International Journal of Environmental Science and Technology, 5 (4):517-526.

Doulati Ardejani, F., Jodieri Shokri, B., Moradzadeh, A., Shafaei, S.Z., Kakaei, R., 2011. Geochemical characterisation of pyrite oxidation and environmental problems related to release and transport of metals from a coal washing low grade waste dump, Shahrood, northeast Iran. Environmental Monitoring and Assessments, 181:41-55.

Ebraheem, M.W., Bayless, E.R., Krothe, N.C., 1990. A study of acid mine drainage using earth resistivity measurements. Ground Water 28:361-368.

Go´mez, E., Parviainen, A., Hokkanen, T., Ruskeeniemi, K.L., 2010. Integrated geophysical and geochemical study on AMD generation at the Haveri Au–Cu mine tailings, SW Finland. Environmental Earth Sciences DOI (10.1007/s12665-010-0459-9)

Jodeiri Shokri, B., Ramazi, H.R., Doulati Ardejani, F., Moradzadeh, A., 2014. Integrated time-lapse geoelectrical-geochemical investigation at a reactive coal washing waste pile in Northeastern Iran. Mine Water and the Environment, 33: 256-265.

Jodeiri Shokri, B., Doulati Ardejani, F., Ramazi, H.R, Moradzadeh, A. 2016a. Predicting pyrite oxidation and multi-component reactive transport processes from an abandoned coal waste pile by comparing 2D numerical modeling and 3D geoelectrical inversion. International Journal of Coal Geology, 164: 13-24.

Jodeiri Shokri, B., Doulati Ardejani, F., Moradzadeh, A., 2016b. Mapping the flow pathways and contaminants transportation around a coal washing plant using VLF-EM, Geo-electrical and IP techniques- A case study, NE Iran. Environmental Earth Sciences, 75:62.

Jodeiri Shokri, B., Doulati Ardejani, F., Ramazi, H.R., 2016c. A model of long-term oxidation and leaching processes in pyritic coal cleaning wastes. Environmental Earth Sciences, 75:794.

Merkel, R.H., 1972. The use of resistivity techniques to delineate acid mine drainage in ground water. Ground Water, 10: 38-42.

Poisson, J., Chouteau, M., Aubertin, M., Campos, D., 2009. Geophysical experiments to image the shallow internal structure and the moisture distribution of a mine waste rock pile. Journal Applied Geophysics, 67: 179–192.

Rucker, D.F., Glaser, D.R., Osborne, T., Maehl, W.C., 2009. Electrical resistivity characterization of a reclaimed gold mine to delineate acid rock drainage pathways. Mine Water and the Environment, 28: 146–157.

RES3DINV Manual, Ver. 2.16., 2009. Rapid 3D Resistivity & IP inversion using the least-squares method. Geotomo software.

Yuval, D., Oldenburg, W., 1996. DC resistivity and IP methods in acid mine drainage problems: results from the Copper Cliff mine tailing impoundments. Journal of Applied Geophysics, 34: 187-98.

GÜNEŞ ENERJİLİ TEKNE İLE GÖLLERİN 3 BOYUTLU MODELLENMESİ

3D MODELLING OF LAKES USING SOLAR ENERGY POWERED VESSEL

Cihan DOĞRUÖZ[1*], Abdullah KEÇECİLER[2], Ümit ASLAN[1], M. Serkan AKKİRAZ[3]

1: Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye

2: Dumlupınar Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye

3: Dumlupınar Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye

*:Sorumlu Yazar: cihan.dogruoz@dpu.edu.tr

ÖZET: Son yıllarda dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi kullanımı son derece büyük önem kazanmıştır. Güneş enerjili sistemlerin kullanımı birçok sektörde sınırsız, temiz, yenilenebilir ve çevre dostu olması itibariyle çok geniş bir alana sahip olmaya başlamıştır. Güneş enerjisinden faydalanma konusu madencilik sektöründe yeraltı madenciliği için uygun olmamakla beraber açık ocak madenciliğinde ve denizaltı madenciliğinde kullanımı söz konusu olabilmektedir. Bu çalışmada, 3.5 m uzunluğunda 1.38 m genişliğinde, 260 Watt gücünde güneş panelleri ile 24 v gücünde elektrikli motor ile çalışan bir sistem geliştirilip, göl ve deniz sularının 3 boyutlu modelleri ve dip haritalarının oluşturulması için Dumlupınar Üniversitesi GOLARES laboratuvarlarında SEPV-I (solar energy powered mine exploration vessel) isimli bilimsel bir araştırma teknesi imal edilmiştir. Bu tekne ile göllerin 3 boyutlu modellenmesi ve göl haritalarının belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu çalışmanın esas amacı ise çevreye, ekosisteme ve canlı habitatına zarar vermeden göllerin 3 boyutlu modellenmesidir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjili tekne, Göl modelleme, Denizaltı ve göl madenciliği

ABSTRACT: *In recent years, it has been more significant to utilize solar energy power as one of the energy power systems in the world. Due to being alternative, clean and environmentally reliable, using solar energy power systems become more common in all sectors. Along with not using solar energy systems in underground mining, it can be*

applied in open-pit and deep sea mining. In this study, solar energy powered vessel called SEPV-I, with 3.5 m length, 1.38 m width, 260 Watt powered solar panels, 24 V powered electric motor was produced in order to create lake and deep sea maps. It is aimed to create a 3D model of deep seas and lakes with this vessel. The main purpose of the study is to design 3D models of lakes keeping the ecosystem and saving the habitats with environmentally clean vehicles.

***Keywords**: Solar energy powered vessel, 3D lake modelling, Deepsea and lake mining*

1. GİRİŞ

Göller, hem jeolojik geçmişte, hem günümüzde yeryüzünün önemli depolanma alanları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle göller başta iklim olmak üzere bütün doğal, ekolojik ve jeolojik olayların kayıtlarını tutarlar. Çoğu göl tortulları, endüstriyel hammadde, tuz, kömür ve kil yatakları barındırabilmektedir. Göllerin yeryüzündeki varlığı belirli dönemlerde azalmış, bazı dönemlerde ise artmıştır. Son yıllarda orta ve güney enlemlerdeki göller kurumakta ve süratle yok olmaktadır. Yurdumuzda göllerin ortadan kalkması beklenenden daha hızlıdır. Bu durum göl araştırmalarının önemini açıkça ortaya koymuştur. Limnoloji, palinoloji, ekoloji araştırmaları ve jeofizik uygulamaları da kapsam alanındadır. Dünyada ve ülkemizdeki göllerde fiziksel, kimyasal ve biyolojik durumların araştırılması, sedimantoloji, yapısal jeoloji-tektonik, mineraloji-jeokimya konulu incelemelerin gerçekleştirilmesi, göller hakkında yeni çalışmalara başlangıç olabilecektir. Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisi kullanılarak tekne üretilmiş ve göllerin 3 boyutlu modellenmesi üzerine çalışılmıştır. Bu tekne ile göl ortamlarında maden arama çalışmalarının da yapılabilirliği düşünülerek denizaltı madenciliği hakkında geniş bir literatür çalışmasına yer verilmiştir.

Levin ve arkadaşları derin deniz madenciliği konusunda mineral çeşitliliğinde bazı saptamalarda bulunmuştur (Levin vd., 2016). Deniz altı madenciliğinde gelişen teknoloji ile yöntemler arasında farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Bazı madencilik faaliyetlerinin deniz ortamlarını kirlettiği ve ciddi zararlar verdiği saptanmıştır. Bu zararlar arasında doğrudan atıklar, deniz zemininde habitat tahribatı, alt tabakanın bozulması, sedimantasyon oranlarının değişimi, gürültü ile ilgili toksinler ve kontaminasyonlar, kimyasal sızıntılar ve çatlaklardan sızma gibi etkenler yer almaktadır

(Levin vd., 2016). Baez Almada ve Bernardino 2016 yılında yaptığı çalışmada; Atlantik okyanusunun güneybatısında yer alan ve brezilyanın temel petrol havzası olan Campos Havzasında, biyoçeşitliliğin ve ekosistemin tehdit altında olduğu görülmektedir. 42 farklı alanda soğuk sularda yetişen mercan resifleri, denizaltı vadileri ve yumuşak sedimanter konuları üzerinde yapılan bu çalışmalarda bölgenin muhafaza edilmesi ve biyocoğrafik açıdan korunması gerekliliği ortaya çıkmıştır (Almada ve Bernardino, 2016).

2. GÖL VE DENİZALTI MADENCİLİĞİ

Madencilik genel olarak açık işletme ve yer altı madenciliği olarak iki gruba ayrılmaktadır. Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle ve maden ihtiyacının artmasıyla denizaltı madenciliği de bu gruba dahil olmuştur. Dünyada denizaltı madenciliği (okyanus, deniz ve göl) ile üretim yapan çok fazla üretici bulunmamakla beraber yeni bir teknoloji ve maliyet açısından yüksek olması sebebiyle yaygın olarak kullanılamamaktadır. Deniz ve göl suları bünyelerinde birçok çözünmüş mineral bulundurmaktadır. Göl sularının tatlı olması sebebiyle diğerlerine kıyasla mineral içeriği farklılık gösterebilmektedir.

Derin denizlerde bulunan mineral yataklarından polimetalik nodüller, zengin kobalt içerikli tortullar ve polimetalik sülfatlar, nikel, bakır, demir ve mangan gibi metalik cevherlere alternatif olabilmektedir. Gelecekte uygun teknolojilerin geliştirilmesiyle bu yatakların arama yöntemleri, metalik madenlerin aranması yöntemlerine eşdeğer olması öngörülmektedir. Genellikle büyük maden yatakları uluslararası denizlerde bulunduğundan ve belli başlı yasalar çerçevesinde üretilebilmesi gerektiğinden bu konuların çok iyi araştırılması gerekmektedir. Gerekli önlemler alındığı taktirde denizaltı madenciliği arama faaliyetleri, ekosisteme ve deniz ortamına en az zararı vereceği öngörülmektedir (Sharma, 2015).

Polimetalik sülfatların metal içerikleri çeşitli olup başlıcaları; çinko, bakır ve demirdir. Bu metallerin oranları cevherin oluşum sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Yatakların bir kısmı çinko, diğer bir kısmı ise bakır yönünden zengin olabilmektedir. Örneğin, Galapagos açılma zonundaki yataktan alınan 7 örneğin ortalama değerleri 4.1 gr/cm3 özgül ağırlığa sahip oldukları ve %40 kükürt, %38 demir, %6.5 bakır, %7 silikat, %1 çinko, %0.5 manganez, %0.3 alüminyum, 365 ppm

selenyum, 256 ppm kobalt, 270 ppm mağnezyum, 181 ppm molibden, 215 ppm kurşun, 45 ppm arsenik ve baryum, 40 ppm'den az olmak üzere kadmiyum, krom, fosfor, civa, nikel, kalay, vanadyum, uranyum ve tungsten ile 0.2 ppm'den az altın, 21 ppm gümüş içerdikleri görülmektedir (Malahof, 1982).

Denizaltı madenciliğinde maden arama faaliyetleri, özellikle ticari boyuttaki madencilik çalışmaları, son zamanlarda büyük bir ivme kazanmıştır. Birleşmiş milletler tarafından kurulan ISA (International Seabed Authority)'nın uluslararsı sular için oluşturduğu bazı yasal düzenlemeler vardır. Bu düzenlemelere uygun olarak ekosistemi bozmadan ve denizaltı canlılarına zarar vermeden maden arama faaliyetlerinin yürütülmesi gerekmektedir (Le vd., 2016). Denizaltı madenciliğinde ekosistem çalışmalarının çok yaygın kullanılmadığı bilinmektedir. Buna paralel olarak Boschen ve diğerleri, 2013 yapmış oldukları çalışmada ve yine bu çalışmayı teyid ederek denizaltında hidrotermal deliklerde polimetalik sülfat madenciliği konusunda çevresel yönetimin önemini vurgulamışlardır. Buna ek olarak Von dover ve diğerlerinin denizaltı madenciliğinin çevreye minimum zarar vermesi için ekosistem servislerinin zararını tolere etmek adına çalışmaları mevcuttur (Van dover vd., 2014). Denizaltı madencilik faaliyetleri, açık deniz balıkçılığı, deniz taşımacılığı, atık sorunu, kirlilik ve büyük iklim değişikliği gibi konularla ekolojik olarak yakından ilişkilidir (Mengerink vd., 2014;Levin ve Le Bris,2015).

Denizaltı madenciliğinde ağır metallerin ve metalik madenlerin çevre kirliliği açısından önemli olduğu bilinmektedir. Çevre kirliliğine yol açan maddeler sedimanter yapılar ile birleştiğinde dibe çökelen atıklar zaman içerisinde suda yaşayan canlı ve bitki hayatını olumsuz etkilemektedir (Getaneh ve Alemayehu, 2006; Maher ve Butler, 1988; Olsen vd, 1982). Ağır metallerin kaynağı denizaltı ve göl kıyılarında endüstri, kömür enerjisi üretimi ve madencilik açısından doğal veya antropojenik yapıda bulunabilmektedir (Florou ve Kritidis,1991; Florou vd,2007; El-Taher ve Madkour, 2011).

3. GÜNEŞ ENERJİLİ TEKNE ÜRETİMİ

Günümüzde denizaltı ve göl madenciliğinde çevreye duyarlı, ekosistemi bozmadan doğal hayatı korumaya yönelik madencilik faaliyetlerinin yürütülebilirliği mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada, göl sularında dip haritası çıkartmak ve limnolojik açıdan

gölün 3 boyutlu modelini oluşturmak amacıyla güneş enerji sistemi ile çalışan SEPV-I (solar energy powered vessel) isimli tekne dizayn edilmiştir. Tekne 3.5 metre uzunluğunda, 1.38 metre genişliğinde fiber malzemeden yapılmıştır. Tekne üzerine yerleştirilen 4 adet 260 Watt gücünde güneş paneli ile güneşten elde edilen enerji, elektrik enerjisine dönüştürülerek teknenin hareketi elektrik motoru vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Güneş panellerinden elde edilen fotovoltaik ışınlar ile invertör aracılığıyla güneş panelinden gelen DC akım AC akıma dönüştürülmektedir. Teknede ayrıca 4 adet 150Ah 12V özelliğinde aküler kullanılarak enerji depolanmaktadır. Teknenin hareketini sağlamak amacıyla 6 PS gücünde tatlı su tekne motoru mevcuttur. Çizelge 1'de güneş enerjili tekne üretiminde kullanılan ekipmanların birim maliyetleri ve toplam maliyetleri verilmektedir. Ayrıca teknenin taşıma kapasitesini hesaplamak için her bir ekipmanın ağırlıkları kg cinsinden çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Güneş enerjili tekne üretimi maliyet analizi

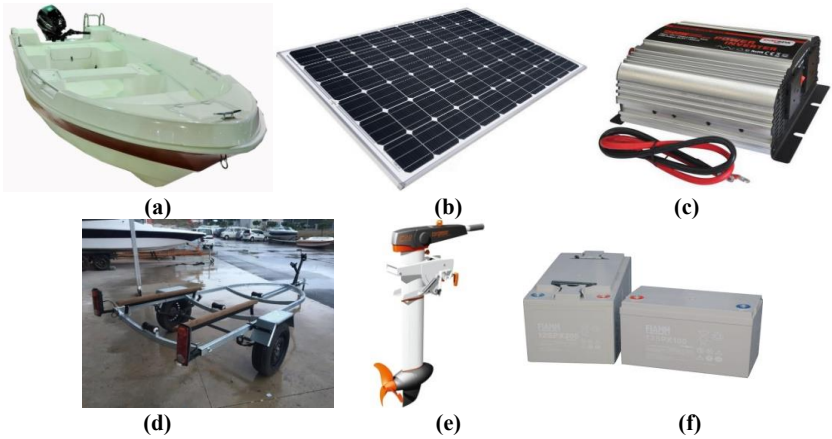
Ekipman	**Birim Fiyat**	**Miktar**	**Toplam Fiyat**	**Ağırlık (kg)**	**Toplam Maliyet (%)**
Güneş paneli (260 Watt)	$ 181	4	$ 724	68.8	11.71
Invertör	$ 414	1	$ 414	6.5	6.69
Electrik motoru (6 PS)	$ 3032	1	$ 3032	16.8	49.07
Akü (150 Ah,12V)	$ 223	4	$ 892	132	14.44
Tekne gövdesi (4.5m x 1.65m)	$ 1118	1	$ 1118	190	18.09
Toplam			**$ 6180**	**414.1**	**100**

Şekil 1'de göl sularının araştırılması için çevreyi ve ekosistemi bozmamak adına yenilenebilir, temiz ve kullanışlı enerji kaynağı olan güneş enerjisinden faydalanmak üzere üretim aşamasında kullanılan teknenin ekipmanları yer almaktadır. Teknenin montajı Dumlupınar Üniversitesi mühendislik fakültesi GOLARES laboratuvarlarında yapılmıştır. Şekil 2'de görüldüğü üzere güneş enerjisi ile çalışan SEPV-I (Solar Energy Powered Vessel) isimli tekne Dumlupınar Üniversitesi GOLARES laboratuvarlarında geliştirilip, üretilmiştir.

4.GÖL HARİTALAMA VE MODELLEME

Bir gölün limnolojik olarak incelenmesinde ortalama göl derinliği, uzunluğu ve genişliği, alanı, hacmi, kıyı şeridi, su seviyesi ve rakım seviyesi gibi parametrelerin araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada, Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi kampüsü içerisinde bulunan yapay göletin alanı ve hacmi x, y, z koordinatları GPS

yardımıyla ve sualtı derinlik halatları vasıtasıyla belirlenerek hesap edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre göletin çevresi 880 m ve yüzey alanı ise 35600 m²'dir. Göletin içerisinde bulunan su hacmi ise 961957 ton olarak tayin edilmiştir. Şekil 3'te göletin resmi ve 3 boyutlu gölet modeli verilmektedir.



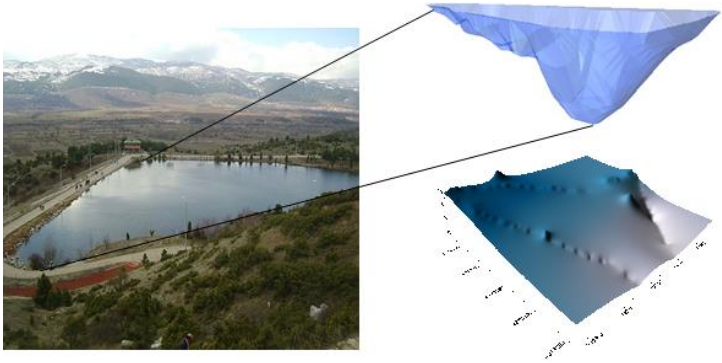
(a) **(b)** **(c)**

(d) **(e)** **(f)**

Şekil 1. **(a)** fiberglas malzemeden imal edilen 3.5m x 1.38m ebatlarında tekne; **(b)** 260 watt gücünde güneş paneli(4 adet); **(c)** fotovoltaik güneş ışınlarının elektrik motoruna iletimini sağlayan dönüştürücü; **(d)** teknenin taşınması için römork; **(e)** 6 PS gücünde pervaneli elektrik motoru; **(f)** 150 Ah,12 V gücünde akü(4 adet)

Şekil 2. Güneş enerjili tekne SEPV-I

Dumlupınar üniversitesi kampüsünde bulunan yapay göletin harita çiziminde, yansız ve en küçük hata varyansı ile kestirim yöntemine dayalı optimal doğrusal kestirim metodu olan kriging yöntemi ile birlikte madencilik yazılımları kullanılarak göletin 3 boyutlu modeli çizilmiştir. (Journel, 1983, Matheron, 1965) . Bu yöntemler ile göletin kıyı sınırlarından belli bir alana kadar olan mesafede alınan x,y,z koordinat verileri ölçülerek 3 boyutlu gölet modeli ve topoğrafik haritası çizilmiştir. Yapay göletin görüntüsü, 3 boyutlu modeli ve topoğrafik haritası Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Dumlupınar üniversitesi yapay göleti ve 3 boyutlu modeli

5. EVLİYA ÇELEBİ KAMPÜSÜ GÖL FLORASI

Dumlupınar üniversitesi içerisinde bulunan göletin etrafında bulunan 20 farklı noktadan numune alınmıştır. Şekil 4'te görüldüğü üzere gölet kıyısından alınan çamur örnekleri üzerinde yapılan araştırmalar neticesinde polen içerikleri ve gölet etrafındaki flora yapısı incelenmiştir. Elde edilen verilere göre 15 çeşit polen taksa kaydedilmiştir. Tanımlanan formlar içerisinde genellikle odunsu bitkiler ve Castanea (kestane), ayrılmamış Pinaceae (çam), Quercus (meşe), Platanus (çınar) bitkileri bulunmaktadır. Ancak Asteraceae-Asteroidae Asteraceae-Cichordae Poaceae gibi otsu formlarda yer almaktadır.

Çizelge 2'de Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi kampüsü içerisinde bulunan yapay göletin etrafından alınan çamur örnekleri yer almaktadır. Alınan örneklerin polen içerikleri incelenmiştir ve 15 çeşit polen taksaya rastlanmıştır.

Çizelge 2. Gölet çevresinden elde edilen polen toplulukları

Polen isimleri
Castanea
Carpinus
Tilia
Ayrılmamış Pinaceae
Picea
Liquidamber
Taxodiaceae Cupressaceae
Eleagnaceae
Ouercus
Cedrus
Platanus
Acer
Asteraceae-Asteroidae
Asteraceae-Cichordae
Poaceae

Şekil 4. Gölet kıyısından alınan çamur örneği

6.SONUÇLAR

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan ve son zamanlarda kullanımı yaygınlaşan güneş enerjisi sistemleri birçok sektörde kullanılmaktadır. Güneş enerjisi, enerjiye ihtiyaç duyulan ve güneş ışınlarının güçlü olduğu bölgelerde, sınırsız, temiz ve çevre dostu olması açısından tercih edilen bir alternatif enerji kaynağı olmaktadır. Bu çalışmada, 3.5 m uzunluğunda 1.38 m genişliğinde fiber bir tekneye, 260 Watt gücünde 4 adet güneş paneli ve 24 V gücünde elektrikli motor ile çalışan bir sistem kurularak güneş enerjisi ile çalışan araştırma teknesi üretilmiştir. Bu teknenin montajı ve ekipmanların tekneye entegrasyonu Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi GOLARES laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca pilot bölge olarak seçilen Evliya Çelebi yerleşkesinin yapay göletinde ölçümler yapılarak göletin florası saptanmış ve 3 boyutlu gölet modeli oluşturulmuştur. Üretilen araştırma teknesi ile gölette ölçümler yapılmıştır. Madencilik yazılımları kullanılarak 3 boyutlu gölet modeli ve topoğrafik harita çizimi gerçekleştirilmiştir. Ekosisteme zarar vermeyen ve canlı habitatını koruyan, son derece güvenli bir yöntem olan güneş enerjili tekne ile göllerin araştırılması ve modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede göllerde maden arama işlemlerinin de bu tekne aracılığıyla yapılabilmesinin gelecekteki çalışmalara yön verebileceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi Koordinatörlüğü, BAP 2017-12 nolu proje tarafından desteklenmektedir. Yapılan araştırmalar, Dumlupınar Üniversitesi Alternatif Enerji Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezine bağlı GOLARES (Group of Lake and River Energy Systems) laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

Baez Almada,G.V.M., ve Bernardino, A.F., (2016), “conservation of deep sea ecosystems within offshore oil fields on the brazilian margins, SW atlantic”, Biological Conservation 206,92-101

Boschen R.E., Rowden, A.A., Clark, M.R., Gardner, J.P.A., (2013), "Mining of deep sea seafloor massive sulfides;a review of the deposits, their benthic communities, impacts from mining, regulatory frameworks and management strategies", Ocean Coast Management 84, 54-67,

Collins P.C., Croot, P., Carlsson, J., Colaco, A., Grehan, A., Hyeong, K., Kenedy, R., Mohn, C., Smith, S., Yamamoto, H., Rowden, A., (2013), "A primer for the environmental impact assessment of mining at seafloor massive sulfide deposits", Martine Policy 42, 198-209

El-Taher,A, Madkour,H.A., (2011). "Distribution and environmental impacts of metals and natural radionuclides in marine sediments in front of different wadies mouth along the Egyptian Red Sea Coast". Appl. Radiat. Isot.69,550–558.

Florou, H.,Kritidis,P.,(1991)."Natural radioactivity in environmental samples from an Island of Volcanic Origin (Milos,AegeanSea)". Mar.Pollut.Bull.22(8),417–419.

Florou, H.Trabidou,G.,Nicolaou,G.,(2007). "An assessment of the external radiological impact in areas of Greece with elevated natural radioactivity". J.Environ. Radioact.93,74–83.

Getaneh, W, Alemayehu, T, (2006). "Metal contamination of the environment by placer and primary gold mining in the Adola region of southern Ethiopia", Environ.Geol.50,339–352.

Journel, A.G., (1983); " Nonparametric Estimation of Spatial Distributions Mathematical Geology, v. 15, n.3, s. 445-468.

Le, J.T.,, Lisa A., Levin, Richard, T., Carson, (2016), "Incorporating ecosystem services into environmental management of deep-seabed mining", Article in press, Deep Sea Research II,
Levin,L.A.,Le Bris,N., 2015, "The deep ocean under climate change", Science 350, 766-768

Lisa A. Levin et al., (2016), "Defining "serious harm" to the marine environment in the context of deep sea bed mining", marine policy 74, 245-259

Maher, W,Butler,E.(1988). "Arsenic in the marine environment". Appl.Organomet. Chem. 2,191–214

Malahoff, A.,(1982), "Polymetallic sulfides from the oceans to the continents", Sea Technology, Vol. 23, No: 1, 1982, pp. 51-56

Mengerink,K.J,Dover,C.,I.,Van,Ardron,J.,Baker,M.,Escobarbriones,E.,Gjerde,K.,Koslow,J.A.Ramirez,İll odra,E.,Lara-Lopez,A.,Squires,D.,Sutton,T.,Sweetman,A.K.,Levin,L.A.,(2014), "Acall for deep ocean stewardship", Science 334,696-698

Matheron, G., (1965), "Les variables regionalisees et leur estimation", Masson, Paris

Olsen,C.R,Cutshall,N.H,Larsen,I.L.,1982. Pollutant particle associations and dynamics in coastal marine environments":a review. Mar. Chem.11,501–533.

Sharma, R.,2015, "Environmental issues of deep-sea mining", Procedia Earth and Planetary Science 11, 204-211

Van Dover, C.L., Aronson, J., Pendletyon, L., Smith, S., Arnaud-Haond, S., Moreno-Mateos, D., Barbier, E., Billett, D., Bowers, K., Danovaro, R., Edwards, A., Kellert, S., Morato, T., Pollard, E., Rogers, A., Warner, R., (2014), "Ecological restoration in the deep sea, desiderata", Marine Policy 44, 98-106

AUTHOR INDEX / YAZAR ENDEKSİ

A
Acarkan, N. 1057
Adam, K. 1171, 1259
Adıgüzel, D. 275, 663, 715, 887
Ahlatcı, F. 553, 553, 649, 843, 957
Akboğa, S. 755, 805
Akçil, M. 813,
Akdaş, H. 323, 897
Akdemir, Ü. 627
Akgeyik, E. 993
Akgöz, E. 813
Akın, G. 687
Akın, Y. 219, 285
Akkaya, M. A. 103
Akkiraz, M. S. 1347
Aksoy, C. 923
Aksoy, İ. 301
Akyıldız, A. 687
Akyıldız, Ö. 1227
Altürk, O. 1205
Ardejani, F. D. 1337
Arslan, H. 1163
Askal, M. 1103
Aslan, Ü. 1347
Atasoy, A. D. 493

B
Bağdadioğlu, S. 261
Bağrıaçık, B. 339, 435
Baktarhan, Y. 609, 715
Bashynskyi, S. 969
Başçetin, A. 275, 663, 715, 887
Baştürkcü, H. 1057, 1095
Bayat, O. 563
Bayır, M. 737
Benferrah, N. 947
Benzer, A. H. 675
Beyhan, S. 969
Bilim, N. 377, 413
Botula, J. 947,
Bouzenzana, A. 707
Bozcu, M. 261
Bulutoğlu, İ. 637

C
Celep, O. 649, 843, 957
Cerit, O. 1309,
Chanda, S. 79
Cihangir, F. 359, 855

Ç
Çakır, A. K. 55
Çavuşoğlu, İ. 1115
Çelen, S. 687
Çelik, A. Z. 493
Çelik, S. Ö. 445, 687
Çetin, N. 389
Çetinkaya, Z. 563
Çınar, İ. 209
Çiçek, T. 563
Çimen Mesutoğlu, Ö. 1003
Çiner, F. 3

D
Değerli, E. 19
Delibalta, M. S. 3, 237
Deliormanlı, A. H. 159
Demir, N. 55
Demir, Ö. F. 1247
Demir, U. 869
Demir Şahin, D. 1115
Demirbilek, M. 301
Demircan, A. 1057
Demirtaş, N. R. 389
Deniz, O. T. 119, 133
Deniz, V. 119, 133, 805
Dessureault, S. 1301
Deveci, H. 359, 533, 553, 649, 843, 957
Dikmen, A. Ç. 195
Dilbaz, M. E. 813
Doğan, K. 249, 909
Doğan, N. 301
Doğan, T. 1129
Doğruöz, C. 469, 1347
Dubchenko, I. 969
Duran, Z. 1129
Duru, H. G. 805

E
Ediz, G. 505
Eğriboyunoğlu, M. 359
Eker, H. 275, 663, 887
Elçi, H. 1029
Engin, İ. C. 1045
Erçıkdı, B. 359, 855
Erdem, B. 1129
Erdemoğlu, M. 91, 829
Erdemoğlu, S. 993
Erdoğan, R. 1205
Erkayaoğlu, M. 1327
Erten, S. 459
Ertuğrul, G. 793, 1183
Eryılmaz, G. D. 1015
Eskibalcı, M. F. 481
Eskikaya, Ş. 1149

F
Ferah, E. 1227

G
Genç, E. 175
Genç, Ömürden. 675, 737
Genç, Özgür. 1309
Gökay, M. K. 249, 909
Göktaş, M. 829, 935
Güçer, Ş. 1163
Gül, M. 285, 389, 1247
Güler, T. 627, 695, 745, 783
Güleryüz, G. 1163
Güney, Ali. 617, 1095
Güney, Avni. 285, 389
Güneyli, H. 339, 435
Güngören, C. 609

Gürtuna Haliloğlu, O. 185

H
Hacıfazloğlu, H. 521
Hacımustafaoğlu, R. 1029
Hekimoğlu, O. Z. 147
Hüdaverdi, T. 1227

İ
İkiz, U. 159
İnanır, A. 1045
İnanır, S. O. 1045
İnceoğlu, D. N. 727, 923

K
Kaçaroğlu, F. 389
Kahraman, M. M. 1301, 1327
Kangal, M. O. 617
Karaarslan E. 1247
Karacan, E. 389
Karadağ, E. 695
Karadeniz, M. 583
Karahan, S. 339, 435
Karakuş, D. 159
Karakuş, H. 301
Karaman, K. 459
Kasap, Y. 793, 1183
Katırcıoğlu Bayel, D. 573
Kecir, M. 947
Keçeciler, A. 1347
Kekeç, B. 377, 413
Kesimal, A. 359
Kılıç, M. G. 469
Kibici, Y. 301
Koç, C. 769
Koç, K. 147
Korkmaz, A. V. 979
Köken, M. 55
Kulaksız, S. 219
Kun, M. 425
Kundak, E. 323
Kurşun, İ. 481, 521, 543, 609
Kurt, H. 351

M
Mallı, T. 1287
Mesutoğlu, M. 1003
Moono, W. 79

O
Oyan, V. 597

Ö
Öngen, T. 159
Özbay, B. 727, 923
Özbay, İ. 727, 923
Özcan, B. 425
Özdemir, O. 481, 609, 715
Özdoğan, M. V. 159
Özer, A. 1085
Özer, M. 617, 1095
Özkan, Ş. G. 609
Özkul, C. 301
Özün, S. 469

P
Panagiotou, G. N. 1171, 1259
Polat, E. 627, 783
Porgalı, E. 993

S
Sarıoğlu Cebeci, M. 769
Seven Erdemir, Ü. 1163
Sevinç, Z. 597
Shafaei, F. 1337
Shokri, B. J. 1337
Sönmez, İ. 1067

Ş
Şahbudak, K. 1085
Şeflek, C. 1015
Şensöğüt, C. 209, 505

T
Terzi, M. 481, 521, 543
Tınmaz Köse, E. 445, 687
Tolkach, O. 469
Top, S. 1015
Tunç, S. 783
Tütmez, B. 1239
Tüylü, S. 275, 663, 715, 887

U
Uçar, A. 505
Umucu, Y. 755, 805
Uyar, G. G. 1271

X
Xenarios, M. 1171

Y
Yanık, G. 301
Yapıcı, N. 563
Yazıcı, E. Y. 533, 553, 649, 843, 957
Yenial, Ü. 617
Yenice, H. 159
Yeşilyurt, Z. 1095
Yılmaz, A. O. 1115
Yılmaz, E. 533, 553, 649, 843, 957
Yılmaz, K. 359
Yılmaz, M. 1029
Yılmaz, Ö. 1029
Yılmaz, T. 855
Yurdakul, M. 897
Yurtsever, S. 745
Yüce, A. E. 1057

Z
Zaimoğlu, Z. 1205
Zengin, E. 301
Ziati, Z. 947
Zorlutuna, B. 39

TMMOB, Maden Mühendisleri Odası
UCTEA, *Chamber of Mining Engineers of Turkey*