

BİLİMSEL

# MADENCİLİK

SCIENTIFIC MINING JOURNAL

DERGİSİ

ISSN 2564-7024

Cilt / Vol: 57

Özel Sayı / Special Issue

Kasım / November

2018

TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını / The Publication of the Chamber of Mining Engineers of Turkey



TMMOB  
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI

**BİLİMSEL MADENCİLİK DERGİSİ**  
*Scientific Mining Journal*

Cilt / Vol: 57, Sayı / No: Özel Sayı / Special Issue Kasım / November 2018

TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın hakemli dergisidir.  
*A peer-reviewed quarterly journal of the Chamber of Mining Engineers of Turkey*

**Baş Editor / Editor-in-Chief**

Dr. Nejat Tamzok, Türkiye Kömür İşletmeleri / *Turkish Coal Enterprises*

**Editörler / Editors**

Dr. Bülent Toka, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü / *General Directorate of Mineral Research and Exploration*

Dr. İlkay Bengü Can, Hacettepe Üniversitesi / *Hacettepe University*

Dr. Nuray Demirel, Orta Doğu Teknik Üniversitesi / *Middle East Technical University*

Dr. Mehtap Gülsün Kılıç, Dicle Üniversitesi / *Dicle University*

**Editör Yardımcıları / Editor Assistants**

Dr. Mustafa Erkayaoğlu, Orta Doğu Teknik Üniversitesi / *Middle East Technical University*

Ercan Polat, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi / *Muğla Sıtkı Koçman University*

## AMAÇ VE KAPSAM

Bilimsel Madencilik Dergisi TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın açık erişimli elektronik ortamda ve basılı olarak yayımlanan süreli bilimsel yayınıdır. Dergi 1960 yılından itibaren yayımlanmaktadır. Derginin ismi 2016 yılı Haziran sayısına kadar "Madencilik" şeklindeyken, benzer isimli popüler dergilerle karıştırılabilmesi nedeniyle 2016 yılı Eylül sayısından itibaren "Bilimsel Madencilik Dergisi" olarak değiştirilmiş ve o tarihe kadar 0024-9416 olan ISSN numarası da 2564-7024 olarak güncellenmiştir.

Yılda 4 kez (Mart-Haziran-Eylül-Aralık) yayımlanan Bilimsel Madencilik Dergisi (ISSN: 2564-7024), maden mühendisliği ve mineral endüstrisi alanında ulusal ve uluslararası düzeyde yapılan, bilimsel normlara ve yayın etiğine uygun, özgün bilimsel çalışmaları bilim insanlarına, maden mühendislerine ve kamuoyuna duyurmayı ve bu yolla bilimsel bilgiyi toplumla paylaşmayı amaçlamaktadır. Derginin yayın dili Türkçe ve İngilizce'dir.

Dergi, maden mühendisliği alanında özgün bir araştırmayı bulgu ve sonuçları ile yansıtan kuramsal, deneysel ve uygulamalı araştırma makalelerine; yeterli sayıda bilimsel makaleyi tarayıp konuyu bugünkü bilgi ve teknoloji düzeyinde özetleyen, değerlendirme yapan ve bu bulguları karşılaştırarak yorumlayan tarama makalelerine; özgün bir yöntem veya tekniği tarif eden kısa makale olarak tanımlanabilecek teknik notlara; ve gerçek ya da kuramsal bir mesleki uygulamayı temel alan, sistematik veri toplama ve veri analizi içeren vaka çalışmaları yer vermektedir.

Dergide, yenilenemeyen maden kaynakların sürdürülebilir madencilik ilkeleri doğrultusunda insanlığın hizmetine sunulması için gereken mevcut bilginin geliştirilmesini sağlayacak konularda eserlere öncelik verilmektedir. Bu kapsamda; maden arama, maden yatağı modelleme, topoğrafya, maden ekonomisi, jeostatistik, kaya mekaniği ve jeoteknik, kazılabilirlik etüdü, yer altı ve açık maden işletme, maden tasarımı, madenlerde ve tünellerde tahkimat sistemleri, delme-patlatma tasarımı, madenlerde üretim planlaması ve optimizasyon, madenlerde iş sağlığı ve güvenliği yönetimi, maden havalandırma, yeraltı kömür madenlerinde metan gazı emisyonu ve metan drenajı, cevher hazırlama ve zenginleştirme, proses mineralojisi, analitik teknikler, öğütme, sınıflandırma ve ayırma, flotasyon/flokülasyon, katı/sıvı ayırımı, fiziksel zenginleştirme yöntemleri, hidro ve biyometalürji, üretim metalürjisi, modelleme ve simülasyon, enstrümantasyon ve proses kontrol, geri dönüşüm ve atıkların işlenmesi, maden hukuku, madenlerde çevre sağlığı ve yönetimi, madenlerde nakliyat, makina ve ekipman seçimi ve planlaması, kömür gazlaştırma, mermer teknolojisi, endüstriyel hammaddeler, uzay madenciliği, deniz altı madenciliği ve mekanizasyon ile ilgili konular dergi içeriğinde yer almaktadır.

Gönderilen yazılar editörler kurulu ve konusunda uzman hakemler tarafından bağımsız ve akademik yayıncılıkta en iyi uygulamalarla uyumlu şekilde değerlendirilmekte olup, değerlendirme süreci sonunda yayınlanması uygun görülen yazıların yayın hakları yazarlar tarafından telif sözleşmesi ile TMMOB Maden Mühendisleri Odası'na devredilir.

## AIMS AND SCOPE

*Scientific Mining Journal, which is published in open access electronic environment and in printed, is a periodical scientific journal of Union of Chambers of Turkish Engineers and Architects Chamber of Mining Engineers. The name of the journal was "Mining" until June 2016 and it has been changed to "Scientific Mining Journal" since September 2016 because it can be confused with popular journals with similar names and the ISSN number has been updated from 0024-9416 to 2564-7024.*

*Scientific Mining Journal, published four times a year (March-June-September-December), aims to disseminate original scientific studies which are conducted according to the scientific norms and publication ethics at national and international scale, to scientists, mining engineers, the public; and thus to share scientific knowledge with the society. The journal is in both Turkish and English.*

*The journal covers theoretical, experimental, and applied research articles, which reflects the findings and results of an original research in the field of mining engineering; review articles, which assess, evaluates, and interprets the findings of a comprehensive review of sufficient number of scientific articles and summarize them at present information and technology level; technical notes, which may be defined as a short article that describes a novel methodology or technique; a case studies, which are based on the theoretical or real professional practice and involves systematic data collection and analysis.*

*The journal gives priority to works that will enable the advancement of current available information necessary to serve humanity with nonrenewable mineral resources with the perspective of sustainable mining principles. In this context, mine exploration, mineral resource modeling, surveying, mine economics and feasibility, geostatistics, rock mechanics and geotechnics, diggability studies, underground and surface mining, mine design, support design in underground mines and tunnels, rock penetration and rock fragmentation, mine production planning and pit optimization, mine health and safety management, mine ventilation, methane emission and drainage in underground coal mines, mineral processing and beneficiation, process mineralogy, analytical techniques, mineral comminution, mineral classification and separation, flotation/flocculation, solid/liquid separation, physical enrichment methods, hydro and biometallurgy, production metallurgy, modeling and simulation, instrumentation and process control, recycling and waste processing, mining law, environmental health and management, transportation, machinery and equipment selection and planning, coal gasification, marble technology, industrial minerals, space mining, submarine mining and mechanization are included in the journal content.*

*Submitted manuscripts are evaluated by the editorial board and expert referees independently in accordance with the best practices in academic publishing. The publishing rights of the manuscripts, approved for publication at the end of the evaluation process, are transferred to the Chamber of Mining Engineers by the authors.*

## **BİLİMSEL MADENCİLİK DERGİSİ**

### **Scientific Mining Journal**

Bilimsel MADENCİLİK Dergisi makale dizin ve özlerinin yer aldığı veri tabanları:

*Scientific MINING Journal is indexed or abstracted in:*

SCOPUS

Google Scholar

ULAKBİM TR Dizin

GeoRef

OpenAIRE

Makale Yazım Kuralları, Yayın Danışma Kurulu, Hakem Değerlendirme Süreci ve Hakem Listelerine <http://www.madencilik.org.tr> adresinden erişilebilir.

*Author Instructions, Editorial Advisory Board, the Peer Review Process and Reviewer Lists can be accessed from <http://www.mining.org.tr>*

### **Etik Kurallar / Publication Ethics**

Dergiye gönderilecek çalışmalarda, araştırma ve yayın etiğine uyulması tartışmasız bir ön koşul olarak kabul edilmektedir. Yayın Etik Kurallarına <http://www.madencilik.org.tr> adresinden erişilebilir.

*Compliance with the research and publication ethics in the studies to be sent to the journal is considered to be an indisputable prerequisite.*

*Publication Ethics can be accessed from <http://www.mining.org.tr>*

**BİLİMSEL MADENCİLİK DERGİSİ**  
**Scientific Mining Journal**

TMMOB Maden Mühendisleri Odası adına sahibi  
*Owner on behalf of the Chamber of Mining Engineers of Turkey*  
*Ayhan Yüksel*

Sorumlu yazı işleri müdürü / *Responsible manager: Mehmet Erşat Akyazılı*

Yönetim yeri ve yazışma adresi / *Correspondence address:*  
Selanik Cad. No: 19/4 06650 Kızılay-Çankaya / ANKARA - TURKEY

Tel: +90 312 425 10 80 / +90 312 418 36 57 • Fax: +90 312 417 52 90

e-mail: [bilgi@madencilik.org.tr](mailto:bilgi@madencilik.org.tr) / [info@mining.org.tr](mailto:info@mining.org.tr)  
web: <http://www.madencilik.org.tr> / <http://www.mining.org.tr>

Yayın türü / *Publication type: Yerel süreli yayın, 3 ayda bir yayımlanır / Local periodical, quarterly*

Tasarım / *Design: Gülendem Gültekin*

Baskı yeri / *Printed at: Ziraat Gurup Matbaacılık Ambalaj San. ve Tic. A.Ş.*

Baskı Tarihi ve saati / *Printing date: 10.12.2018 at 09:00*

Basım adedi / *Number of printed copy: 1500*

BİLİMSEL  
**madencilik**  
SCIENTIFIC MINING JOURNAL  
DERGİSİ

TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını / The Publication of the Chamber of Mining Engineers of Turkey

**KASIM** **CİLT** **ÖZEL SAYI**  
*NOVEMBER* *VOLUME* *SPECIAL ISSUE*  
2018 57

**İÇİNDEKİLER / CONTENTS**

- 7 **Sunuş**  
*Foreword*
- Kenan Çinku  
Gözde Bekçi  
Orhan Özdemir
- 9 **Orijinal Araştırma / Original Research**  
**Çözünmüş Hava Flotasyonu (ÇHF) Tekniği ile Talkın Tuzlu Sularda Yüzebilirliği**  
*Flotability of Talc By Dissolved Air Flotation (DAF) Technique in Salt Solution*
- Fırat Ahlatcı  
Elif Yılmaz  
Ersin Y. Yazıcı  
Oktay Celep  
Hacı Deveci
- 17 **Orijinal Araştırma / Original Research**  
**Atık Siyanür Çözeltilerinden Anyonik Reçineler ile Ağır Metallerin Adsorpsiyonu**  
*Adsorption of Heavy Metals From Waste Cyanide Solutions With Anionic Resins*
- Doğan Karakuş  
Tuğçe Öngen  
Mehmet Volkan Özdoğan  
Hayati Yenice  
Ahmet Hamdi Deliormanlı  
Utku İkiz
- 23 **Teknik Not / Technical Note**  
**Şehir İçi Patlatmalı Kazı Çalışmalarında Çevresel Titreşim Limitlerine Göre Patlatma Tasarımı**  
*Blast Design Based On Environmental Vibration Limits For The Rock Blasting in Urban Area*
- Ece Kundak  
Hürriyet Akdaş
- 31 **Teknik Not / Technical Note**  
**Açık İşletmelerde Döküm Alanları Düzenleme ve Ağaçlandırma Çalışmaları: Tutluca Manyezit Açık İşletmesi**  
*Regulation and Planting Studies of Casting Fields in Open Pits: Tutluca Magnesite Open Pit*
- Ali Uçar  
Cem Şensöğüt  
İ. Göktaş Ediz
- 41 **Teknik Not / Technical Note**  
**Tunçbilek Kömür Yıkama Tesisinde Bazı Fiziksel Çevre Etkenlerinin Araştırılması**  
*Investigation of Some Physical Environmental Factors For Tunçbilek Coal Washery*
- Hatice Yılmaz  
Ceren Uygun  
Mehmet Tanrıverdi
- 51 **Derleme / Review**  
**Madencilikte Görüntüleme ve Analiz Cihazları**  
*Imaging and Analysis Devices for Mining Industry*



- Serdar Yaşar  
Ali Osman Yılmaz 63 Orijinal Araştırma / *Original Research*  
**Düşey Kayaç Kesme Seti ile Kollu Galeri Açma Makinesi Performans Tahmini: Bir Örnek Uygulama**  
*Iroadheader Performance Prediction With Using Vertical Rock Cutting Rig: A Case Study*
- Ekin Köken  
Hamit Aydın  
Ahmet Özarslan 73 Orijinal Araştırma / *Original Research*  
**S<sub>20</sub> Kırılgenlik İndeksinin Kayaçların Parçalanabilirliği Açısından İncelenmesi**  
*Investigation of S<sub>20</sub> Brittleness Index in Terms of the Crushability of Rocks*
- Beril Bayraktar  
Hakan Uyguçgil  
Adnan Konuk 85 Orijinal Araştırma / *Original Research*  
**Türkiye Madencilik Sektöründe İş Kazalarının İstatistiksel Analizi**  
*Statistical Analysis of Occupational Accidents in Turkey Mining Industry*
- Mustafa Önder  
Seyhan Önder  
Burcu Demir İroz  
Erhan Adıgüzel 91 Orijinal Araştırma / *Original Research*  
**Madencilikte Toza Bağlı Meslek Hastalıklarının Aşamalı Logaritmik Doğrusal Analiz ile İncelenmesi: TKİ Himmetoğlu Linyit Ocağı Örneği**  
*Investigation Of Occupational Diseases Related To Dust In Mining With Hierarchical Loglinear Analysis: TKİ Himmetoğlu Lignite Mine Example*
- Recep Erdi Şafak  
Cem Şensöğüt  
Yaşar Kasap 99 Orijinal Araştırma / *Original Research*  
**Açık Ocak İşletmelerinde İş Güvenliği Uygulaması: Örnek Ocak Çalışması**  
*Applications of Occupational Safety at Open Pit Mining: A Case Study*
- İsmail Sedat Büyüksağış  
Memduh Uz  
Mustafa Gürsoy 109 Derleme / *Review*  
**Doğaltaş Sektöründe Kullanılan Uluslararası Ambalajlama ve Nakliye Kurallarının/Standartlarının İncelenmesi**  
*Nvestigation of International Packing and Transportation Used Rules/Standarts In Natural Stone Industry*
- İbrahim Çobanoğlu  
Sefer Beran Çelik 121 Orijinal Araştırma / *Original Research*  
**Travertenlerde Kapiler Su Emmenin Tanımlanması ve Sınıflandırılması**  
*Identification and Classification of Capillary Water Absorption For Travertines*
- Raşit Altındağ  
İbrahim Uğur  
Nazmi Şengün  
Deniz Akbay  
Servet Demirdağ  
Ahmet Coşkun  
Murat Sert 129 Orijinal Araştırma / *Original Research*  
**Karbonat Kökenli Bazı Doğal Taşların Yüzey Özelliklerine Bağlı Olarak Güneş Işığını Yansıtma İndeks Değerlerindeki Değişimin İncelenmesi**  
*Investigation of the Solar Reflection Index Values Changes of Some Carbonate Based Natural Stones Depend on the Surface Properties*
- Mahmut Mutlutürk  
Sefer Beran Çelik 135 Orijinal Araştırma / *Original Research*  
**Doğaltaş Üretimi ve Su İlişkisi**  
*Natural Stone Production and Water Interaction*
- Mustafa Topaloğlu 143 Derleme / *Review*  
**Madencilikle İlgili Yasal Düzenlemelerdeki Küresel Eğilimler ve Türkiye Uygulaması**  
*Global Trends In Mining Regulations and Application of Turkey*

## SUNUŞ

Odamızın yıllardır düzenlemekte olduğu kongre ve sempozyumlarda sunulanlar arasından seçilen bildirilerden oluşan bir özel sayı yayınlanması fikri uzun zamandır vardı. Nihayet geçtiğimiz yıl Oda Yönetim Kurulu tarafından bu yönde bir karar alınmasıyla, söz konusu özel sayının gerçekleştirilebilmesi mümkün oldu.

Bu özel sayıda, Odamız tarafından 2016 ve 2017 yıllarında düzenlenen Kongre ve Sempozyumlarda yayınlanmış olan bildiriler arasından on altı adedi seçildi. Seçim süreci iki aşamadan oluştu. İlk aşamada etkinlik yürütme kurulları sunulan bildiriler içerisinde seçim yaparak özel sayıda yayınlanmaya değer buldukları bildirimleri dergi yayın kuruluna gönderdiler. İkinci aşamada ise gönderilen bildirimler dergi yayın kurulu tarafından – bu defa Bilimsel Madencilik Dergisi yayın kuralları esas alınarak - tekrar hakem değerlendirmesinden geçirildi. Sonunda, iki aşamalı elemelerden geçen bildirimler Bilimsel Madencilik Dergisi 2018 Yılı Özel Sayısı içerisinde yayınlanmaya hak kazanmış oldular.

Böylelikle oluşturulan özel sayı içerisindeki bildirimlerin kongre ve sempozyumlara dağılımı ise aşağıdaki şekilde oldu:

Türkiye 25. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi (2017): 1 bildiri

Uluslararası Madencilik ve Çevre Sempozyumu (2017): 4 bildiri

6. Uluslararası Maden Makinaları ve Teknolojileri Kongresi (2017): 3 bildiri

Uluslararası Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu (2017): 2 bildiri

Uluslararası Kırmataş Sempozyumu (2016): 1 bildiri

Türkiye 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi ve Sergisi (2017): 4 bildiri

Türkiye 20. Kömür Kongresi (2016): 1 bildiri

Bilimsel Madencilik Dergisi 2018 Yılı Özel Sayısı'nın bilim insanlarına, akademisyenlere, araştırmacılara yararlı olması dileğiyle saygılar sunarız.

**Bilimsel Madencilik Dergisi Yayın Kurulu**  
**Ankara/Kasım 2018**

## FOREWORD

The idea of publishing a special issue of papers selected among those which were presented at the congresses and symposiums that the Chamber of Mining Engineers of Turkey has been organizing for years, has existed for a long time. Finally, it became possible to publish this special issue after the Board of Directors of the Chamber made a decision in this direction last year.

Sixteen papers among those which were presented at the congresses and symposiums that our Chamber organized between 2016 and 2017 are selected for this special issue. Selection process consisted of two steps. In the first stage, the event executive boards sent the papers which they found worthy of publication in a special issue, to the editorial board of Scientific Mining Journal. In the second stage, the papers were sent to reviewers for peer review by the editorial board - this time on the basis of the publication rules of Scientific Mining Journal. In the end, the papers that passed the rigorous elimination are entitled to be published in the Scientific Mining Journal Special Issue 2018.

In this way, the distribution of the papers in the special issue to the congresses and symposiums is as follows:

25<sup>th</sup> International Mining Congress and Exhibition of Turkey (2017): 1 paper

International Mining and Environment Symposium of Turkey(2017): 4 papers

6<sup>th</sup> International Mining Machinery and Technologies Congress of Turkey (2017): 3 papers

International Symposium on Occupational Health and Safety in Mining (2017): 2 papers

International Aggregates Symposium of Turkey (2016): 1 paper

9<sup>th</sup> International Marble and Natural Stones Congress and Exhibition of Turkey (2017): 4 papers

20<sup>th</sup> Coal Congress of Turkey (2016): 1 paper

We would like to express our gratitude that the Scientific Mining Journal Special Issue 2018 will be useful to scientists, academics and researchers.

**Scientific Mining Journal Editorial Board**  
**Ankara/November 2018**







Orijinal Araştırma / Original Research

## ÇÖZÜNMÜŞ HAVA FLOTASYONU (CHF) TEKNİĞİ İLE TALKIN TUZLU SULARDA YÜZEBİLİRLİĞİ

### FLOTABILITY OF TALC BY DISSOLVED AIR FLOTATION (DAF) TECHNIQUE IN SALT SOLUTION

Kenan Çinku<sup>a,\*</sup>, Gözde Bekçi<sup>b,\*\*</sup>, Orhan Özdemir<sup>a,\*\*\*</sup>

<sup>a</sup> İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fak., Maden Müh. Bölümü, 34320, Avcılar, İstanbul / TÜRKİYE

<sup>b</sup> İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Beyazıt, İstanbul / TÜRKİYE

**Geliş Tarihi / Received** : 27 Mayıs / May 2018

**Kabul Tarihi / Accepted** : 19 Ağustos / August 2018

#### Anahtar Sözcükler:

CHF,  
Talk,  
Tuzlu su.

#### Keywords:

DAF,  
Talc,  
Salt solution.

#### ÖZ

Flotasyon tekniği tüm dünyada yaygın olarak kullanılan zenginleştirme yöntemlerinin başında gelmektedir. Talkın sahip olduğu doğal hidrofobik yapısı sayesinde, grafit, taş kömürü, molibden ve kükürt gibi ender mineraller kollektör adı verilen kimyasal toplayıcı kullanmaksızın yüzebildiği bilinmektedir. Flotasyon yönteminde, kollektör ve köpürtücü adı verilen pahalı kimyasalların ve suyun niteliği büyük öneme sahiptir. Bu nedenle flotasyonda kullanılan kimyasal sarfiyatının azaltılması veya hiç kullanılmaması flotasyon tesislerinin işletim masraflarını büyük oranda düşürebilir. Çözünmüş hava flotasyonu (CHF) tekniğinin ince tane boyutundaki (-38 µm) malzemelere de uygulanabilmesi ince boyutlu artıkların değerlendirilmesine olanak verebilir. Ayrıca günümüzde hızla tükenen ve kirlenen su kaynakları göz önünde bulundurulduğunda flotasyon tesislerinde suyun çevrimi ve tuz içeriği yüksek kuyu suyu kullanımı zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada doğal hidrofobik minerallerden olan ince boyutlu talkın kollektör ve köpürtücü kullanmaksızın tuzlu sular (NaCl, ve MgC<sub>12</sub>) içerisinde yüzebilirliği araştırılmıştır. Tuzlu sular varlığında laboratuvar ölçekli CHF ekipmanı ile yapılan flotasyon deneyleri sonucunda talkın flotasyon veriminde %14'lük artış elde edilmiş olup sonuçlar ışığında Na<sup>+</sup> ve Mg<sup>2+</sup> iyonlarının talk flotasyonuna etkisi ortaya konmuştur.

#### ABSTRACT

Flotation is one of the widely used mineral processing methods where hydrophobic particles are separated from hydrophilic particles using air bubbles. Since some minerals such as talc, graphite, molybdenite, hard coal, and sulphur is naturally hydrophobic, it is possible to float them without collector. The effect of flotation chemicals such as collector and frothers which are very expensive, and the water quality is very important in the flotation method. For this reason, the decrease in the amount of these chemicals for the flotation method or even not to use any of these chemicals may reduce the cost of mineral processing. Dissolved air flotation (DAF) is a clarification process that can be used to remove particles. In addition, when water scarcity and contamination are considered, water circulation and use of bore water which contains a high amount of salt, will be essential for mineral processing plants in the future. In this context, the aim of this study was to investigate the flotation behavior of natural hydrophobic mineral talc in solutions (NaCl and MgC<sub>12</sub>) without collector using a lab scale DAF. The flotation results showed that flotation yield of talc increased 14% in the presence of salt ions. Based on the results obtained from this study, it can be concluded the effect of dissolved ions such as Na<sup>+</sup> and Mg<sup>2+</sup> on talc flotation is ion specific.

\* Sorumlu yazar: kenan@istanbul.edu.tr \* <https://orcid.org/0000-0001-7523-8126>

\*\* gozdebekci@gmail.com

\*\*\* orhanozdemir@istanbul.edu.tr \* <https://orcid.org/0000-0003-1294-5346>

Bu bildiri 2017 yılında düzenlenen Türkiye 25. Uluslararası Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı'nda yayınlanmıştır. / This paper was published in the 25th International Mining Congress of Turkey held in 2017.

Bu makalenin tüm yayın hakları TMMOB Maden Mühendisleri Odası'na aittir © 2018 / Copyright © 2018 Published by UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey. All rights reserved.

## GİRİŞ

Günümüzde flotasyon birçok mineralin zenginleştirilmesinde kullanılmasının yanı sıra biyoteknoloji (su arıtımı, gıda sanayi v.b.) gibi cevher hazırlama/zenginleştirme endüstrisinden çok farklı alanlarda da başvurulan temel ayırma proseslerinin başında gelmektedir. Flotasyon yöntemiyle sülfürlü metalik cevherlerin yanı sıra bütün oksitli mineraller ve metal olmayan mineraller zenginleştirilebilirler. Düşük tenörlü cevherleri herhangi bir yöntemle zenginleştirmek mümkündür, ancak flotasyon tesisinin kurulmasının kolay olması ve diğer yöntemlere oranla ekonomik olması nedeniyle flotasyon metodu tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır.

Literatürde, özellikle taş kömürü gibi doğal hidrofobik minerallerin tuzlu sular (elektrolit solüsyonları) içerisinde kollektör ve köpürtücü kullanmadan yüzdükleri ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Flotasyonda çözünmüş iyonların solüsyon ve ara yüzeyleri etkileyerek, kabarcık ile taneler arasındaki kolloidal etkileşimleri değiştirmesi sebebiyle minerallerin flotasyonunu etkilediği bilinmektedir. Gerçekleştirilen çalışmalar birçok teoriyi de beraberinde getirmiştir. Bu teorilerden biri inorganik elektrolitlerin kabarcık birleşmesini önlediğini, böylece kabarcık boyutunu düşürdüğü ve sayısını arttırdığı üzerinedir. Bu olayın kabarcık-tane yapışma olasılığını arttırdığı, köpük stabilitesi ve böylece flotasyon verimini arttırdığını söylenmektedir. Tuzlu suların kömür flotasyonunda büyük ilgi görmesinden dolayı, kömür gibi doğal hidrofobik karakterli minerallerden birisi olan talk için de tuzlu su ortamında çözünmüş hava flotasyon yapmanın mümkün olabileceği düşünülmüştür.

CHF flotasyonu tekniği esas olarak içme sularının iyileştirilmesi (Newcombe ve Dixon, 2006), atık suların geri kazanımı, cevher hazırlama ve zenginleştirme tesisi atıklarının katı-sıvı ayırımının yapılarak proses suyunun tekrar sirkülasyonu, ağır metal ve anyonların uzaklaştırılması gibi amaçlarla kullanılmasının yanı sıra son yıllarda bakır-nikel gibi metalik şlam cevherlerin geri kazanımı, ince boyutlu feldispat cevherlerinin zenginleştirilmesi, fosfat cevheri şlamlarının zenginleştirilmesinde ve ince boyutlu kuvarsın geri kazanımı gibi uygulamalarda da kullanılmaya başlanmıştır.

Çözünmüş hava flotasyonu taşıyıcı faz olarak mikro kabarcıkların kullanıldığı katı-sıvı veya sıvı-sıvı ayırma proseslerinin çok iyi şekilde sağ-

landığı bir uygulamadır (Feris ve Rubio, 1999). Çözünmüş hava flotasyonu sistemlerinde hava, suya uygulanan birkaç atmosfer basınç altında çözünür ve su hava ile doyurulur. Daha sonra sudan basınç kaldırılarak su atmosfer basıncına getirilir. Bu esnada açığa çıkan hava kabarcıkları flotasyon işlemini gerçekleştirir (Edzwald, 1995; Rykaart ve Haarhoff, 1995; Eckenfedersor, 2000)

Flotasyon işlemi tüm dünyada yaygın bir şekilde kullanılan zenginleştirme yöntemlerinin başında gelmekte olup proses esnasında önemli miktarda su tüketilmektedir. Günümüzde su kaynaklarının giderek azaldığı ve flotasyon işleminin kollektör kullanılmaksızın gerçekleştirilerek su kirliliğine sebebiyet verilmeyeceği göz önünde bulundurulduğunda çevre ve cevher hazırlama/zenginleştirme endüstrisine önemli bir katkı sağlanması da amaçlanan bir diğer unsur olmuştur. Ayrıca cevher hazırlama ve zenginleştirme endüstrisinde şlam olarak tabir edilen ve atık barajlarına gönderilen 38 µm'dan daha küçük boyuttaki mineral tanelerinin değerlendirilmesi de mümkün olacaktır.

Bu çalışmada doğal olarak hidrofob karaktere sahip olan ince boyutlu talkın toplayıcı kullanılmaksızın yüzdürülmesi, Na<sup>+</sup> ve Mg<sup>+2</sup> gibi iyonlarının varlığının flotasyonuna etkisinin ortaya konması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, talkın tuzlu sular varlığında yüzebilirliği CHF flotasyonu deneyleri yapılarak ortaya konmuştur.

## 1. MALZEME VE YÖNTEM

Deneyisel çalışmalarda kullanılan talk numunesi İstanbul-Tuzla bölgesinde faaliyet gösteren ERC Minerals firmasından temin edilmiştir. Değirmen çıkışı olan talkın üst boyutu ortalama 2 mm olup alt boyutu ise -38 µm'dur. Flotasyon deneyleri Ofite marka CHF cihazı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Deneyisel çalışmalar esnasında kullanılan numuneler, tamamı tüvenan haldeki doğal hidrofob karaktere sahip talk olup CHF tekniği kullanılarak yüzebilirliklerine çözünmüş iyonların etkisi incelenmiştir.

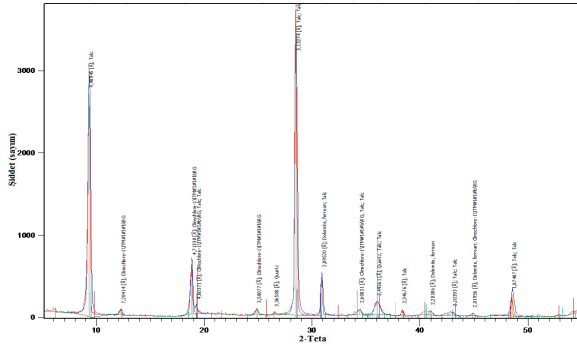
CHF deneylerinde kullanılacak talk'ın yapısal özelliklerinin belirlenmesi için yapılan karakterizasyon çalışmalarında, kimyasal analiz, XRD, DTA/TG yöntemleri ve bunlara ek olarak zeta potansiyeli ve temas açısı ölçümleri kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılan talk'a hem kalitatif hem de kantitatif analizler yapılmış olup sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Talkın kimyasal analiz sonuçları

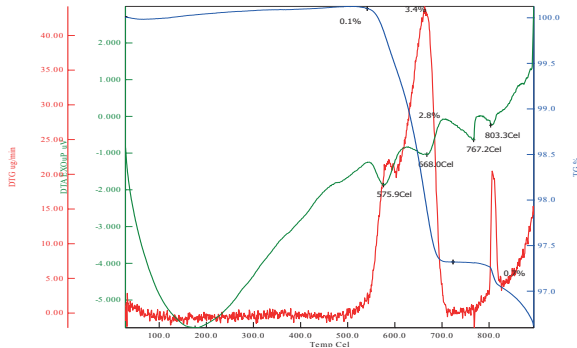
BİLEŞEN	Miktar (%)
SiO <sub>2</sub>	59,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,41
MgO	31,68
CaO	1,39
Na <sub>2</sub> O	<0,01
K <sub>2</sub> O	<0,01
TiO <sub>2</sub>	0,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,15
MnO	0,02
Ba	
LOI	6,32

XRD analizleri SHIMADZU XRD-6000 cihazı ile 2°-70° aralığında, 20/dk. tarama hızıyla Cu X-Işını tüpü kullanılarak yapılmış olup Şekil 1'de talkın XRD kırınım deseni verilmiştir.



Şekil 1. Talkın XRD kırınım deseni

Talk numunelerinin DTA analizleri SEIKO SII DTA/TG 6300 cihazı kullanılarak yapılmıştır. Bütün ölçümler 20 mg numune kullanılarak, 25-800°C aralığında 10°C/dk ısıtma hızında azot varlığında gerçekleştirilmiştir. Talk numunelerinin DTA/TG analizleri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Talkın DTA/TG analiz sonuçları

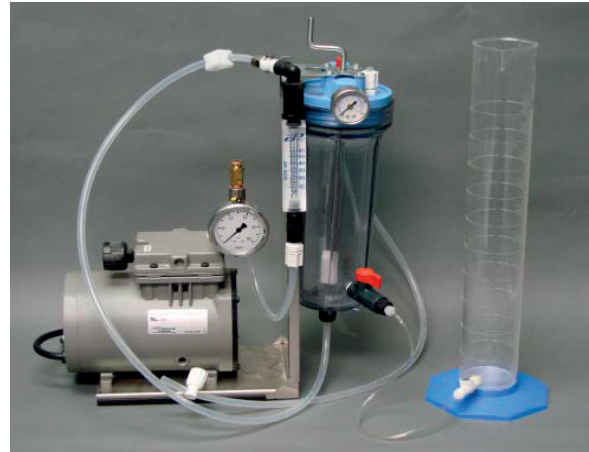
Şekil 2'den görüldüğü gibi 500-700°C arasında meydana gelen %3,4 ağırlık kaybı talkın kristal suyunu kaybetmesinden kaynaklanmaktadır.

Talkın elektrokinetik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen zeta potansiyel ölçümleri, mikro işlem donanımlı mikroelektroforezis yöntemi ile çalışan, voltaj ve tane hızını dikkate alarak, zeta potansiyel değerini otomatik olarak hesaplayabilen Brookhaven Zeta Plus cihazı ile yapılmıştır. Ölçüm işlerinde gerilim, iletkenliğe bağlı olarak ayarlanmıştır. Tüm deneylerde pH ölçümleri Hanna HI 221 marka pH metre ile yapılmıştır. Gerektiğinde pH ayarlayıcı olarak da 0,1 M HCl ile 0,1 M NaOH kullanılmıştır. pH'ya bağlı zeta potansiyel ölçümlerinde ölçüm öncesi ve sonrası pH değerleri ölçülerek, denge pH'sı olarak ölçüm sonrası pH değeri dikkate alınmıştır. Deneylerin oda sıcaklığında (25±2 °C) yapılmasına özen gösterilmiştir.

Talk numunelerinin temas açısı ölçümleri KSV Attension Theta Lite yüzey gerilimi ölçüm cihazı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Flotasyon deneyleri ise Şekil 3'de gösterilen laboratuvar ölçekli Ofite CHF düzeneği kullanılarak optimum basınç, tane boyutu, kabarcık giriş hızı değerleri belirlenmiştir. CHF deneyleri 10-20-30-40-50-60-70 psi basınç, 212, 150, 106, 38 µm tane boyutu değerlerinde yapılmıştır.

DeneySEL çalışmalar kapsamında kullanılan tüvenan talk numunelerinin tamamı agat havanlı Retch öğütücü yardımıyla 500 µm tane boyutunun altına öğütülmüştür.



Şekil 3. DeneySEL çalışmalarda kullanılan CHF flotasyonu ünitesi

Tane boyutunun küçültülmesi işlemi sonrasında en uygun basıncı belirlemek amacıyla %1 pülpte katı oranında (PKO), 106 µm tane boyutundaki

numuneye 700 mL hacimde hazırlanan süspansiyonlar 10-20-30-40-50-60-70 psi basınç altında ÇHF düzeneği ile flotasyona tabi tutulmuştur.

Optimum basınç değerinin belirlenmesiyle en uygun tane boyutunu belirlemek amacıyla %1 PKO da, 700 mL hacimde, 212, 150, 106, 38 µm boyutlarında numunelerle hazırlanan süspansiyonlar uygun basınç altında ÇHF düzeneği ile flotasyona tabi tutulmuşlardır.

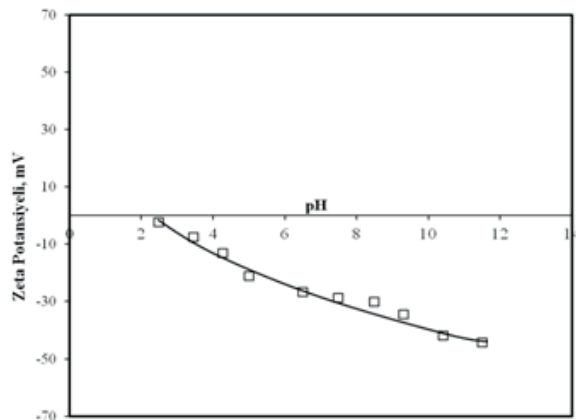
Optimum basınç ve tane boyutunun belirlenmesiyle kabarcık giriş hızını belirlemek amacıyla %1 PKO'da, 700 mL hacimde, uygun basınç ve tane boyutunda hazırlanan süspansiyonlar cihazın ayar vanası yardımıyla 4 farklı hızda ÇHF düzeneği ile flotasyona tabi tutulmuştur.

Talkın ÇHF tekniğinde çözünmüş iyonlar varlığında göstermiş olduğu yüzebilirlik değerlerinin belirlenmesi amacıyla %1 PKO'da olacak şekilde NaCl ve MgCl<sub>2</sub> ile 1.10<sup>-3</sup>, 1.10<sup>-2</sup>, 1.10<sup>-1</sup>, ve 1M konsantrasyonlarda gerçekleştirilmiş ve ÇHF düzeneği ile flotasyon gerçekleştirilmiştir. Flotasyon sonucunda yüzen ve batan ürünler ılık suyla 3 kez yıkanarak vakum yardımıyla filtreden geçirilmiş ardından etüve konularak kurumaya bırakılıp tartılmış ve % verim değerlerine ulaşılmıştır.

## 2. BULGULAR

### 2.1. Zeta Potansiyeli Ölçümleri

Talk mineralinin tuzlu su içerisindeki elektrokinetik davranışını ortaya koyabilmek amacıyla gerçekleştirilen zeta potansiyeli ölçümlerinde %0,1 pülp yoğunluğunda hazırlanan numuneler kullanılmıştır. Talkın pH'ya bağlı zeta potansiyel değişimi Şekil 4'de verilmiştir.

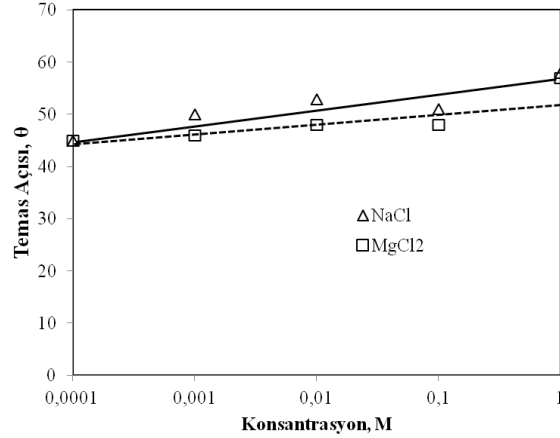


Şekil 4. pH'ya bağlı zeta potansiyel değişimi

Şekil 4'de görüldüğü gibi talk tüm pH değerlerinde negatif yüze yüküne sahiptir. Doğal pH'da ise -30 mV civarında zeta potansiyeline sahiptir.

### 2.2. Temas Açısı Ölçümleri

NaCl ve MgCl<sub>2</sub> konsantrasyonlarına bağlı temas açısı ölçümleri Şekil 5'de verilmiştir.

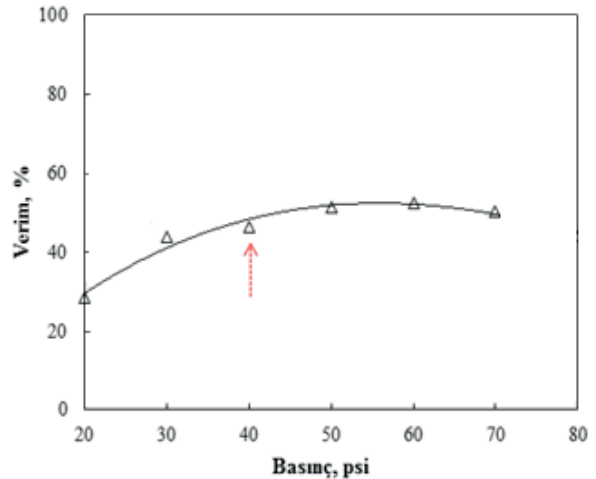


Şekil 5. Tuz konsantrasyonu-temas açısı ilişkisi

### 2.3. ÇHF Optimizasyon Deneyleri

#### 2.3.1. Optimum Basınç Deneyleri

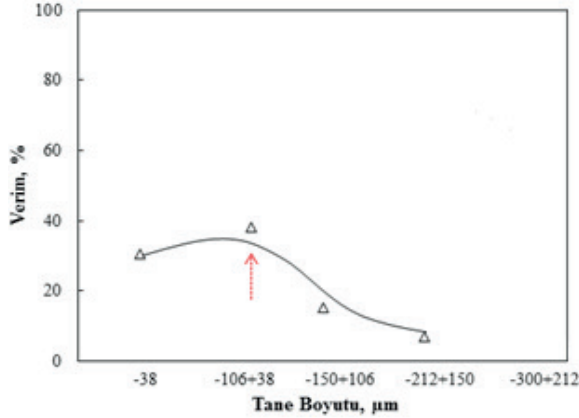
Optimum basıncın belirlenmesine yönelik yapılan deneyler Şekil 6'da verilmiştir. Sonuçlardan görüleceği üzere flotasyon verimleri 40 psi değerinden sonra sabit kalmıştır. Bu sonuçlar ışığında optimum basınç değeri sonraki deneyler için 40 psi olarak seçilmiştir.



Şekil 6. Optimum basınç deneyleri

### 2.3.2. Optimum Tane Boyutu Deneyleri

Optimum tane boyutunu belirlemek amacıyla farklı tane boyut gruplarında flotasyon deneyleri yapılmış olup sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir

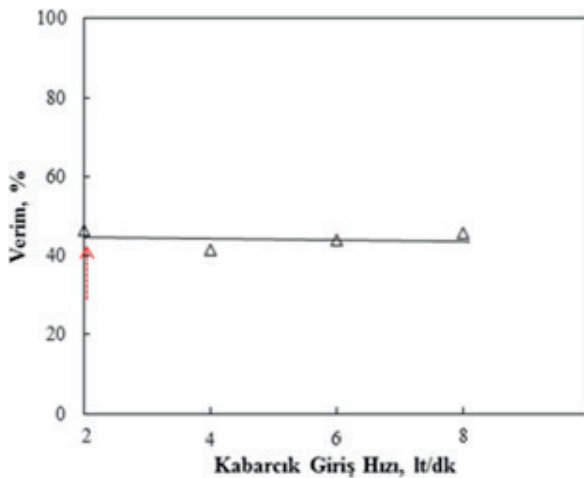


Şekil 7. Optimum tane boyut deneyleri

Şekil 7'de görüldüğü üzere en uygun tane boyut aralığı -1064 + 38 µm olarak belirlenmiştir.

### 2.3.3. Optimum Kabarcık Giriş Hızı Deneyleri

Optimum basınç ve boyut deneylerinde ulaşılan sonuçlar ışığında kabarcığın flotasyon ünitesine giriş hızını belirlemek için çeşitli deneyler yapılmıştır. Kabarcık giriş hızı deneyi sonuçları Şekil 8'de verilmiştir.

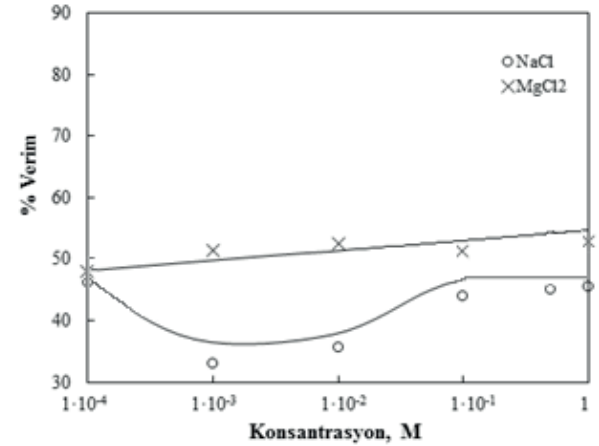


Şekil 8. Kabarcık giriş hızı deneyleri

Şekil 8'de görüldüğü üzere optimum kabarcık giriş hızı 1lt/dk olarak belirlenmiştir.

### 2.3.4. Çözünmüş İyonların Flotasyona Etkisi

Tuz çözeltilerine bağlı olarak yapılan çözünmüş hava flotasyonu çalışmaları tüvenan haldeki numuneler ile ve hiçbir flotasyon kimyasalı kullanılmadan gerçekleştirilmiş olup talk flotasyon sonuçları Şekil 9'da verilmiştir.



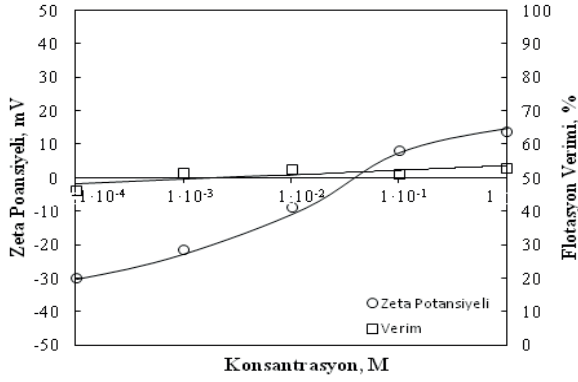
Şekil 9. Tuz konsantrasyonu-flotasyon verimi ilişkisi

Şekil 9'da görüldüğü gibi talkın CHF ile yüzdürülmesinde çift değerlikli Mg<sup>+2</sup> tuzları %14 verim artışı sağlarken tek değerlikli Na<sup>+</sup> tuzları etkili olamamıştır. Bu durumun talkın kristal yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Oldukça değişik bir kristal yapıya sahip olduğu bilinen talkın yüzeyleri hidrofobik, kenarları ise hidrofilik karakterlidir (Burdukova vd., 2006; Salopek vd., 1992; Nalaskowski vd., 2007).

Çift değerlikli tuzların iyonik etkisinin tek değerlikli tuzlara oranla çok daha fazla olması; talk tanesi ile hava kabarcığı arasındaki elektriksel çift tabakayı daha fazla bastırarak flotasyon veriminde ufakta olsa artışa neden olduğunu düşündürmektedir.

### 2.4 Tuz Tipinin Zeta Potansiyeline Etkisi

Deneyel çalışmalarda kullanılan Na<sup>+</sup> ve Mg<sup>+2</sup> tuzlarının konsantrasyonuna bağlı olarak talkın, zeta potansiyeli değişimleri Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 10'dan görüldüğü gibi artan tuz konsantrasyonuna bağlı olarak talk mineralinin zeta potansiyeli 0,01 M'dan itibaren taneler arasındaki itme kuvvetlerinin azalması nedeniyle stabil olmayan bölgeye geçişe neden olmuştur. Özellikle MgCl<sub>2</sub> tuzu zeta potansiyelini daha düşük konsantrasyonlarda etkilemeye başlamıştır.

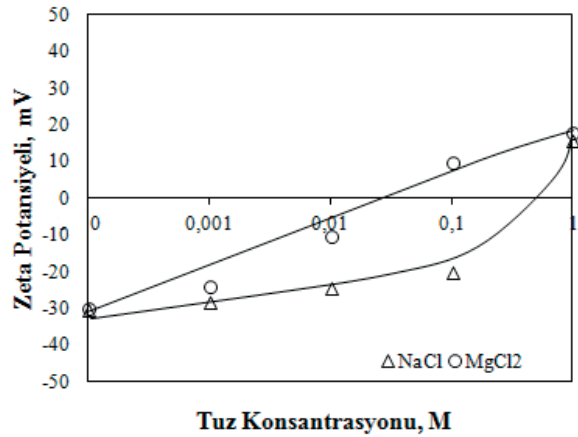


Şekil 10. Tuz tipi-zeta potansiyel ilişkisi

## 2.5. Zeta potansiyeli- Flotasyon Verimi İlişkisi

### 2.5.1. Na<sup>+</sup> İyonunun Etkisi

Şekil 11'de görüldüğü üzere NaCl tuzunun özellikle 0,1 M ve üzeri konsantrasyonlarda talkın zeta potansiyeli önemli oranda etkilenmekte ve stabil olmayan bölgeye geçiş gözlenmektedir. Bu bölgede flotasyon veriminin artması beklenirken değişim gözlenmemesinin daha öncede vurgulandığı gibi talkın kristal yapısından kaynaklandığını düşündürmektedir.

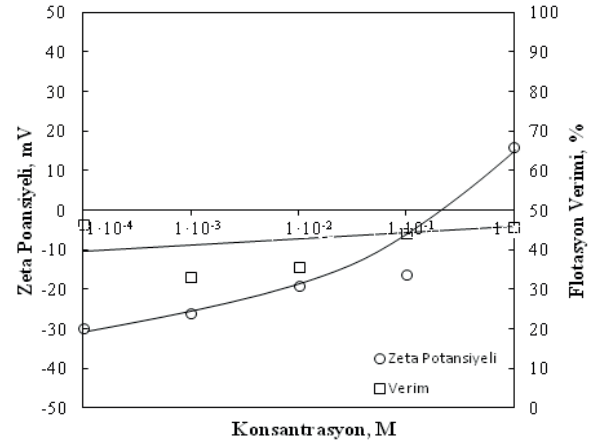


Şekil 11. Talkın NaCl tuzu konsantrasyonuna bağlı zeta potansiyel-flotasyon verimi ilişkisi

### 2.5.2. Mg<sup>+2</sup> İyonunun Etkisi

Şekil 12'den görüldüğü üzere Mg<sup>+2</sup> tuzunun tüm konsantrasyonlarında talkın zeta potansiyeli önemli oranda etkilenmekte ve stabil olmayan bölgeye geçiş gözlenmektedir. Bu bölgede flotasyon veriminin sadece %14 civarında artması Mg<sup>+2</sup> iyonunun elektriksel çift tabakayı kuvvetle bastırmasından kaynaklanmaktadır. Talk yüzeylerinde büyük bir elektriksel çift tabaka

itmesi ve zayıf vanderwaals çekmesi (DLVO ile uyumlu), kenarlarında ise hidrotasyona bağlı çok zayıf itme (non-DLVO ile uyumlu) kuvvetlerinin (Nalaskowski vd., 2007) varlığından dolayı olduğu bilinmektedir.



Şekil 12. Mg<sup>+2</sup> konsantrasyonuna bağlı zeta potansiyel-flotasyon verimi ilişkisi

## TARTIŞMA VE SONUÇ

Flotasyonda çözülmüş iyonların solüsyon ve ara yüzeylerini etkileyerek, özellikle yüksek konsantrasyondaki iyonların kabarcıklar ile taneler arasındaki koloidal etkileşimleri değiştirmesi sebebiyle minerallerin flotasyonunu önemli ölçüde etkilediği bilinmektedir (Özdemir, vd., 2009). Taşkömürlerinin tuzlu su içerisinde hiçbir flotasyon kimyasalı kullanılmadan yüzdüğü uzun yıllardan beri bilinmektedir. Bu durum kömürün hidrofobik özelliği ile açıklanabilmektedir. Taşkömürü doğal hidrofobik olduğu için tuzlu su içerisinde sadece kabarcık üretilmesi ile yüzebilmesi mümkün olmaktadır. Talk'ın da doğal hidrofobik minerallerden biri olması nedeniyle tuzlu su içerisinde yüzebilmesinin mümkün olacağı düşünülmüştür. Bu çalışmada çözülmüş iyonların etkisiyle çözülmüş hava flotasyonu tekniği kullanılarak talk'ın tuzlu sularda flotasyonu sonuçları incelenmiştir.

CHF deneylerinde uygulanacak optimum basınç 40 psi olarak belirlenmiştir. Optimum basınç değerinin belirlenmesi sonrasında en uygun tane boyutu ise -106+38 µm olarak belirlenmiştir. Optimum basınç ve boyut deneylerinde elde edilen sonuçlar ışığında kabarcığın flotasyon ünitesine giriş hızı ise 2 lt/dk hıza sahip 1. kademe vana açıklığı olarak belirlenmiştir.

Talkın tuz konsantrasyonuna bağlı olarak

gerçekleştirilen temas açısı ölçümleri değerlendirildiğinde literatürle (Laskowski ve Iskra, 1970) uyumlu şekilde belirgin bir değişim gözlenmediği görülmüştür.

Na<sup>+</sup> iyonunun CHF üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda tuz konsantrasyonu arttıkça verimin değişmediği gözlenmiştir. Mg<sup>+2</sup> iyonunun CHF üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan deneylerde ise tuz konsantrasyonu arttıkça flotasyon veriminin %14 arttığı görülmüştür.

Flotasyon verimi kabarcıkların stabilitesine bağlıdır. Flotasyonda kabarcıklar yüksek derecede hidrofobik oldukları için aralarındaki itme kuvvetleri zayıftır ve bu yüzden birleşirler. Yapılan deneylerde literatürle uyumlu biçimde (Marrucci ve Nicodemo, 1967; Yoon, 1982; Paulson ve Pugh, 1996; Özdemir, 2013) tuzlu sular içerisinde kabarcık birleşiminin tuz varlığı nedeniyle engellendiği ve tuzlu su ortamında yüksek sayıda ince boyutlu kabarcıkların üretilmesinin mümkün olduğu görülmüştür.

Talkın CHF ile yüzdürülmesinde çift değerlikli Mg<sup>+2</sup> tuzları verim artışı sağlarken, tek değerlikli Na<sup>+</sup> tuzları etkili olamamıştır. Bu durumun talkın kristal yapısının 3 tabakalı bir sulu magnezyum silikat olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çift değerlikli tuzların iyonik etkisinin tek değerlikli tuzlara oranla çok daha fazla olması talk tanesi ile hava kabarcığı arasındaki elektriksel çift tabakayı daha fazla bastırarak flotasyon veriminde ufakta olsa artışa neden olduğunu düşündürmektedir. Bu durum literatürle de uyumludur. Zira yüksek tuz konsantrasyonlarında ve özellikle Na<sup>+</sup> veya Mg<sup>+2</sup> gibi çözülmüş iyonların kabarcıkların ve tanelerin elektrokinetik davranışlarını etkiledikleri ve böylelikle hem tanenin hem de kabarcığın zeta potansiyel değerlerini düşürdükleri bilinmektedir. Bu durumda yüksek tuz konsantrasyonlarında elektriksel çift tabakanın (EÇT) bastırılması nedeniyle elektrostatik etkileşim zayıf olacaktır. Dolayısıyla da kabarcık tane etkileşimini sadece hidrofobik kuvvet belirleyecektir. Buna göre EÇT'nin bastırılması kabarcık tane yapışmasını kolaylaştıracak ve böylelikle flotasyon verimi de artacaktır (Özdemir, 2009).

Talkın zeta potansiyeli Na<sup>+</sup> tuzu varlığında özellikle 0,1 M ve üzeri konsantrasyonlarda önemli oranda etkilenmektedir ve bu bölgede flotasyon veriminin artması beklenirken değişim gözlenmemesinin talkın kristal yapısından kaynaklanabileceği

sonucunu düşündürmektedir. Mg<sup>+2</sup> tuzunda ise tüm konsantrasyonlarında talkın zeta potansiyeli önemli oranda etkilenmektedir ve bu bölgede flotasyon veriminin %14 oranında artması Mg<sup>+2</sup> iyonunun elektriksel çift tabakayı kuvvetle bastırmasından kaynaklanmaktadır. Genel anlamda bakıldığında ise tuz varlığında CHF'de talkın yüzebilirliğinin %14 arttığı ancak deneyler esnasında herhangi bir reaktif ve köpürtücü kullanılmadığı düşünüldüğünde CHF tekniğinin başarıyla uygulanabileceği görülmüştür.

CHF işlemi esnasında oluşan mikro kabarcıkların silikat formundaki talk yüzeyleriyle etkileşiminin düşük olduğu da düşünülebilir. Yalçın ve Byres, 2006 tarafından yapılan çalışmada mikro kabarcıkların kuvars yüzeyine tutunmadıkları ortaya konmuştur. Her ne kadar talk doğal hidrofob bir mineral olsa da kenarların hidrofilik karakteri ve mikrokabarcıklar nedeniyle yüzebilirliğin düşük kaldığı düşünülmektedir.

CHF tekniği özellikle ince boyutlu cevherlerin kazanımında (şlam kömürleri gibi) yararlı olabileceği düşünülen bir teknik olup yapılacak yeni çalışmalarla flotasyon işlemleri esnasında hava yerine başka gazların (argon, CO<sub>2</sub>, v.d.) denenmesi daha farklı ve olumlu yüzebilirlik sonuçlarının elde edilmesini sağlayabileceği göz ardı edilmemelidir. Genel olarak CHF deney sonuçları yorumlandığında, sonuçlar pahalı ve özel kimyasal bileşiklerin flotasyonda kullanılma gerekliliğinin ortadan kalkmasına ve/veya azalmasına dolayısıyla flotasyon tesislerinin işletim masraflarının büyük oranda düşmesine yol açacak ve ince boyutlu malzemelerin kazanımına olanak sağlanacaktır. Buna ek olarak reaktif kullanımının neden olabileceği olası çevre kirliliği sorunları da giderilmiş olacaktır. Bununla birlikte dünyada hızla tükenen temiz su kaynakları ve flotasyon tesislerinde tuz içeriği yüksek kuyu suyu kullanımı zorunluluğu da önemli bir husustur. CHF tekniğinin bu anlamda yakın gelecekte şlam kazanımı, kirlilik giderimi amaçlarıyla ön plana çıkma potansiyeli yüksektir.

En önemlisi bu çalışmadan elde edilen sonuçlar birçok sistemin tuzlu sular veya deniz suyu içerisinde çözülmüş hava flotasyonu davranışlarını anlamamıza da yardımcı olacaktır.

## KAYNAKLAR

Burdukova, E., Laskowski, J. S., Bradshaw, D. J., 2006. Surface Properties of Talc and Their



Effect on the Behaviour of Talc Suspensions. XXIII International Mineral Processing Congress (IMPC 2006), Istanbul, Turkey, 904-910.

Eckenfeders W. W., 2000. Industrial Water Pollution Control, Third Edition.

Edzwald J.K., 1995. Principles and Applications of Dissolved air Flotation, Water Science and Technology, 31 (3-4), 1-23.

Feris, L.A., De Leon, A.T., Santander, M., Rubio, J., 2004. Advances in the Adsorptive Particulate Flotation Process, International Journal of Mineral Processing.

Laskowski, J., Iskra, J., 1970. Role of Capillary Effects in Bubble-Particle Collision in Flotation, Inst. Mining Met., Trans., Sect. C, 79(March), C6-C10.

Marrucci, G., Nicodemo, L., 1967. Coalescence of Gas Bubbles in Aqueous Solutions of Inorganic Electrolytes, Chemical Engineering Science, 22(9), 1257-1265.

Nalaskowski, J., Abdul, B., Du, H., Miller, J.D., 2007. The Anisotropic Character of Talc Surfaces as Revealed By Streaming Potential Measurements, Atomic Force Microscopy, and Molecular Dynamics Simulations, Department of Metallurgical Engineering, University of Utah.

Newcombe, G., Dixon, D. (editors) 2006. Interface Science in Drinking Water Treatment, Dissolved

air Flotation in Drinking Water Treatment, Chapter 6, 89-107.

Özdemir, O., Taran, E., Hampton, M.A., Karakashev, S.I., Nguyen, A.V., 2009. Surface Chemistry Aspects of Coal Flotation in Bore Water, International Journal of Mineral Processing, 92(3-4), 177-183.

Özdemir, O., 2013. Specific Ion Effect of Chloride Salts on Collectorless Flotation of Coal, Physicochem, Probl. Miner. Process, 49(2), 511-524.

Paulson, O., Pugh, R.J., 1996. Flotation of Inherently Hydrophobic Particles in Aqueous Solutions of Inorganic Electrolytes, Langmuir; 12(20), 4808-4813.

Rykaart, E.M., Haarhoff J., 1995. Behaviour of Air Injection Nozzles In Dissolved Air Flotation. Water Science Technology, 31 (3-4), 25-35.

Salopek, B., Krasic, D., Filipovic, S., 1992. Measurement and Application of Zeta-Potential, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Pierottijeva 6.

Yalçın, T., Byers, A., 2006. Dissolved air Flotation in Mineral Processing. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 27: 87-97.

Yoon, R.H., 1982. Flotation of Coal Using Micro-Bubbles and Inorganic Salts, Mining Congress Journal, 6876-6780.



Orijinal Araştırma / Original Research

## ATIK SİYANÜR ÇÖZELTİLERİNDEN ANYONİK REÇİNELER İLE AĞIR METALLERİN ADSORPSİYONU

### ADSORPTION OF HEAVY METALS FROM WASTE CYANIDE SOLUTIONS WITH ANIONIC RESINS

Fırat Ahlatcı<sup>a,\*</sup>, Elif Yılmaz<sup>a,\*\*</sup>, Ersin Y. Yazıcı<sup>a,\*\*\*</sup>, Oktay Celep<sup>a,\*\*\*\*</sup>, Hacı Deveci<sup>a,\*\*\*\*\*</sup>

<sup>a</sup> Hydromet B&PM Araştırma Grubu, Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim Dalı, Maden Müh. Böl., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 61080, TÜRKİYE

**Geliş Tarihi / Received** : 16 Mayıs / May 2018  
**Kabul Tarihi / Accepted** : 19 Ağustos / August 2018

#### Anahtar Sözcükler:

Siyanür,  
Atık çözelti,  
Ağır metaller,  
Reçine,  
Adsorpsiyon.

#### ÖZ

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 ( $\geq 97$ ) ulaşmak için  $\geq 10$  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.

#### 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. Fifty seven percent of copper was adsorbed at 5 g/L resins. 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 ( $\geq 10$  g/L) appeared to be required to achieve high adsorption recoveries ( $\geq 97$ ) 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.

\* firatahlatci@ktu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-4751-4725>

\*\* elifkoc@ktu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-8789-0007>

\*\*\* eyazici@ktu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-8711-0784>

\*\*\*\* Sorumlu yazar: ocelep@ktu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-9024-4196>

\*\*\*\*\* hdeveci@ktu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0003-4105-0912>

## 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).

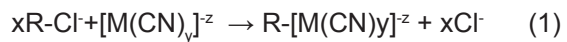
Siyanür liçi ile değerli metallerin (özellikle Au ve Ag) kazanımı tüm dünyada başarıyla uygulanan bir yöntemdir (Akcil vd., 2015). Değerli metal üretimi sonrasında ortaya çıkan atık çözeltinin, bir atık havuzuna deşarjından önce siyanür içeriğinin çevresel açıdan kabul edilebilir yasal sınırlara indirilmesi 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 ( $\text{Cu}(\text{CN})_3^{-2}$ ,  $\text{Zn}(\text{CN})_4^{-2}$ ,  $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$ ,  $\text{Ni}(\text{CN})_4^{-2}$ ,  $\text{Fe}(\text{CN})_6^{-4}$ ,  $\text{Hg}(\text{CN})_4^{-2}$ ,  $\text{Co}(\text{CN})_6^{-4}$  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 olabilmektedir (Barakat, 2011).

Atık çözeltilerdeki siyanür konsantrasyonunun düşürülmesi amacıyla bozundurma yöntemleri ( $\text{INCO SO}_2/\text{Hava}$  ve  $\text{H}_2\text{O}_2$  ile oksidasyon) kullanılmaktadır. Ancak siyanür bozundurma işlemleri hem ilave bir yatırım ve işletme maliyeti oluşturmakta hem de bozundurulmuş 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-resorption), 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 kullanılabilir. 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).

İyon değişimi yöntemi, reçinelerin yüksek kimyasal/mekanik duraylılığı ve yüksek kapasiteleri gibi avantajlara sahip olan siyanürün geri kazanımı için önemli bir alternatiftir (Zhang vd., 2015). Ağır metallerin atık siyanür çözeltilerinden uzaklaştırılması sonrasında elde edilen temiz atık çözeltisi tesis suyu olarak tekrar kullanılarak su ve kısmen siyanür tüketiminin azaltılması da yöntemin diğer bir avantajıdır. Siyanür çözeltilerinde bakır, çinko, nikel, demir gibi metaller siyanür ile kararlılığı yüksek kompleksler oluşturur (örn.;  $\text{Cu}(\text{CN})_3^{-2}$ ,  $\text{Zn}(\text{CN})_4^{-2}$ ,  $\text{Ni}(\text{CN})_4^{-2}$ ,  $\text{Fe}(\text{CN})_6^{-4}$ ). İyon değişimi esnasında metal siyanür komplekslerinin reçinelere adsorplanması aşağıdaki gibi gösterilebilir (Eşitlik 1) (Ok ve Jeon, 2014).



R: Reçine; x,y,z: atık çözelti içerisinde konsantrasyona veya 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 bu-

lunan 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.

## 1. MATERYAL VE METOT

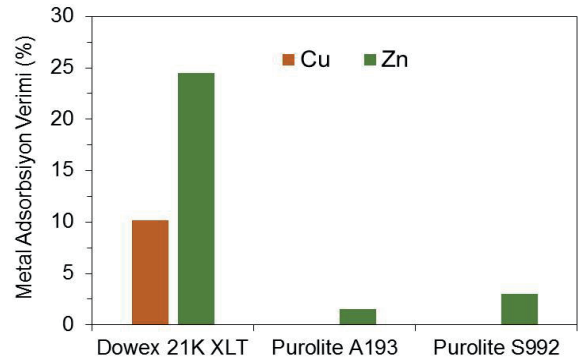
Çalışmada kullanılan atık siyanür çözeltisi 135 mg/L Cu, 196 mg/L Zn ve 5,3 mg/L Fe içermektedir. Çözeltinin serbest siyanür konsantrasyonu ise 1,5 g/L NaCN'dir. Atık çözeltilerden metallerin uzaklaştırılması için üç farklı anyonik reçine (Dowex 21K XLT, Purolite A193, Purolite S992) kullanılmıştır (Çizelge 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 flasklar içerisinde ve 100 mL atık siyanür çözeltisi ile gerçekleştirilmiştir. Çözelti metal konsantrasyonları Atomik Adsorpsiyon Spektrometresi (AAS, Perkin Elmer AAnalyst 400) ile belirlenmiştir. 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. 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 çözeltilerden 1, 2, 4, 8 ve 24 saat sonunda örnekler alınarak

Cu ve Zn konsantrasyonlarındaki değişimler takip edilmiştir. Fe konsantrasyonu sadece 24. saat sonunda belirlenmiştir.

## 2. BULGULAR VE TARTIŞMA

Reçinelerin performanslarının değerlendirildiği adsorpsiyon testleri sonucunda, Dowex 21K XLT ile 24 saatlik 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.



Şekil 1. Farklı anyonik reçinelerin bakır ve çinko adsorpsiyon 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)

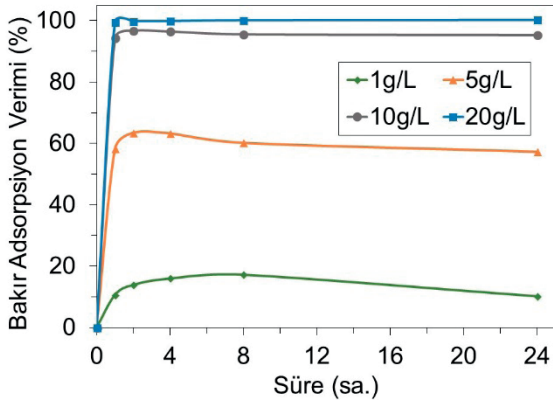
Literatürde kuvvetli bazik reçineler ile orta/zayıf bazik reçinelerin karşılaştırıldığı bazı çalışmalarda da benzer şekilde bakır ve çinko adsorpsiyonunun kuvvetli bazik reçinelerde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Schoeman vd., 2017; Ba-

Çizelge 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
Tane boyut aralığı	525-625 µm	800-1300 µm	800-1300 µm

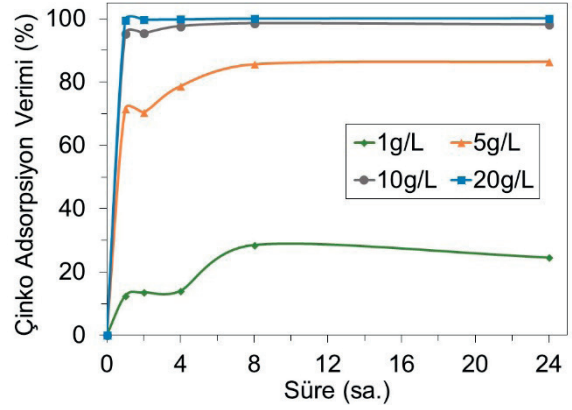
chiller vd., 2004; Fleming ve Cromberge, 1984). Adsorpsiyon testlerinde en iyi sonucun elde edildiği Dowex 21K XLT reçinesi ile 24 saatlik kinetik testler yapılmıştır. Reçine dozajındaki artışın (1 g/L-20 g/L) Cu, Zn ve Fe adsorpsiyon verimlerine doğrudan etkisi olduğu görülmektedir (Şekil 2, 3 ve 4). 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 artırılması 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 dozajının 20 g/L olması durumunda ise 1. saat sonunda bakırın tamamı çözültiden uzaklaştırılmıştır (Şekil 2).



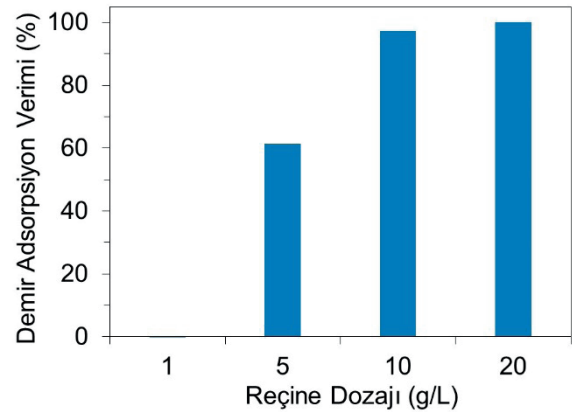
Şekil 2. Dowex 21K XLT reçine dozajının bakır adsorpsiyon verimine etkisi (Cu: 135 mg/L; Serbest siyanür: 1,5 g/L NaCN; pH 10,5)

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) çözültiden uzaklaştırıl-



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)

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 artırıldığında, çözültiden 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<sup>-</sup>) ile Dowex 21K XLT (dozaj 1g/L) reçinesini test etmiş ve 24. saat sonunda Cu, Zn ve Fe adsorpsiyon verimlerinin >%80 olduğunu tespit etmişlerdir.



Şekil 4. Dowex 21K XLT reçine dozajının demir adsorpsiyon verimine etkisi (Fe: 5,3 mg/L; Serbest siyanür: 1,5 g/L NaCN; pH 10,5)

## SONUÇLAR

Bu çalışmada atık siyanür çözeltilisinden 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 ( $\geq$ %95,4 Cu,  $\geq$ %98,2 Zn ve  $\geq$ %97,4 Fe) uzaklaştırılabildiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, atık siyanür çözeltilerinden ağır metallerin (Cu, Zn ve Fe) uzaklaştırılması için Dowex 21K XLT reçinesinin kullanılabilirliğini göstermiştir.

## TEŞEKKÜR

Deneysel çalışmalarda kullanılan Purolite A193 ve Purolite S992 reçinelerinin temin edildiği Purolite Firması'na teşekkür ederiz.

## AÇIKLAMALAR

Bu çalışma Uluslararası Madencilik ve Çevre Sempozyumu'nda (ISME 2017) sunulmuştur.

## 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, s. 3.

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- Aand 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 Atıkları 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, *International Journal of Mineral Processing*, 162, 27-35.

SGS, 2009. Cyanide Recovery, Technical Paper, No. T3 SGS 019, SGS Minerals Services.

USEPA, 1981. Control and Treatment Technology for The Metal Finishing Industry Ion Exchange, Summary Report, s. 46.

USEPA, 2000. Managing Cyanide in Metal Finishing, Capsule Report, s. 23.

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.



Teknik Not / Technical Note

## 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<sup>a,\*</sup>, Tuğçe Öngen<sup>a,\*\*</sup>, Mehmet Volkan Özdoğan<sup>a,\*\*\*</sup>, Hayati Yenice<sup>a,\*\*\*\*</sup>, Ahmet Hamdi Deliormanlı<sup>a,\*\*\*\*\*</sup>, Utku İkiz<sup>b,\*\*\*\*\*</sup>

<sup>a</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Pınartaş Madencilik San. ve Tic. Ltd. Şti., İzmir, TÜRKİYE

**Geliş Tarihi / Received** : 25 Mayıs / May 2018

**Kabul Tarihi / Accepted** : 27 Ağustos / August 2018

#### ÖZ

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

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.

#### ABSTRACT

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

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.

\* Sorumlu yazar: dogan.karakus@deu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-6134-1034>

\*\* tugce.ongen@deu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-9783-7330>

\*\*\* mehmet.ozdogan@deu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-6985-271X>

\*\*\*\* hayati.yenice@deu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-9376-5915>

\*\*\*\*\* ahmet.deliormanli@deu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-8064-0689>

\*\*\*\*\* utkuikiz@pinartas.com • <https://orcid.org/0000-0003-4801-6434>

Bu bildiri 2017 yılında düzenlenen Uluslararası Madencilik ve Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı'nda yayınlanmıştır. / This paper was published in the International Mining and Environment Symposium of Turkey held in 2017.

Bu makalenin tüm yayın hakları TMMOB Maden Mühendisleri Odası'na aittir © 2018 / Copyright © 2018 Published by UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey. All rights reserved.



## 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. Bunlardan 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 sistematikte yerleştirilerek ateşlenmesi ve açığa çıkan enerjinin kaya kütlesini parçalaması/kırması esasına dayanan patlatmalı kazı uygulamalarında genelleştirilmiş 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	Delik Boyu*	Delik Başına Patlayıcı Miktarı**	
	(mm)	(m)	(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 Madenciligi	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<sup>3</sup> 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 tassa-

rımı proje çevresindeki yapıların patlatma sonucu oluşacak titreşimden olumsuz etkilenmemesi gözetilerek gerçekleştirilmektedir. Bu bildiri şehir içi patlatmalı kazı çalışmalarında çevresel titreşim seviyesi limit değerlerine göre uygulanabilir patlatma tasarımı aşamaları tanıtılmıştır. Örnek olarak İzmir ili Bayraklı ilçesinin kuzeyinde gerçekleştirilecek olan Kent Hastanesi Projesi kapsamında yaklaşık 3.2 milyon metreküp kaya kazısının yapılmasına yönelik patlatma tasarımı aşamaları ve devam eden çevresel titreşim ölçüm çalışmaları değerlendirilmiştir.

## 1. PATLATMA KAYNAKLI ÇEVRESEL TİTREŞİM LİMİTLERİ

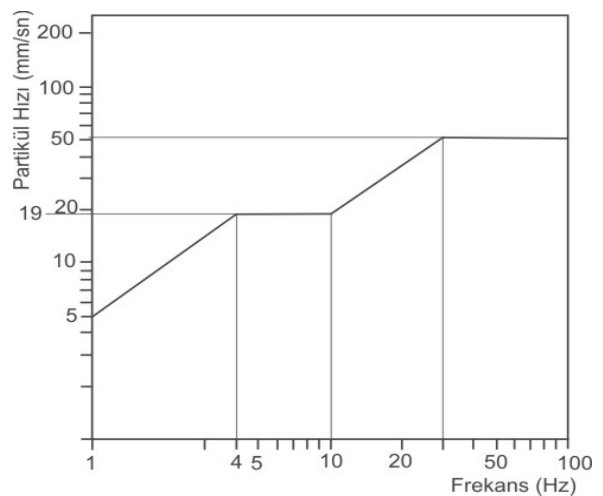
Patlatma işlemleri sonucu patlayıcı madde enerjisinin bir kısmı kayacı parçalamak için kullanılırken bir kısmı da kaya kütesinin içerisinde kaya kütle özelliklerine bağlı olarak titreşimler oluşturmaktadır. Diğer taraftan patlatmalar sonucu gürültü oluşumu, taş savrulması ve toz emisyonu da meydana gelmektedir. Patlatma işlemlerinin 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 etkilerinin ölçülmesi ve ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla literatürde çok sayıda farklı yaklaşımlar mevcuttur. Genel bir değerlendirmeye 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., 2015a) 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 sınırlarıdır. 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 yayımla-

narak 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 bulunan 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 yöntemle 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 tünelleri, 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 standart bir limit değer öngörülmesi oldukça zordur (Öngen vd., 2015b).

### 1.1. 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 karmaşıktır. 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.

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.

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

Önerilen Çalışma	Eşitlik
USBM (Duvall ve Fogelson, 1962)	$ppv = K \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-\beta}$
Langefors ve Kihlström (1978)	$ppv = K \left( \frac{W}{\sqrt{R^3}} \right)^{\beta}$
Ghosh ve Daemen (1983)	$ppv = K \left( \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \right)^{\beta} e^{-\alpha R}$
Davies ve ark (1964)	$ppv = K * R^{\alpha} * W^{\beta}$
Birch ve Schaffer (1983)	
Gupta ve ark (1987)	$ppv = K \left( \frac{W}{\sqrt{R^3}} \right)^{\beta} e^{-\alpha R}$
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)

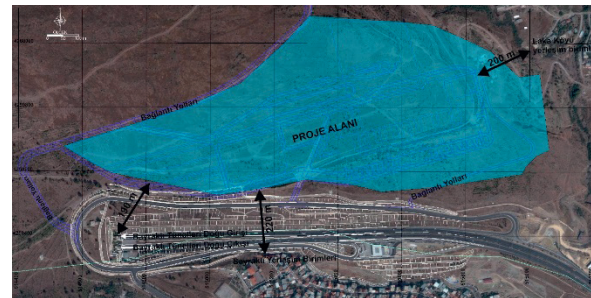
K, n,  $\beta$ ,  $\alpha$  : saha sabitleri

## 2. ÇEVRESEL TİTREŞİM SEVİYESİNE GÖRE PATLATMA TASARIMI UYGULAMA ÇALIŞMASI

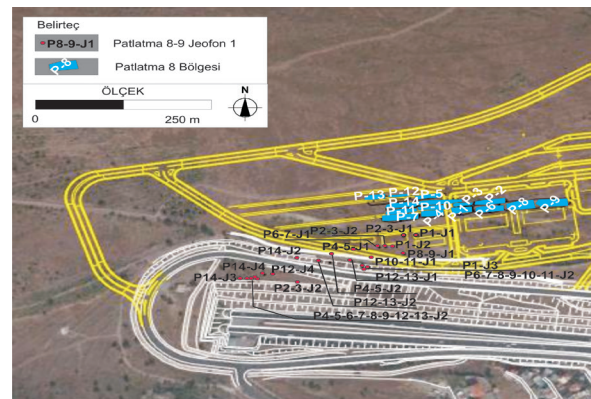
Bu çalışmada İzmir İli Bayraklı İlçesinde gerçekleştirilecek Kent Hastanesi projesi patlatmalı kazı çalışmalarının neden olacağı titreşim seviyelerinden, proje alanının yakınındaki Bayraklı Çevre Yolu Tünelleri yeraltı yapısının etkilenmesi için geliştirilen patlatma tasarımı değerlendirilmiştir. Proje alanı konumu ve Bayraklı çevre yolu tünellerinin konumu Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2'de verilen proje alanı içerisinde 260m ile 150m kotları arasında kademeli olarak alan düzeltilmesi 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).

Bu ana gruplardan en fazla kazısı yapılacak jeolojik birim Andezit-Dasit karakterindeki volkanik ürün ve türevlerini içerirler ve dayanımları itibarıyla 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 vermeyecek 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 verilmektedir.

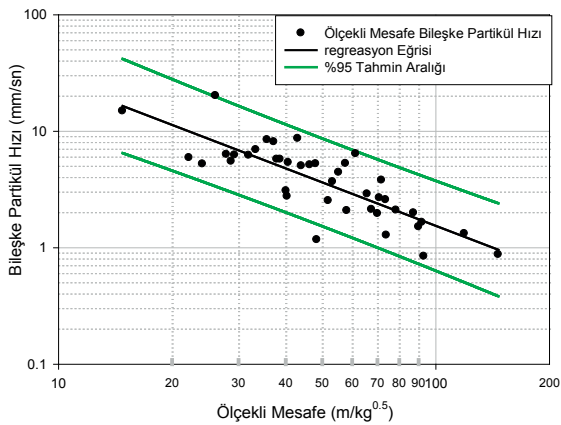


Şekil 2. Proje alanının ve çevresinin uydur görüntüsü (Karakuş vd., 2016)



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 sönmüldüğünün karakterize edilmesi amaçlanmıştır. Sönümlenme mesafesinin belirlenebilmesi patlatma yapılan bölge ile riskli yönde değişik patlayıcı miktarı ve mesafelerde titreşim ölçümleri alınarak arazi ( $K$ ) ve sönmümlenme ( $\beta$ ) 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 sönmümlenme katsayıları  $K = 464,5$  ;

$\beta = 1,24$  olarak  $R^2=0,673$  regresyon katsayısı ile belirlenmiştir. Elde edilen katsayılar verilen USBM (Duvall ve Fogelson, 1962) eşitliğinde kullanıldığında aşağıdaki gibi ifade edilir (Eşitlik 1).

$$BPH = 464,5 \left( \frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,24} \dots\dots\dots (1)$$

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

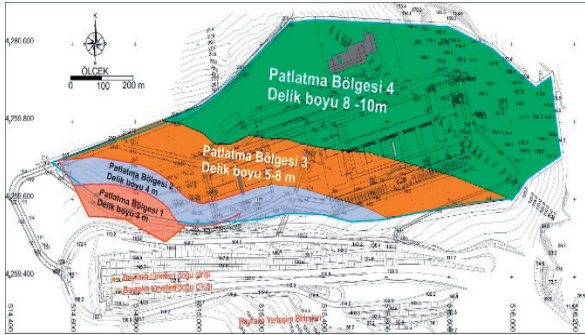
kaynaklanan titreşimler için sınır değerler frekans değerlerine bağlı olarak ele alınmıştır ve farklı frekans değerlerine göre farklı sınır partikül hızları bulunmaktadır (Çizelge 1). Yapılan bu çalışmada ise Proje alanı sınırından yaklaşık 190 m mesafede bulunan Bayraklı Çevre Yolu Tünellerine etkisi de değerlendirilmiştir. Yapılan araştırma patlatmalarında elde edilen ölçekli mesafe-bileşke partikül hızı ilişkisi kullanılarak patlatmalar sonucu oluşacak titreşim seviyesinin sönmümlenme 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

de yapılacak patlatmalarda 2 mm/sn değeri baz alınarak titreşim ölçümleri sonucu elde edilen matematiksel model kullanılarak mesafelere göre anlık patlayıcı miktarları belirlenmiştir. Patlatma Bölgesi 1, 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.

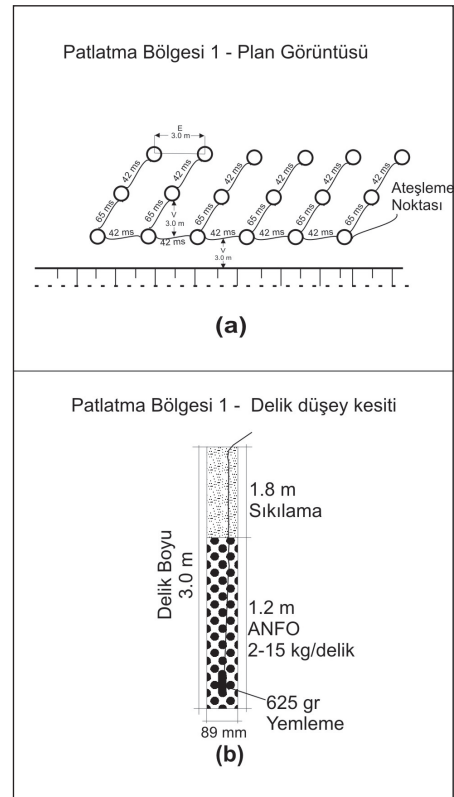


Şekil 5. Proje alanında patlatmalı kazı çalışmalarında uygulanacak delik boylarına göre belirlenmiş bölgelerin sınırları (Karakuş vd., 2016)

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 tasarımı 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 tasarımı parametreleri Çizelge 5'de, patlatma geometrisi plan görüntüsü Şekil 6'da verilmiştir.

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)

Proje alanında çevresel titreşim limit değerine göre oluşturulan patlatma tasarımları göz önünde bulundurularak kazı çalışmaları başlamış ve mevcut durumda Projedeki kazı miktarının %82'si tamamlanmıştır. Patlatma tasarımlarında limit titreşim seviyesinin aşılmasının takibi amacıyla proje süresince rastgele 64 patlatmadan 106 titreşim ölçümü gerçekleştirilmiştir. Takip patlatmaları 4 farklı böl-

gedede yapılmış olup Bayraklı Çevre Yolu tünelleri yönünde çevresel titreşim seviyesi limit değerinin üstünde titreşim ölçümü alınmamıştır.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

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 birisi 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 sönmelenme 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 konuları tanımlanmıştır. Proje alanında titreşim yayılma karakteristiğinin 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 artırılarak 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, s. 295.
- 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., s.19.
- Indian Standard Institute. Criteria for Safety and Design of Structures Subjected to Underground Blast. ISI Bull 1973;IS-6922.
- Innocenti, F., 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, 152-161.
- Koca, M, Y., Türk, N., 1994. Ayrışmanın Andezitlerin Petrografik, Kimyasal ve Jeomekanik Özelliklerine Etkisi. 47. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 382-392.
- Langefors, U., Kihlstrom, B., 1978. The Modern Technique of Rock Blasting, 3rd ed. Halsted Press, a Division of John Wiley & Sons, Inc., New York, s. 438.
- Öngen T., Karakuş D., Gönen A., Turan G.,2015a. Hammadde Ocaklarında Patlatmalı Kazı Çalışmaları Sonucu Oluşan Çevresel Titreşimlerin İki Farklı Tahmin Modeli ile Değerlendirilmesi-Örnek Çalışma, 9. Uluslararası Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 623-636.
- Öngen, T., Pamukçu, Ç., Özdoğan, M.V., Deliormanlı, A.H., Kaakuş, D., 2015b. Patlatmalı Kazı Çalışmaları Sonucu Oluşan Çevresel Titreşimlerin Yeraltı Yapılarına Etkisinin Değerlendirilmesi-Örnek Çalışma, 24th International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Antalya, 493-503.



Teknik Not / Technical Note

## 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<sup>a,\*</sup>, Hürriyet Akdaş<sup>a,\*\*</sup>

<sup>a</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, TÜRKİYE

**Geliş Tarihi / Received** : 21 Mayıs / May 2018  
**Kabul Tarihi / Accepted** : 16 Ağustos / August 2018

### ÖZ

**Anahtar Sözcükler:**  
Manyezit,  
Açık işletme,  
Harman düzenleme,  
Ağaçlandırma,  
Doğaya yeniden kazandırma.

Bu çalışma, 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.

### ABSTRACT

**Keywords:**  
Magnesite,  
Open pit,  
Casting arrangement,  
Planting,  
Rehabilitation to nature.

This study 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.

\* Sorumlu yazar: ecekundak@gmail.com \* <https://orcid.org/0000-0001-5491-7058>

\*\* [hakdas@ogu.edu.tr](mailto:hakdas@ogu.edu.tr) \* <https://orcid.org/0000-0002-8416-1228>

Bu bildiri 2017 yılında düzenlenen Uluslararası Madencilik ve Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı'nda yayınlanmıştır. / This paper was published in the International Mining and Environment Symposium of Turkey held in 2017.

Bu makalenin tüm yayın hakları TMMOB Maden Mühendisleri Odası'na aittir © 2018 / Copyright © 2018 Published by UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey. All rights reserved.



## 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, Erzinan, 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 kayalar 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, Çanakçıran I ve Çanakçıran II'dir. Bu sahalardan Tutluca ve Koçbal işletme tarafından işletilirken; Kömürlük, Çanakçıran I ve Çanakçıran 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 çalışmanın özünü oluşturmaktadır.

## 1. 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 kayalık serpantin oluşmaktadır. İçeriğinde CaO bulunduran hidrotermal suların serpantin kütlelerinin 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. Foto 1, yeryüzünden itibaren ilk iki-üç kademedan alınan bir görüntü olup; blok ve ağsı tip yataklanmaların tipik bir örneğidir. Bu görüntüde beyaz renkli damar ve damarcıklar manyezit oluşumlarını, gri tonlu ve koyu renkli kısımlar ise serpantini göstermektedir.



Foto 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 m, Kuzey-Güney yönünde genişliği ise 585 m olup, üretim faaliyetleri devam etmektedir (Yılmaz, 2017) (Foto 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 m genişliğinde olan kademelerden yapılmaktadır. Kademelerin şev açısı maksimum  $70^{\circ}$ - $75^{\circ}$ 'dir. Açık işletme genel şev açısı, formasyonların durumuna göre değişik olsa da yaklaşık  $40^{\circ}$ 'dir.



Foto 2. Tutluca manyezit açık işletmesinden Batı yönünde bir görüntü



Foto 3. Tutluca manyezit açık işletmesinden Doğu yönünde bir görüntü

Kademelerde genel olarak delikler şebşeb 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 kayalar ya da cevher içeren serpantinli kayalar 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 elemelerden 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 flatsyon yöntemleri ile 1 mm altı manyezit elde edilse de mevcut şartlarda ekonomik olmamaktadır.

## 2. DÖKÜM ALANLARININ DÜZENLENMESİ VE AĞAÇLANDIRMA ÇALIŞMALARI

### 2.1. 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 m ve şev açıları da 30°-35° arasında olacak şekilde düzenlenir. Ağaştırılacak 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 ağaştırma amaçlı olarak stoklanan toprak örtüsü, ağaştırılacak olan harmanın üstüne 70-100 cm kalınlıkta serilmektedir.

### 2.2. Doğaya Yeniden Kazandırma ve Ağaştırma 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 gerçekleştirilmiştir. Sadece harman sahalarının ağaştırılması değil, aynı zamanda MAŞ'nin ana giriş yolu çevresi başta olmak üzere, ruhsat alanı içinde madencilik yapılmayan alanlarda da çalışmalar yapılmıştır (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 ağaştırılmıştır. 1994 yılından 2017 yılına kadar 43 farklı bölge planlı ve programlı ağaştırılmıştır. Bu ağaştırılan bölgelerin yaklaşık %75'i harman sahalarında, %18'i yol kenarlarında ve %7'si ise işletmeye 2 km mesafedeki Nemli Köyü içinde ve etrafında ger-

çekleştirilmiştir (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 gerçekleştirilmesi için her iki-üç sıradan sonra 6 m genişliğinde bir yol için bırakılmaktadır (Yılmaz, 2017).

### 2.3. 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 (Foto 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 (Foto 5). Bayrama katılan gruplar istediği sayıda fidan dikişmekte, 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. Foto 6 ve Foto 7'de ağaç dikimi ve can suyunun verilmesi gösterilmektedir.



Foto 4. 2016 yılında ağaçlandırma bayramı için harman önündeki afişler



Foto 5. Ağaçlandırma bayramında hazır bulundurulmuş sulama tankerleri ve iş makinesi



Foto 6. Ağaç dikimi yapan Maden Müh. Böl. öğrencileri



Foto 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 182.500'ün üzerinde fidan dikimi yapılmış olup, %99'un üzerinde başarı sağlandığı ifade edilmektedir (Yılmaz, 2017).



Foto 8. Ağaçlandırma alanını belirten bir tabeladan örnek



Foto 9. Ağaçlandırma yapılmış harmanların drondan alınan görüntüleri

Her ağaç dikilen bölüme ya da harmana Foto 8'de görüldüğü gibi, yılı ve numarası belirtilen bir tabe-la konulmaktadır. Bu güne kadar harmanlara ve diğer alanlara dikilen ağaçların cinsleri, sayıları ve yılları toplu halde Çizelge 1'de verilmektedir. Foto 9 ve Foto 10'da Tutluca açık işletmesi etrafındaki ağaçlandırılmış harmanların görüntüleri verilmektedir. Ayrıca MAŞ, ilave olarak 2009, 2010 ve 2016 yıllarında Beylikova sahasında 15.000 ve Kömürlük sahasında da 1.650 adet çeşitli türlerde fidan dikimi de gerçekleştirmiştir.



Foto 10. Daha önceki yıllarda ağaçlandırılmış harmanlardan bir görüntü

#### 2.4. 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 (Foto 11). Bir harman sahasının bakımı ve sulaması MAŞ tarafından 5 yıl süreyle yapılmakta ve sonrasında Orman Bölge Müdürlüğü'ne teslim edilmektedir.



Foto 11. Doğaya yeniden kazandırma için bakım ekibi ve çapalama faaliyeti

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 yo-

ğunlaşması 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, 2011-2012 yıllarında 72.400 adet 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	4.250
2	1995	idari bina	çam, elma, kavak	750
3	2004	harman	akasya, badem, mahlep, sarısalkım	6.000
4	2005	baraj pompa	çam, meşe	2.000
5	2006	yol kenarı	akasya, badem, mahlep, sarısalkım, at kestanesi	3.800
6	2007	harman	çam	5.000
7	2007	nemli yolu	çam, akasya, badem, mahlep, sarısalkım, sofora, iğde, akçaağaç, aylantus, at kestanesi	4.000
8	2007	köy yolu	bodur çam, sedir	4.000
9	2008	köy yolu	çam, sedir	4.000
10	2008	harman	çam, sedir, dişbudak, akçaağaç, alıç, mahlep, meşe, erik, kırlangıç	2.170
11	2008	yol kenarı	çam	2.500
12	2008	harman	çam	2.500
13	2008	kalker üstü	çam	2.500
14	2009	harman	çam, sedir	4.000
15	2009	harman	çam	1.700
16	2009	harman	çam,akasya, badem, mahlep, sarısalkım, dişbudak	2.500
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, dişbudak	3.700
21	2009	yol kenarı	çam, akasya, badem, mahlep, sarısalkım, dişbudak	1.800
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	1.000
27	2010	harman	çam, sedir, dişbudak, akçaağaç, alıç, mahlep, meşe, erik, kırlangıç	1.000
28	2010	harman	çam, sedir, dişbudak, akçaağaç, alıç, mahlep, meşe, erik, kırlangıç	1.350
29	2010	yol kenarı	çam, sedir, dişbudak, akçaağaç, alıç, mahlep, meşe, erik, kırlangıç	2.000
30	2011	harman	çam, sedir, dişbudak, akçaağaç, alıç, mahlep, meşe, kırlangıç, selvi	750
31	2011	harman	karaçam	200
32	2011	harman	karaçam	2.000
33	2011	harman	karaçam	300
34	2011	kantar önü	karaçam	200
	2011	yamaçlar	badem çekirdeği	72.400

35	2012	hurdalık altı	çam, sedir, dişbudak, akçaağaç, alıç, mahlep, sarısalkım	3.500
36	2013	harman	çam, sedir, mahlep, akasya	1.200
37	2013	yol kenarı	karaçam, sedir, mahlep, sarısalkım, akasya, ıhlamur, ardıç, dağ muşmulası, kadın tuzluğu	3.300
38	2013	harman	karaçam, sedir, mahlep, sarısalkım, akasya, ıhlamur, ardıç, dağ muşmulası, kadın tuzluğu	1.170
39	2013	harman	karaçam, sedir, mahlep, sarısalkım, akasya, ıhlamur, ardıç, dağ muşmulası, kadın tuzluğu	760
40	2014	harman	karaçam, sedir, mahlep, ıhlamur	1.500
41	2014	harman	karaçam, sedir, mahlep, ıhlamur	1.500
42	2015	harman	karaçam, sedir, mahlep, ıhlamur, yalancı akasya	5.500
43	2016	harman	karaçam, sedir, mahlep, ıhlamur, yalancı akasya, iğde, dağ muşmulası, zerdali	6.000
<b>TOPLAM (adet)</b>				<b>166.000</b>

## 2.5.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 (Foto 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 (Foto 13 ve Foto 14).



Foto 12. Önceki yıllarda dikilerek, gelişmiş olan akasyalar ve yerde otların gelişimi



Foto 13. Ağaçlandırılan bir harmanda otlar arasında kuş yuvası ve yumurtaları



Foto 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 (Foto 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 (Foto 16). Gerektiği zamanlarda avcılar personel tarafından uyarılmakta, gerekirse jandarmadan destek istenmektedir.



Foto 15. Yabani hayvanlar su ihtiyaçları için düşünülen harman üzerinde bir çukur



Foto 16. Ağaçlandırılmış bir alanda avlanmaya karşı uyarı tabelası

## 2.6. 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 (Foto 17).



Foto 17. Harman üzerinde oluşturulmuş hobi bahçesi

## SONUÇLAR 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.

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 sevmeye, 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

Bu çalışmanın hazırlanmasında katkılarından dolayı MAŞ Genel Müdürü Ekrem BULUR'a, MAŞ Maden İşletmeler şefi Maden Mühendisi Haydar YILMAZ'a ve MAŞ personeline, ayrıca Eskişehir Orman İşletme Müdürü Akın AKMAN'a teşekkür ederiz.



## KAYNAKLAR

Akman, A., Mayıs 2017. Kişisel Görüşme.

Bilir, K. ve Akdaş H., 2012. Evaluation of Magnetite Wastes Using Optical Sorting Machine, Proceedings of the XIII. International Mineral Processing Symposium, Bodrum, 1017 pg.

Bulur, E., 2017. Kişisel Görüşme.

MTA, Türkiye Manyezit Envanteri, 2011. MTA Envanter Serisi – 203, 61s.

Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2001. Ma-

dencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Toprak Sanayii Hammaddeleri II (Rekrakter Killer ve Şiferton-Manyezit-Dolomit-Olivin-Zirkon-Disten-Silimanit-Andaluzit) Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 107s.

TİM (Türkiye İhracatçıları 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.



Teknik Not / Technical Note

## TUNÇBİLEK KÖMÜR YIKAMA TESİSİNDE BAZI FİZİKSEL ÇEVRE ETKENLERİNİN ARAŞTIRILMASI

### INVESTIGATION OF SOME PHYSICAL ENVIRONMENTAL FACTORS FOR TUNÇBİLEK COAL WASHERY

Ali Uçar<sup>a,\*</sup>, Cem Şensöğüt<sup>a,\*\*</sup>, İ.Göktay Ediz<sup>a,\*\*\*</sup>

<sup>a</sup> Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, TÜRKİYE

**Geliş Tarihi / Received** : 26 Mayıs / May 2018  
**Kabul Tarihi / Accepted** : 01 Ağustos / August 2018

#### ÖZ

#### Anahtar Sözcükler:

Kömür,  
 Tunçbilek kömür hazırlama tesisi,  
 Fiziksel risk etmenleri,  
 Gürültü,  
 Toz,  
 Titreşim.

Kömür, enerji kaynağı olarak, sanayilerde önemli hamlelerin atılmasına katkı sağlamış fakat kontrolsüz ve iyileştirilmeden kullanıldığı için de önemli çevresel olumsuzlukların yaşanmasına neden olmuştur. Kömür üretimi ve tüketimi sırasında her aşamada olumsuz çevresel etkiler oluşmaktadır. Fakat dünyanın birçok bölgesinde bulunması, güvenilir olması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının yetersiz kalması nedenleri ile birçok ülke için kömür hala vazgeçilmez bir enerji kaynağı konumunda bulunmakta ve kullanımı da giderek artmaktadır. 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 alınmasına rağmen 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.

#### ABSTRACT

#### Keywords:

Coal,  
 Tunçbilek coal washery,  
 Physical risk factors,  
 Noise,  
 Dust,  
 Vibration.

As a source of energy, coal has contributed to the proliferation of significant moves in the industry, but has also led to significant environmental disadvantages as it has been used uncontrolled and improperly. Negative environmental effects occur at each stage during coal production and consumption. But coal is still an indispensable source of energy and its use is increasing for many countries because of its location in many parts of the world, reliability and inadequate renewable energy resources. If technological precautions are taken during production and clean coal technologies during consumption, damage to the environment can be minimized. Significant environmental problems arise in the process of production and preparation of coals, which are vital for Turkey in solving the energy problem. Although some environmental measures are taken against these problems, they may sometimes be insufficient. In this study, the environmental factors such as dust, vibration and noise which are not adequately emphasized but which are important environmental factors and affect more on production, environment and employees have been studied in Tunçbilek coal preparation plant of the Western Lignite Corporation (WLC), together with the identified problems and proposed solutions

\* ali.ucar@dpu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-5220-8829>

\*\* Sorumlu yazar: cem.sensogut@dpu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-9192-8813>

\*\*\* goktay.ediz@dpu.edu.tr

Bu bildiri 2017 yılında düzenlenen Uluslararası Madencilik ve Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı'nda yayınlanmıştır. / This paper was published in the International Mining and Environment Symposium of Turkey held in 2017.

Bu makalenin tüm yayın hakları TMMOB Maden Mühendisleri Odası'na aittir © 2018 / Copyright © 2018 Published by UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey. All rights reserved.

## GİRİŞ

Kömür, değişen miktarlarda mineral madde içerikli ve farklı tiplerde oluşmuş çok heterojen bir enerji hammaddesidir. Günümüzde yaşanan enerji darboğazı ve savaşları, yüksek güvenilirliği, 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 karşılaşmaktadır. 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, parçacık 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 artırılması 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).

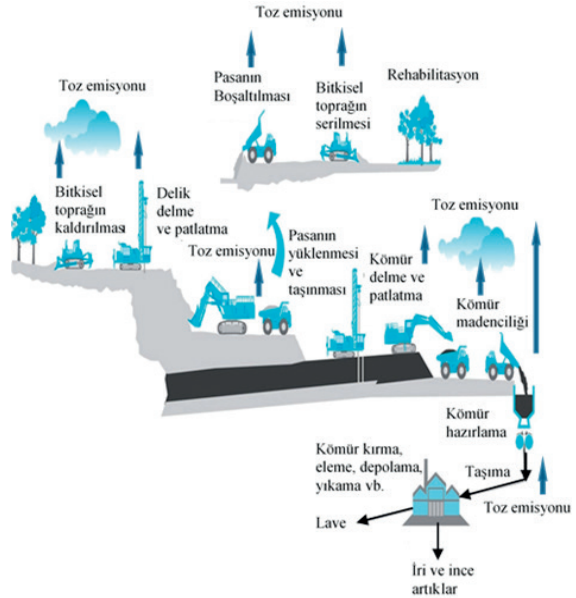
Doğal olarak kömür ocağında ve zenginleştirme tesisinde üretim sırasında çevreye bazı olumsuz etkilerin olması normaldir. Bu çevresel etkiler ocağın içinde ve tesislerde kömürün belirli noktalara nakledilmesi, patlatma yapılması, yükleme ve

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 etkilere sahiptir.

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 susuzlaştırma (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)

## 1. TUNÇBİLEK KÖMÜR HAZIRLAMA TESİSİ

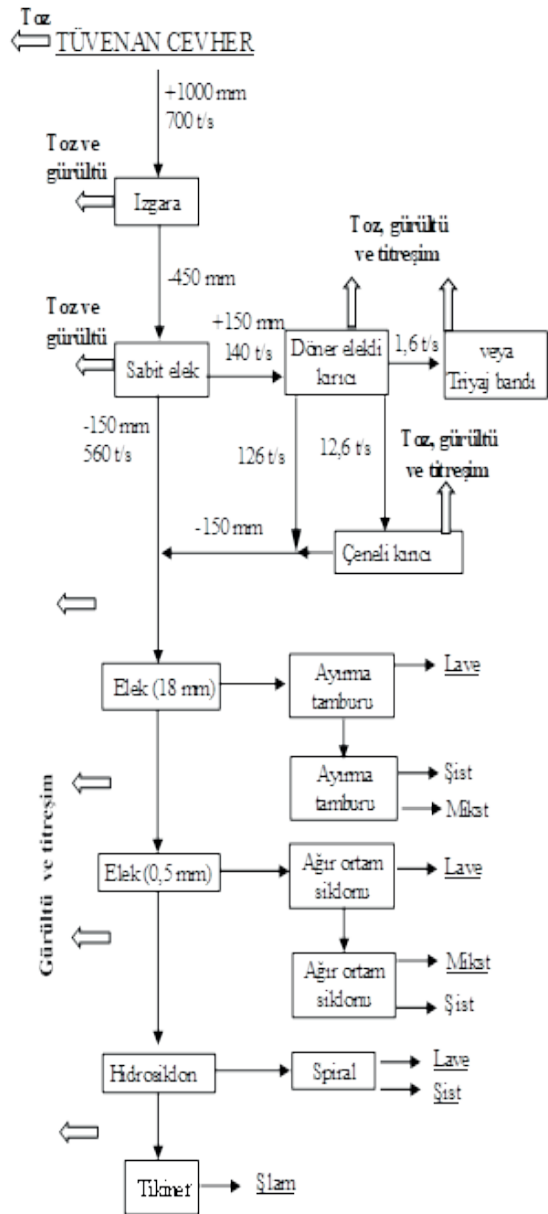
Tesiste yeraltı ve açık ocaklardan çıkartılan ve kül oranları yüksek olan 1000 mm boyutunun altındaki tüvenan kömürler 350 ton/saat kapasiteli iki gruptan oluşan ve toplam 700 ton/saat kapasitesi bulunan kömür hazırlama tesisinde 150 mm boyut altında zenginleştirmeye tabi tutulmaktadır. Böylece tüvenan kömür piyasanın talep ettiği tane boyutu, rutubet, kül ve kalori değerlerinde temiz ürünlere dönüştürülmektedir.

Tunçbilek kömür hazırlama tesisinde aşağıdaki 5 devre bulunmaktadır.

1. Tüvenan Kömür Besleme
2. İri Kömür Devresi (2x200 ton/saat)
3. İnce Kömür Devresi (300 ton/saat)
4. Spiral Devresi
5. Şlam devresi

Açık işletmeden ve yeraltından kamyonlarla gelen 0-1000 mm tüvenan kömür tumbadaki 450\*450 mm sabit ızgaralar üzerine dökülür. Izzaradan 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/saat 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).



Şekil 2. Tunçbilek kömür hazırlama tesisi basit akım şeması ve bazı fiziksel faktörleri

## 1.1. İri Kömür Devresi

Başlıca iki kısımdan oluşur.

1. Ağır ortam tambur devresi, (18-150 mm) 2\*200 ton/ saat kapasiteli olup, 1968 yılında kurulmuştur. Zenginleştirme işlemi 3200\*3600 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 3800\*4200 mm ölçülerine sahip bir adet Wemco ağır ortam ayırma tamburu ile yapılmaktadır.

## 1.2. İnce Kömür Devresi

Başlıca üç kısımdan oluşur.

1. Ağır ortam siklon devresi, 300 ton/saat kapasiteli olup 0,5-18 mm tüvenan kömürleri zenginleştirir.
2. Ağır ortam 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.

## 2. TUNÇBİLEK KÖMÜR HAZIRLAMA TESİSİ TOZ, GÜRÜLTÜ VE TİTREŞİM FAKTÖRLERİ

Tesiste toz sorunu cevherin kuru olarak işlem görüdüğü aşamalarda bulunurken, titreşim ve gürültü sorunu hemen hemen tüm aşamalarda bulunmaktadır.

### 2.1 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<sup>3</sup>'ün çok altındadır. Çünkü ölçüm alınan yerler tozdan izole edilmiş olan yerlerdir. Hâlbuki 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.

Çizelge 1. Kömür hazırlama tesisinde alınan toz ölçüm sonuçları (Şensöğüt, 2016)

Ölçüm alınan yer	Maruziyet süresi (saat)	Toz ölçümü TWA (mg/m <sup>3</sup> )
Besleme kontrol tablo	8	0,20
İri kömür kontrol tablo	8	0,75
İri kömür tüvenan çalışan odası	8	0,15

İşletme aşamasında tozuma karşı herhangi bir önlem alınmadan çalışıldığında, oluşacak

maksimum toz miktarı 48,21 kg/saat olup, "Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği"nde verilen limit değer (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 olduğu yerde izole/tecrit edilmeli örneğin toz sızdırmaz oda içerisine montajı yapılmalıdır.

$$Q(\text{Kaynak}) = \text{Kapasite}(t/h) \times \text{Emisyon faktörü}(kg/t) \quad (1)$$

Çizelge 2. Tesisin çalışması sonucunda birimlerde oluşacak toz miktarları

Toz kaynakları	Kapasite (ton/saat)	Emisyon Faktörleri (kg/ton)		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

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.

Mücadele yönteminin en sonucusu 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 gücünün, meslek hastalığı	Toz bastırma sistemleri, iyileştirme, temizleme, toz toplama sistemleri, kapatma, düzenli sağlık kontrolü, eğitim, KKD

## 2.2.Gürültü

Gürültü; İnsanların işitme sağlığını ve duyunu 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 ve Şensöğüt, 2009; Şensöğüt, 2016; Gürültü Kontrol Yönetmeliği, 2010).

Bunun yansısı, 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 tüvanan 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.

$$L_{eq} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \quad (2)$$

Leq = Toplam gürültü seviyesi  
n = Gürültü sayısı  
Li = 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)
Tüvanan 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)

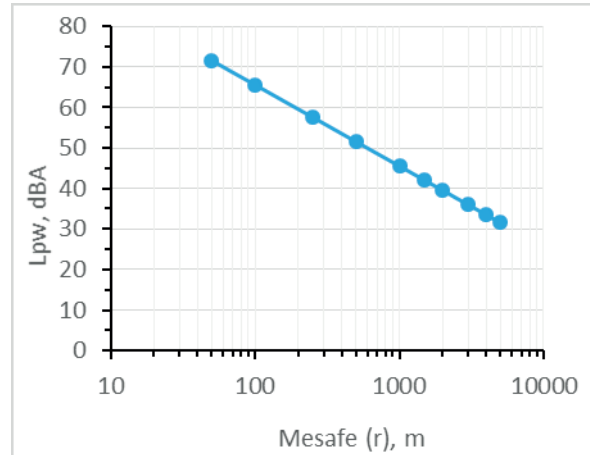
Tesisteki ekipmanların aynı anda ve aynı yerde çalıştıkları sırada meydana gelen gürültü seviyesi 116,54 dBA olarak hesaplanmıştır. Kömür yıkama (Lavvar) tesisinde görevli olarak çalışacak personel gürültüye maruz kalacaktır. Çalışanların Gürültü ile ilgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmeliğe göre, gürültüye maruz kalma durumunda ortaya çıkan olumsuzluklardan İşçilerin etkilenmemeleri için Çizelge 6'daki önlemlerin alınması gerekir.

Çizelge 6. Tesiste oluşan gürültünün etkileri ve alınabilecek önlemler

Etki	Önlem
Psikolojik rahatsızlık, iş verimi düşmesi, meslek hastalığı	İzolasyon, çalışma saatlerinin kısaltılması, ikame veya değişmesi gereken aksamaların değiştirilmesi, kontrol ve bakım, düzenli sağlık kontrolü, eğitim, KKD

Tesisteki makinelerinin aynı anda çalışması sırasında çeşitli mesafelerde duyulması muhtemel çevresel gürültü kirlilik seviyeleri Eşitlik 2.3 ile hesaplanmış ve gürültü seviyeleri Şekil 3'de verilmiştir.

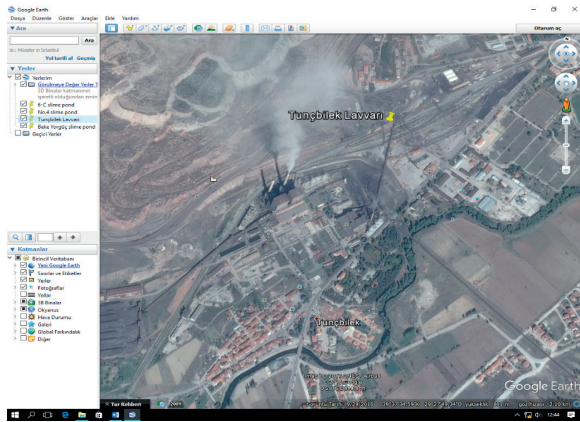
$$L_{pw} = L_{eq} + 10[\log (1/(4\pi r^2))] \quad (3)$$



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 lavra göre konumu

### 2.3. Titreşim

Titreşim, herhangi bir cismin denge konumu çevresinde tekrarlı salınım yaptığında oluşur (Zeyrek, 2009; Arıtan vd., 2016). Titreşim genel olarak frekansı (Hz) ve büyüklüğü ( $m/sn^2$ ) 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 ( $m/sn^2$ )	Eylem Değeri ( $m/sn^2$ )
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 ( $m/sn^2$ )
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.



## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

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 tozuma 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 tozuma karşı herhangi bir önlem alınmadan çalışıldığında, oluşan maksimum toz miktarı 48,21 kg/saat olup kontrollü emisyon debisi ise 9,525 kg/saat olarak tespit edilmiştir. Bu sonuca göre, bulunan değerlerin 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 değerlerin 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 öneminin alınmasına gerek kalmamaktadır.

Tesiste çalışan ekipmanların titreşimi sonucunda, çalışanlarda önemli oranlarda tüm vücut titreşimine maruziyet tespit edilmiştir. 45 m/sn<sup>2</sup> değerine kadar oluşan ölçümler yasal sınır olan 0,5 m/sn<sup>2</sup>'nin çok üzerinde olduğundan

çalışanların korunması için bazı tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Kömür üretimi ve tüketimi sırasında çevreyi bozmayan, zarar vermeyen ve kirlenmeyen 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. Cevala, 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 Services, Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health.

Albrecht, M. C., 1980. Coal Preparation Processes. Unit and Bulk Materials Handling, ASME Annual Meeting, San Francisco, CA, 279 - 288.

Aritan, A.E., Şensöğüt, C., Ören, Ö., Tümer, M., 2016. Kırmataş Tesislerinde Çalışanların Maruz Kaldığı Fiziksel Risk Etmenleri. 8. Uluslararası Kırmataş Sempozyumu, 439-444.

Beyhan, Y., 2004. Çalışma Hayatı- Sağlık Riskleri ve Beslenme. İşyeri Hekimliği Ders Notları (Ed: Akbulut, ), 8. Basım, TTB Yayınları, Ankara, 21-22.

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, Adana, 93-99.

Ediz, İ. G., Beyhan, S., Akçakoca H., Sarı, E., 2002. Madencilikte Gürültüye Bağlı İşitme Kayıplarının İncelenmesi. Türkiye 13. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, Türkiye.

Emission Estimation Technique (EET) For Mining and 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).

Mining and the Environment, 2015. Common Activities in Surface Coal Mining.

[http://www.miningandtheenvironment.com/res\\_artwork.aspx?index=C](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., Arslan, V., Kemal, M., Çoğuplugil,

N., 1992. Tuncbilek Kömürü Kükürt İçeriğinin Mevcut Yıkama Sisteminde İncelenmesi, Türkiye 8. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı.

Sensogut, C., 2007. Occupational Noise in Mines and Its Control –A Case Study. Polish J. of Environ. Stud., 16(6), 939-942.

Şensöğüt, C., 2016. Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Tunçbilek Kömür Hazırlama Tesisinde Toz ve Titreşime Maruziyet. International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE'16), Kilis, 1333-1339.

Şensöğüt, C., Düzyol, S., 2016. 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), Kilis. 713-721.

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.





Derleme / Review

## MADENCİLİKTE GÖRÜNTÜLEME VE ANALİZ CİHAZLARI

### IMAGING AND ANALYSIS DEVICES FOR MINING INDUSTRY

Hatice Yılmaz<sup>a,\*</sup>, Ceren Uygun<sup>a,\*\*</sup>, Mehmet Tanrıverdi<sup>a,\*\*\*</sup><sup>a</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

**Geliş Tarihi / Received** : 11 Mayıs / May 2018  
**Kabul Tarihi / Accepted** : 19 Ağustos / August 2018

**Anahtar Sözcükler:**

XRD,  
XRF,  
SEM,  
EDS,  
MLA.

**ÖZ**

Bu çalışmada öncelikle madencilik sektöründe yaygın olarak kullanılan görüntüleme ve analiz cihazlarından optik mikroskop, X ışını kırınım cihazı (X-Ray Diffraction, XRD), X ışını Floresans Spektrometresi (X-Ray Floresans spektrometresi, XRF), Mikroprop (Scanning Electron Microscope, SEM + Energy Dispersive Spectrometre, EDS) ve Mineral Serbestleşme Analizörü (Mineral Liberation Analyzer, MLA) cihazlarının analiz yöntemleri ve kullanım amaçları kısaca tanıtılmıştır. Ardından bu cihazlar kullanılarak yapılan çalışmalardan örnekler verilerek sektördeki ARGE çalışmalarına ve problemlere ne şekilde yaklaşılması gerektiği konusunda bir perspektif ortaya konmuştur.

**ABSTRACT**

A brief introduction to the analysis devices such as Optical microscope, X-Ray Diffraction (XRD), X-Ray Floresans spectrometer (XRF), Mikroprop (Scanning Electron Microscope, SEM + Energy Dispersive Spectrometre, EDS) and Mineral Liberation Analyzer (MLA) was made in this study. By giving examples of completed studies using these devices, a perspective has also been put forward on R&D studies and how problems should be approached in them mining sector.

**Keywords:**

XRD,  
XRF,  
SEM,  
EDS,  
MLA.

\* Sorumlu yazar: [hatice.yilmaz@deu.edu.tr](mailto:hatice.yilmaz@deu.edu.tr) • <https://orcid.org/0000-0001-9481-8126>\*\* [ceren.bursa@deu.edu.tr](mailto:ceren.bursa@deu.edu.tr) • <https://orcid.org/0000-0003-1382-1396>\*\*\* [m.mehmet@deu.edu.tr](mailto:m.mehmet@deu.edu.tr) • <https://orcid.org/0000-0002-4465-0756>

Bu bildiri 2017 yılında düzenlenen 6. Uluslararası Maden Makinaları ve Teknolojileri Kongresi Bildiriler Kitabı'nda yayınlanmıştır.  
 / This paper was published in the 6th International Mining Machinery and Technologies Congress of Turkey held in 2017.

Bu makalenin tüm yayın hakları TMMOB Maden Mühendisleri Odası'na aittir © 2018 / Copyright © 2018 Published by UCTEA  
 Chamber of Mining Engineers of Turkey. All rights reserved.

## GİRİŞ

Madencilik faaliyeti teknoloji, sermaye ve emek yoğun bir sektördür (TMMOB, 2011). Dolayısı ile yapılan işlemlerde en yeni teknolojilerin kullanılması gerekir. Her madencilik faaliyeti arama, araştırma, analiz ve işletme aşamalarından oluşur. Yüksek tenörlü cevherlerin kalmaması nedeniyle günümüzde artık çok düşük tenörlü cevherlerin işletilmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu bakımdan işletilecek cevherin cinsine bağlı olarak çoğu zaman yüzde, binde veya milyonda konsantrasyonlara sahip maden yatakları işletilmektedir. Bu kadar düşük konsantrasyonların belirlenebilmesi için de en ileri analiz tekniklerinin kullanılması gerekmektedir. Analizlerin ilk adımı cevheri tanımlamak için mikroskopik incelemedir. Bu amaçla klasik ışık mikroskobu kullanılır. Ancak minerallerin oranları ve tane boyutları çok küçük olduğunda bu mikroskoplar yeterli olmaz. Bu durumda XRD (X ışını kırınımı ile mineral analizi), XRF (X ışını kırınımı ile element analizi), Mikroprop (SEM+EDS) (taramalı elektron mikroskobu + element analizi) ve MLA (mineral serbestleşme analizörü) gibi daha gelişmiş analiz cihazlarını kullanmak gerekir.

Bu çalışmada ışık mikroskobundan başlayarak XRD, XRF, Mikroprop ve MLA cihazları ile yapılan çalışmalardan örnekler verilerek bu cihazların sektördeki kullanım olanakları ve önemi irdelenmiştir.

## 1. ANALİZ YÖNTEMLERİ

Madencilik sektöründe kullanılan analiz yöntemlerine her geçen gün yeni yöntemler eklenmekle beraber burada yaygın olarak kullanılan mikroskop, XRF, XRD, Mikroprop ve MLA ile yapılan çalışmalardan örnekler verilmiştir.

### 1.1. Mikroskopik Çalışmalar

Mikroskopik çalışmalar incelenecek malzemenin özelliklerine ve yapılacak çalışmanın niteliğine bağlı olarak farklı örnek hazırlama teknikleri ve farklı mikroskoplar kullanılarak yapılır.

#### 1.1.1. Cevher Mikroskopisi

Doğadaki minerallerin her birinin kendine özgü kristal yapıları vardır. Farklı kristal yapılarına sahip olan bu minerallerin optik özellikleri de birbi-

lerinden farklıdır. Bu nedenle minerallerin bir kısmı parlak kesit bir kısmı da ince kesit hazırlanarak incelenebilirler. Önemli cevher minerallerinin pek çoğu opak (saydam olmayan) olduğundan üstten aydınlatmalı ışık mikroskobu ile parlak kesitlerde incelenirken, bazı cevher mineralleri ise geçirgen olduğundan polarize ışık altında ince kesitte incelenir (Gültekin, 2014). Şekil 1'de her iki amaç için de kullanılabilen bir ışık mikroskobu görülmektedir.



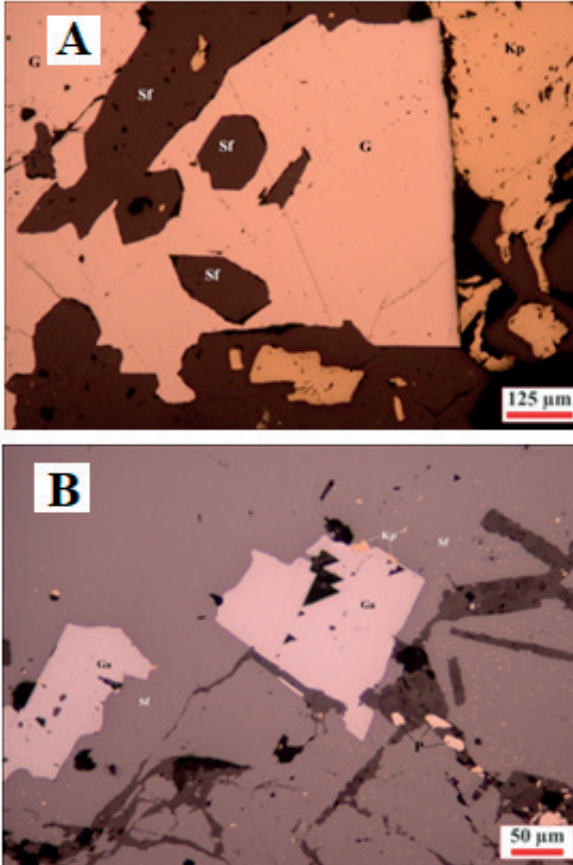
Şekil 1. Parlak ve ince kesit incelemeye uygun bir ışık mikroskobu

Ancak doğada çok fazla mineral olduğundan bunların optik özelliklerinin karışma riski oldukça fazladır. Bu nedenle sadece mikroskopik çalışma ile mineralojik karakterizasyon yapmak yeterli olmaz. Mikroskopik incelemelere ek olarak başka analiz yöntemlerini de kullanarak bulguları doğrulamak gerekir. Mikroskopik inceleme ile minerallerin tanımlanması yanı sıra minerallerin dokusal özellikleri ve serbestleşme karakteristikleri de belirlenebilir (Gültekin, 2014).

Şekil 2A ve B'de bir kalkopirit cevherinden hazırlanmış parlak kesitte belirlenen galen, kalkopirit ve sfalerit mineralleri görülmektedir. Bu kesitlerde görülen galenler kübik öz şekilli ve yarı öz şekillidir (Şekil 2A ve B). Sfaleritler içerisinde eksolüsyon halinde kalkopiritler mevcut olup bunlar sfalerit ile eş oluşlu ikinci evre kalkopiritlerdir. Sfaleritler içerisinde eksolüsyon halinde bulunan dissemine kalkopiritler son derece ince tanelidir (Şekil 2B).

Buradan sfalerit içerisinde dissemine dağılan kalkopiritin çok ince tane boyutunda (birkaç mikrometre) serbestleşeceğini söylemek mümkündür.

Mikroskobik inceleme sonucu elde edilen mineralojik sonuçları başka bir metotla da doğrulamak gerekir. Burada XRD ile mineralojik analiz yaparak mineralleri doğrulamak veya klasik kimyasal analiz yöntemini ya da X Işını Floresans (XRF) yöntemini kullanarak element analizi yaparak mineral-element ilişkisine bakmak, sonuçların doğruluğunu kontrol etmek açısından son derece faydalı olur.



Şekil 2. A ve B: Kalkopirit cevherinden hazırlanmış parlak kesitlerin üstten aydınlatmalı mikroskop görüntüleri

### 1.1.2. Binoküler Mikroskopi

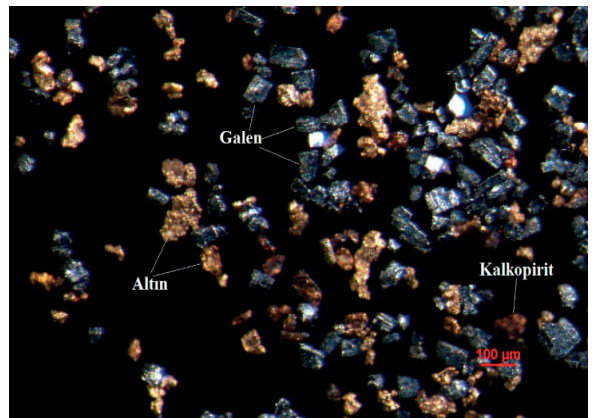
Cevher mikroskobisinde parlak kesit ve ince kesit hazırlanarak inceleme yapılırken binoküler mikroskopta kesit hazırlamaksızın doğrudan taneli malzeme incelenebilmektedir. Şekil 3'te görüntü analizi de yapabilen yeni nesil bir binoküler mikroskop görülmektedir. Bu tür mikroskoplar cevher zenginleştirme işlemlerinin sonuçlarını hızlı bir

şekilde değerlendirme olanağı da vermektedir. Bu mikroskopla zenginleştirilen serbest tanelerin fotoğrafı çekilir. Fotoğraftaki mineraller renk ve saydamlık özelliklerine göre tanımlanır. Ardından çekilen fotoğraf üzerinde dijital olarak tane sayımı yapılarak minerallerin zenginleşme oranları belirlenir. Önceleri manuel olarak yapılan bu işlem, görüntü analiz cihazlarının geliştirilmesi ile dijital olarak yapılabilir olmuştur.



Şekil 3. Görüntü analizi de yapabilen binoküler mikroskop

Altın, kalkopirit ve galen içeren bir cevher Gemini tipi masada konsantre edildikten sonra binoküler mikroskop ile incelenmiş ve elde edilen görüntü Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Galen, kalkopirit ve altın minerallerinin binoküler mikroskop görüntüleri

## 1.2. X-ışını Floresans (XRF) Yöntemi

X-ışını floresans yöntemi çok farklı malzemenin element kompozisyonunu belirlemek için kullanılan en basit, en kesin ve en ekonomik yöntemlerden biridir (Anon (a), 1997). Özellikle klasik kimyasal element analizine göre daha hızlı bir yöntemdir. Element analizinde kullanılan bir XRF cihazı Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. Element analizinde kullanılan XRF cihazı

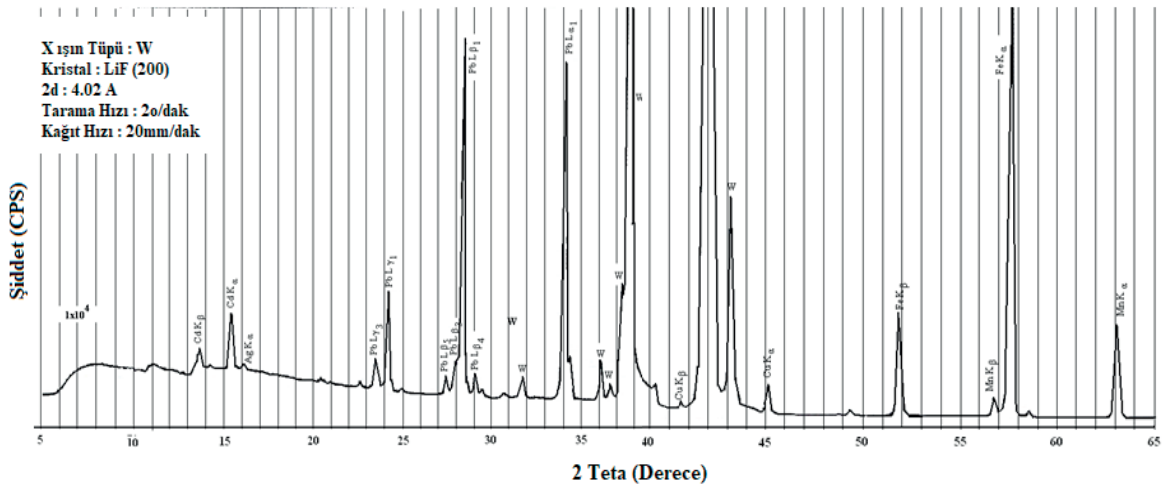
Element analizi yapılacak malzeme -100µm boyutuna öğütülerek toz haline getirilir. Daha sonra doğrudan basınç altında sıkıştırılarak veya uygun bir flaks yapıcı ile çözündürülerek numune hazırlanır. Hazırlanan numune farklı kristal-detektör çiftleri kullanılarak kalitatif olarak analiz edilir. Şekil 6'da bu şekilde elde edilmiş bir XRF grafiği görülmektedir.

Kalitatif analizle örnek içerisinde bulunan elementler belirlendikten sonra bu elementlerin % oranları, benzer matriste hazırlanmış standart örnekler kullanılarak hazırlanan kalibrasyon doğruları yardımıyla kantitatif olarak belirlenebilir.

## 1.3. X-ışını Kırınım (XRD) Yöntemi

X-ışını kırınım yöntemi de x-ışını floresans yöntemi ile aynı ilkelere göre çalışır. Ancak her ikisi birbirinden oldukça farklı amaçlarla kullanılırlar (Anon(b), 1997). XRF yöntemi element analizinde kullanılırken XRD yöntemi kristalli yapıya sahip malzemelerin kristal yapıları yardımıyla mineralojik bileşimlerinin tespitinde kullanılır. Öyle ki aynı kimyasal bileşime fakat farklı kristal yapısına sahip iki malzeme ancak XRD yöntemi yardımıyla ayırt edilebilir. Ayrıca XRD, örnek içerisinde düşük oranda bulunan veya ince taneli olduğu için mikroskopik olarak belirlenemeyen minerallerin belirlenmesi ve mikroskopik inceleme sonucunda belirlenen minerallerin doğruluğunu teyit etmek için de yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Şekil 7'de mineralojik analiz amacıyla kullanılan bir XRD cihazı görülmektedir.

XRD yöntemi ile analiz edilecek malzeme -100 µm boyutuna öğütülerek toz haline getirilir ve rastgele yönlendirilmiş örnek hazırlanır. Örnekten alınan kırınım deseni ASTM tarafından hazırlanan standart PDF (Powder Diffraction File) mineral kartla-



Şekil 6. LiF(200) kristali ve ışıltama sayacı (SC) kullanılarak elde edilmiş bir XRF grafiği ve bu grafik üzerine işaretlenmiş elementler



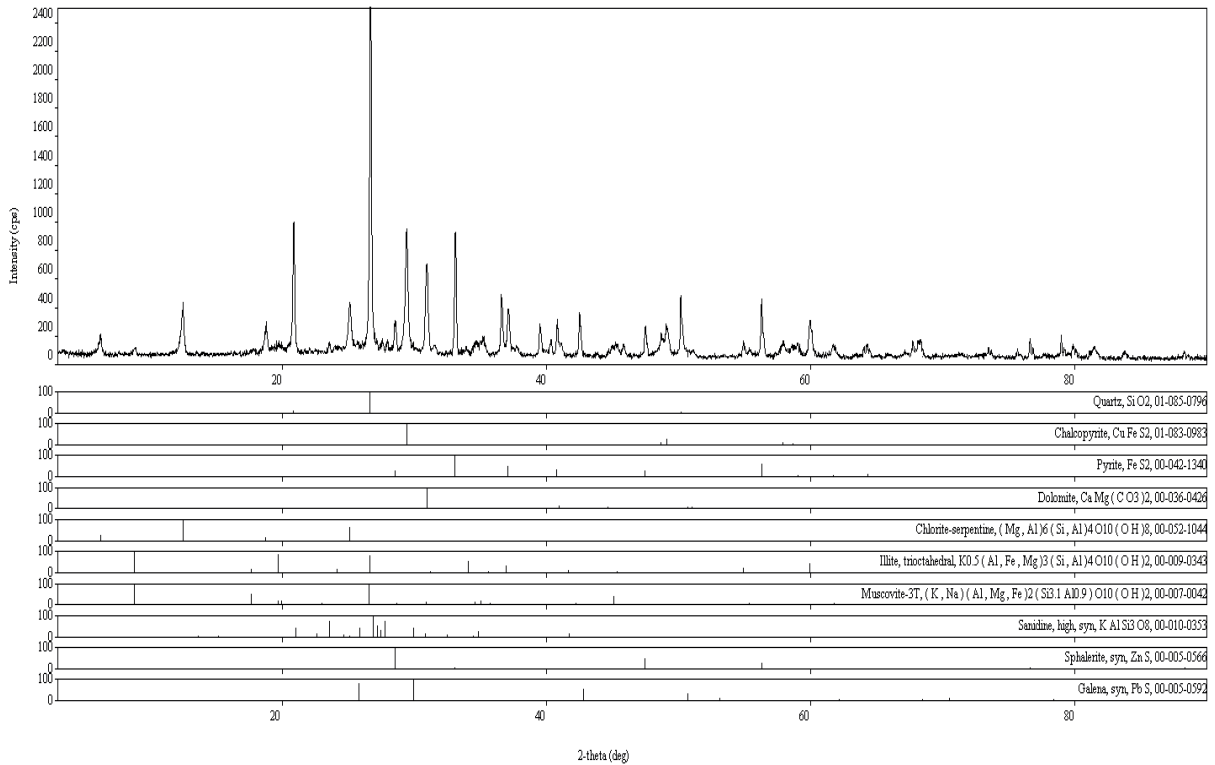
Şekil 7. Mineral analizinde kullanılan XRD cihazı

rı (minerallerin parmak izi olarak tanımlanan) ile karşılaştırılarak mineral içeriği belirlenir (Şekil 8). Ancak burada da tıpkı mikroskobik incelemede olduğu gibi minerallerin karışma olasılığı vardır. Böyle bir durumda sonuçlar ya mikroskobik inceleme ile mineralojik olarak kontrol edilir ya da örneğin kimyasal analizi yapılarak mineral-element ilişkisine bakılır.

Örnek içerisindeki mineral oranlarının çok düşük olması (cihazın dedeksiyon limitinin altında) ha-

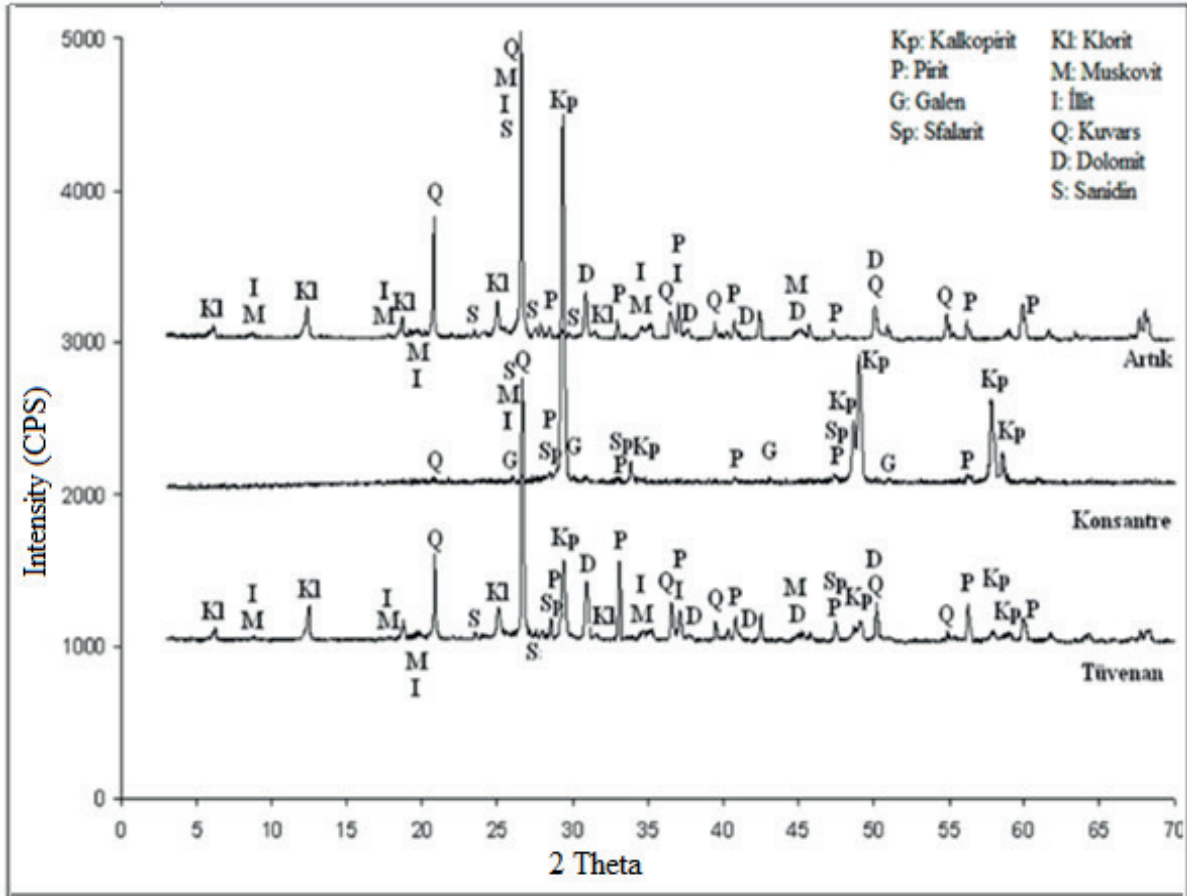
linde XRD metodu ile bu minerallerin tespiti mümkün olmayabilir. Böyle durumlarda düşük oranlarda bulunan mineral için bir ön zenginleştirme işlemi uygulanarak söz konusu mineralin örnek içerisindeki oranı cihazın dedeksiyon limitleri içerisinde yükseltilir.

Şekil 8'de görülen XRD grafiğinde tüvenan örnek içerisindeki kalkopirit piklerinin şiddeti kuvars piklerinin yanında oldukça zayıftır. Bu örnekte kalkopirit oranını arttırmak için yapılan bir flotasyon işlemi sonucunda elde edilen konsantrenin XRD grafiğinde ise (Şekil 9) kalkopirit piklerinin şiddetlerinin arttığı, bazı minerallerin piklerinin tamamen yok olduğu, tüvenan içerisindeki oranı düşük olduğu için varlığı tespit edilemeyen galen piklerinin küçük de olsa ortaya çıktığı görülmektedir. Diğer taraftan, kalkopirit piklerinin artıkta tamamen yok olduğu görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere, XRD düşük oranlarda bulunan mineralleri belirlemek için kullanılmakla birlikte aslında zenginleştirme işleminin başarısını tespit etmek için de kullanılan en önemli yöntemlerden biridir.



Şekil 8. Kalkopirit cevherinin XRD grafiği ve bu grafikteki piklerin ASTM kartları ile karşılaştırılması sonucu elde edilen mineral içeriği





Şekil 9. Kalkopirit cevherine ait tüvenan, konsantre ve artığın XRD grafiklerinin karşılaştırması (Günindi, 2014)

#### 1.4. Mikroprop ( SEM+EDS) Yöntemi

Mikroprop maden, jeoloji, metalürji, fizik, kimya, biyoloji, veterinerlik, tıp, ziraat gibi birçok alanda organik ve inorganik malzemelerin incelenmesinde kullanılan tahribatsız bir analiz ve görüntüleme cihazıdır (Şekil 10). 10-50 kV'luk hızlandırma potansiyeli kullanılarak malzemelerin SEI (Secondary Electron Image) ve BEI (Backscatter Electron Image) görüntüleri alınır ve bu görüntüler üzerinde EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) analizleri yapılır. Görüntü ve üzerinde yapılan EDS analizleri birlikte değerlendirilerek sonuca varılır.

Böyle bir duruma örnek olmak üzere: endüstriyel olarak üretilmiş bir ürün üzerinde çok küçük noktalar halinde istenmeyen bir yapının bulunduğu örneğin nasıl incelendiğini ele alalım. İstenmeyen bu yapının kaynağının belirlenmesi problemin çözülebilmesi açısından son derece önemlidir.



Şekil 10. Görüntülü element analizi yapabilen Mikroprop cihazı

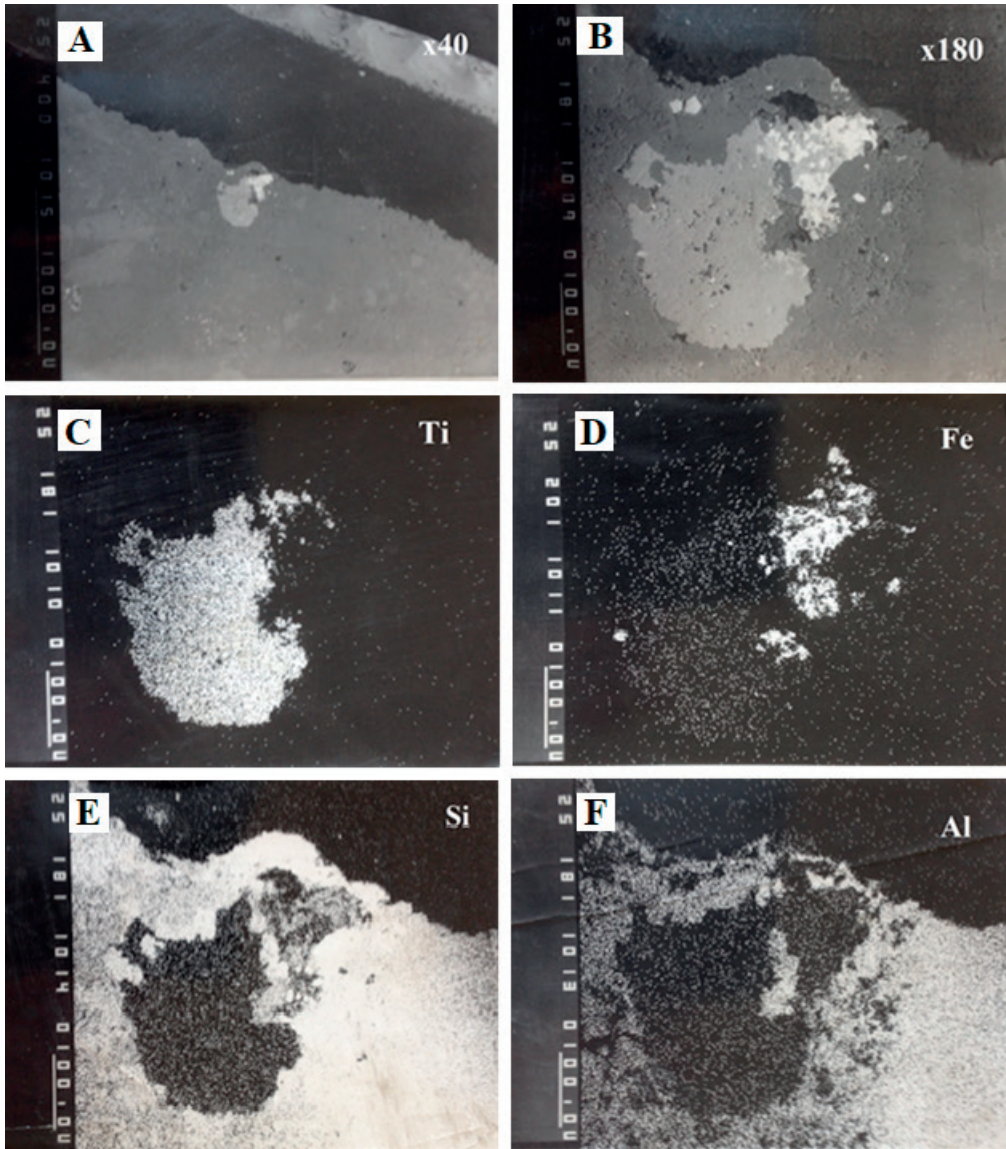
Klasik kimyasal analiz yöntemi burada işe yaramaz. Çünkü klasik kimyasal analiz yöntemi için örnek hazırlama aşamasında bu noktaların yanı sıra matristen de malzeme karışabilir. Kimyasal

analizde tüm malzeme çözülerek analiz yapıldığı için o noktanın tam kimyasal bileşimini belirlemek mümkün olamayabilir. Bu durumda söz konusu noktanın tahribatsız ve görüntülü bir şekilde analiz edilmesi gerekir. Aksi halde malzemenin neresinde analiz yapıldığı bilinemez. Bu bir seramik plakası, metal bir içecek kutusu veya çatı yalıtım malzemesi olabilir. Bu amaçla öncelikle bu noktalardan bir veya birkaç tanesini içine alacak şekilde örnek hazırlanır. Bu noktalar rahatça görülecek şekilde büyütülerek BEI ve SEI görüntüleri alınır. Alınan bu görüntüler üzerinde EDS analizi yapılarak bu noktanın element bileşimi belirlenir. Bulunan bileşim ile olması gereken bileşim arasında bir fark olup olmadığına bakılır. Fark var

ise bunun neden veya işlemin hangi aşamasından kaynaklandığı araştırılır.

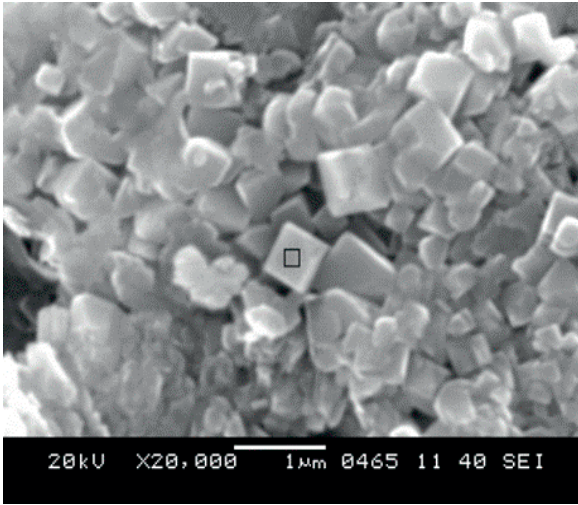
Mikopropta elde edilen BEI görüntüsü incelenen bölgedeki elementlerin atom ağırlıklarına göre ton farkı oluşturur. Böyle bir görüntüde koyu renkli olan bölgeler düşük atom ağırlığına sahip elementleri gösterirken açık renkli olan bölgeler ise yüksek atom ağırlığına sahip elementleri gösterir (Şekil 11A ve B).

Örnek olarak seramik bir plaka üzerinde oluşmuş siyah noktaların kaynağının araştırıldığı bu çalışmada siyah noktaların olduğu bölgeden kesit alındıktan sonra üzeri karbon ile kaplanarak iletken hale getirilmiştir. Daha sonra örnek üze-



Şekil 11. Seramik malzeme üzerindeki siyah noktanın bulunduğu bölgede A: x40 BEI, B:x180 BEI görüntüleri C: Ti, D: Fe, E: Si, F: Al elementlerinin x180 büyütmeli BEI görüntüsü (B) üzerindeki EDS mapping görüntüleri

rindeki problemleri noktadan küçük büyütmede BEI görüntüsü alınmış (x40) (Şekil 11A) ardından siyah nokta net görülecek şekilde büyütülmüştür (x180) (Şekil 11B). Bu görüntü yüzeyinin tamamı üzerinde EDS analizi yapılarak bölgede Si, Al, Fe ve Ti elementlerinin varlığı belirlenmiştir (Şekil 11C-F). Bunun ardından söz konusu olan bu elementlerin siyah nokta üzerinde ne şekilde dağıldığını belirlemek amacıyla yüzey üzerinde bu elementlerin EDS mapping dağılımları (haritalama) alınmıştır. Elde edilen mapping dağılımları ile görüntü karşılaştırılarak siyah noktayı oluşturan elementler belirlenmiştir. Buradan noktanın açık gri görünen kısımlarının Ti, parlak olan kısımlarının ise Fe içerdiği sonucuna varılmıştır. Böylece seramik üzerinde siyah nokta olarak görünen lekelerin Fe ve Ti'dan meydana geldiği belirlenmiştir. Elde edilen bu bilgiler yardımıyla Fe ve Ti'lu lekenin seramik yüzeyine işlemin hangi aşamasında yerleşmiş olabileceğinin kontrol edilmesi ve ona göre önlem alınması mümkün olabilmektedir.

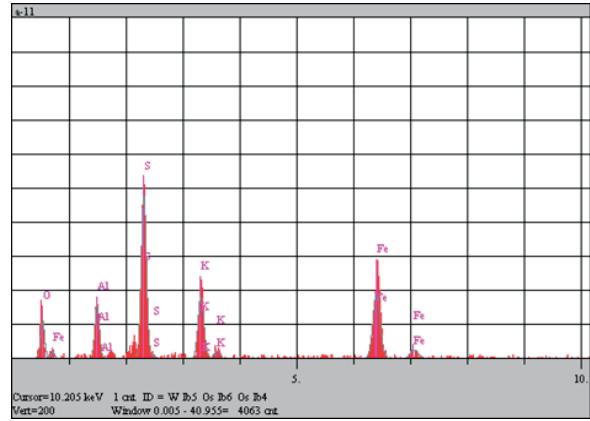


Şekil 12. Özgün şekilli mineral taneleri ve EDS analizi yapılan alan (Yılmaz ve Köktük, 2010)

Mikropropta elde edilen SEI görüntüsü ise üç boyutlu bir görüntü olup kristal yapıları, yüzey özellikleri ile ilgili bilgiler verir (Şekil 12). Kristal taneleri üzerinde yapılan EDS analizleri de mineralleri tanımlama olanağı verir (Şekil 13).

Şekil 12'de görülen özgün şekilli bir mineral tanesi üzerinde seçilen bir alanda yapılan EDS analizi (Şekil 13) bu tanenin K, Fe, Al, S ve O elementlerinden oluştuğunu göstermektedir. Bu element kompozisyonu jarosit minerali ile uyumludur. Nite-

kim bu örneğin XRD analizinde örnek içerisinde jarosit  $[KFe_3(SO_4)_2(OH)_6]$  mineralinin var olduğu önceden belirlenmiştir.



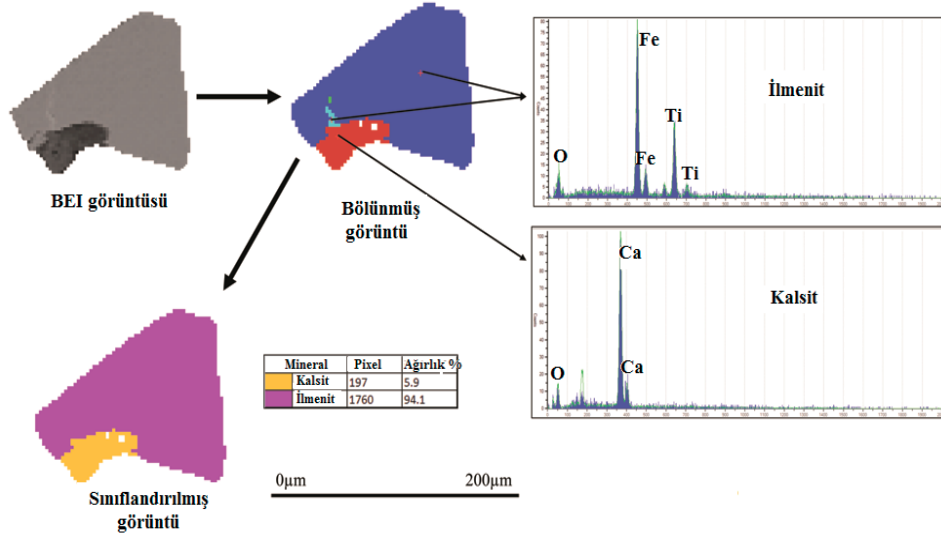
Şekil 13. Şekil 12'de görülen kübik özgün şekilli tane üzerinde işaretlenen alanda yapılan EDS analiz sonucu

### 1.5. Mineral Serbestleşme Analizörü (MLA)

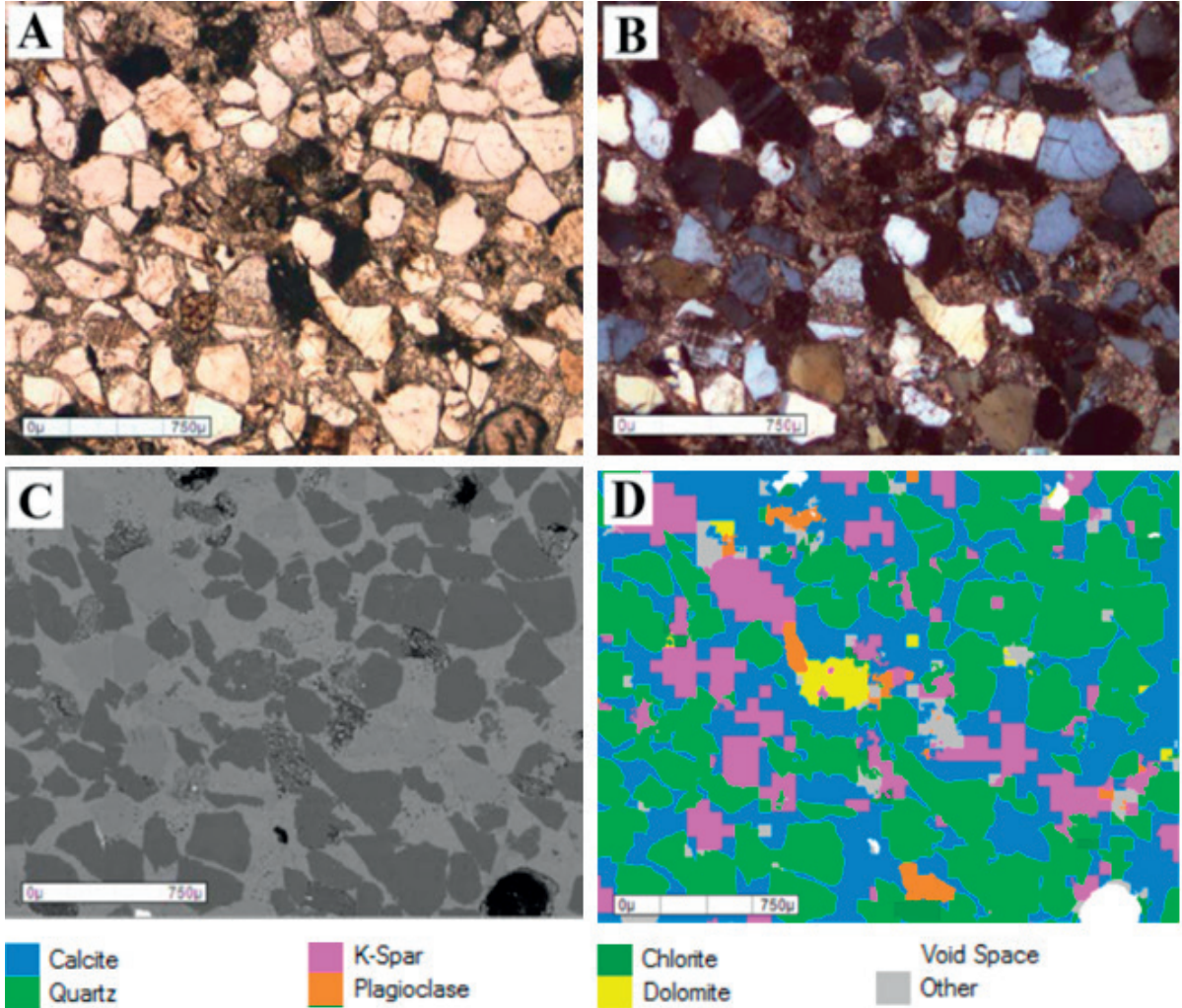
Mineral serbestleşme analizi son zamanlarda mineraloji, metalürji, cevher hazırlama ve zenginleştirme alanlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanan bir yöntemdir. Bu yöntemle elde edilen bulgular tesislerin planlaması ve optimizasyonunda kullanılan en önemli parametrelerdir.

Bu amaçla kullanılan mineral serbestleşme analizörü (MLA), EDS ve özel olarak geliştirilmiş bir yazılım ile desteklenen standart bir taramalı elektron mikroskopudur. MLA ölçümlerinde kullanılan görüntüler SEM ile elde edilir. MLA ölçümlerinde her bir örnek için 40-100 görüntü (4.000-10.000 tane içerecek şekilde) analiz edilir (Gu, 2003; Sylvester, 2012). SEM ile atom ağırlığı ile orantılı olarak gri tonlarda BEI görüntüleri elde edilir. Sonra bu gri tonlardaki taneler üzerinde EDS analizleri yapılarak serbest ve bileşik taneler ve mineraller belirlenir. Belirlenen minerallerin her biri için farklı bir renk tanımlanarak elde edilen görüntü üzerinde serbest ve bağlı tanelerin boyutları, sayıları, alanları dijital olarak belirlenerek serbestleşme oranları ve tenörleri özel yazılım ile hesaplanır.

MLA metodu kullanılarak değerli metallerin (altın, gümüş, uranyum vb.) ve minerallerin kazanılmasına yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır (Gu, 2003; Deysel, 2007; Fandrich vd., 2007; Shaffer, 2010; Sylvester, 2012; Sandmann ve Gutzmer, 2013; Xu vd., 2015). Aşağıda Sylvester (2012)'den alınmış bir MLA çalışması görülmektedir. Bu ça-



Şekil 14. MLA ile analiz edilen bir tanenin tanımlanması (Sylvester, 2012)



Şekil 15. Kalsit çimentolu kumtaşının parlatılmış ince kesitinde elde edilen görüntüler. A: Optik mikroskop polarize ışık görüntüsü, B: çapraz nikol görüntüsü, C: MLA BEI görüntüsü ve D: X-ışını (EDS) ile haritalanmış ve renklendirilmiş mineraller. Mikrofotograflar 5x(2,5x1,8mm) görüntü alanı üzerinden alınmıştır (Sylvester, 2012)

İşmada öncelikle çalışılacak malzemeden parlatılmış ince kesit hazırlanarak optik mikroskop ile incelenmiş, böylece örnek içerisindeki mineraller belirlenmiştir (Şekil 15A ve B).

Daha sonra aynı kesit MLA ile inceleyebilmek için karbon ile kaplanmış ve bu kesitten BEI görüntüsü alınmıştır (Şekil 15C). Ardından bu görüntü

üzerinde EDS yapılarak her bir tanenin hangi mineral veya minerallerden oluştuğu belirlenmiştir. Son olarak da belirlenen her bir mineral için bir renk atanmıştır (Şekil 15D). Mineraller için renk atandıktan sonra yazılım ile hesaplanan tane sayıları, yüzey üzerinde kapladıkları alanlar ve yüzde ağırlıkları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Parlatılmış ince kesitte MLA (Method: GXMAP) ile belirlenen minerallerin tane sayıları, yüzey üzerinde kapladıkları alanlar ve yüzde ağırlıkları (Sylvester, 2012)

Mineral	Ağırlık (%)	Alan (%)	Alan ( $\mu\text{m}^2$ )	Tane Sayısı
Allanit	0,13	0,09	777175	626
Apatit	0,12	0,10	869175	472
Biyotit	0,73	0,66	5472725	2955
Kalsit	39,11	38,96	322555850	15972
Klorit	2,44	2,20	18212150	7447
Kromit	0,06	0,03	262825	79
Kordiyerit	0,20	0,21	1708625	1073
Dolomit	1,17	1,10	9101725	3304
Epidot	0,19	0,15	1266325	860
Garnet	0,49	0,33	2746275	1678
Hornblend	0,47	0,37	3065150	1930
İllit	0,44	0,43	3554000	2018
İlmenit	0,32	0,18	1500100	603
Kaolinit	0,48	0,50	4160500	1502
K-spar	13,34	13,55	112157700	19443
Manyetit	0,29	0,15	1270075	1009
Monazit	0,00	0,00	225	1
Muskovit	0,55	0,53	4358225	2415
Plajjoklas	3,16	3,25	26902925	8616
Piroksen	0,14	0,11	875200	595
Kuvars	35,78	36,50	302151625	12498
Rutil	0,17	0,14	1143250	951
Zirkon	0,02	0,01	79125	72
Diğer İz Mineraller	0,06	0,05	420400	331
Mineral Olmayanlar	0,00	0,00	12650	40
Bilinmeyenler	0,00	0,03	258175	176
CamsıYapılar	0,13	0,36	3000750	1478
Toplam	100,00	100,00	827882925	88144

## SONUÇLAR

Madencilik sektöründe arama aşamasından başlayarak, cevherleşme tipi, cevherin içerdiği minerallerin belirlenmesi, cevher tenörü, serbestleşme tane boyutu, bağlı tanelerin bağlılık derecesi ve şekli, tanelerin birbirleriyle ilişkileri, cevher içerisinde bulunan elementler ve oranlarının belirlenmesinde cevher mikroskopisi, binoküler mikroskop, XRF, XRD mikroprop ve MLA analiz yöntemleri önemli rol oynar.

Bu analiz cihazları ve yöntemler cevherin zenginleştirme yönteminin belirlenmesinde yol gösterici olmakla birlikte kurulu tesislerde işletme şartlarının kontrolü ve oluşabilecek problemlerin çözümünde de etkin olarak kullanılan cihaz ve analiz yöntemleridir. Araştırma aşamasında veya tesislerin işleyişi ve kontrolünde bu cihazların kullanımı ve sonuçların değerlendirilmesi konusunda kalifiye elemanların yetişmesi madencilik sektörünün önemli konularından biridir.

## KAYNAKLAR

Anon (a). Elementel Analysis Products, X-Ray Flouresans. <https://www.rigaku.com/en/products/xrf>.

Anon (b), 1997. Product Information, Desktop X-Ray Diffractometer, Miniflex+. <https://www.rigaku.com/downloads/journal/Vol14.1.1997/miniflex.pdf>.

Deysen, K., 2007. Leucoxene Study: a Mineral Liberation Analysis (MLA) Investigation. [https://saimm.co.za/Conferences/HMC2007/167-172\\_Deysel.pdf](https://saimm.co.za/Conferences/HMC2007/167-172_Deysel.pdf).

Fandrich, R., Gu, Y., Burrows, D., Moeller, K, 2007. Modern SEM-Based Mineral Liberation Analysis. International Journal of Mineral Processing, 84, 310-320.

Gu, Y., 2003. Automated Scanning Electron Microscope Based Mineral Liberation Analysis: an Introduction to JKMR/FEI Mineral Liberation Analyser. Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, 2(1), 33-41.

Gültekin, A.H., 2014. Cevher Mikroskopisi, Cevher Hazırlama El Kitabı (Eds: Prof. Dr. Güven Önal, Prof. Dr. Gündüz Ateşok, Dr. Kudret Tahsin Perek). Yurt Madencilik Geliştirme Vakfı Yayını, İstanbul, s. 13-34.

Günindi, T., 2014. Kalkopirit Cevherinin Flotasyon ile Zenginleştirme Koşullarının Belirlenmesi. DEÜ Maden Mühendisliği Bitirme Tezi, İzmir, 62 sayfa.

Sandmann, D., Gutzmer, J., 2013. Use of Mineral Liberation Analysis (MLA) in the Characterization of Lithium-Bearing Micas. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, 1, 285-292.

Sylvester, P.J., 2012. Chapter 1: Use of the Mineral Liberation Analyzer (MLA) for Mineralogical Studies of Sediments and Sedimentary Rocks. Mineralogical Association of Canada Short Course 42, St. John's NL, s. 1-16.

TMMOB, 2011. Madencilik Sektörü ve Politikaları Raporu, Mart 2011. TMMOB Maden Mühendisleri Odası, [http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/6b4f48fe09a313b\\_ek.pdf?tipi=5ç](http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/6b4f48fe09a313b_ek.pdf?tipi=5ç).

Xu, Z., Li, Y., Liu, S., Cai, L., Yang, L., 2015. The Characteristics Study of Sphalerite Tailings by Using MLA. Procedia Engineering, 102, 278-286.

Yılmaz, H., Köktürk, U., 2010. Mineralogical and Micromorphological Characterization of Iron Impurity in Gedikler Bentonite Mine (Esme/Usak, Turkey). Asian Journal of Chemistry, 22(4), 3235-3245.





Orijinal Araştırma / Original Research

## DÜŞEY KAYAÇ KESME SETİ İLE KOLLU GALERİ AÇMA MAKİNESİ PERFORMANS TAHMİNİ: BİR ÖRNEK UYGULAMAI

ROADHEADER PERFORMANCE PREDICTION WITH USING VERTICAL ROCK CUTTING RIG: A CASE STUDY

Serdar Yaşar<sup>a,\*</sup>, Ali Osman Yılmaz<sup>a,\*\*</sup>

<sup>a</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon, TÜRKİYE

**Geliş Tarihi / Received** : 15 Mayıs / May 2018  
**Kabul Tarihi / Accepted** : 19 Ağustos / August 2018

### Anahtar Sözcükler:

Spesifik enerji,  
Kaya kesme deneyi,  
Performans kestirimi,  
Kollu galeri açma makinesi

### Keywords:

Specific energy,  
Rock cutting test,  
Performance prediction,  
Roadheader

### ÖZ

Kollu galeri açma makineleri madencilik ve tünelcilik sektöründe sıklıkla kullanılan kazı makinelerindedir. Diğer kazı makineleri gibi, kazı yapılacak formasyona uygun olarak seçilmeleri gerekmektedir. İlave olarak, formasyonda gerçekleştirecekleri kazı hızlarının proje safhasında belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaç için geliştirilen çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en temsili yöntem olarak kabul edilen kaya kesme deneyleridir. En kesin yöntemler olmalarına rağmen, az sayıda araştırma merkezinde bulunmaları sebebiyle kullanımı yaygınlaşmamaktadır. Bundan dolayı, halihazırda bulunan kaya kesme deneylerine alternatif olarak yeni düzeneklere ihtiyaç vardır.

Bu amaçla, hemen hemen tüm kaya mekaniği laboratuvarlarında bulunan hidrolik eğilme preslerine bir eklenti olarak geliştirilen taşınabilir ve seri üretime uygun bir deney düzeneği olarak getirilen düşey kayaç kesme seti (DKKS) tanıtılmıştır. Çalışma kapsamında, çeşitli magmatik kayaç numuneleri üzerinde konik keskinler ile etkileşimli ve etkileşimsiz kaya kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir ve DKKS ile tam boyutlu kesme deneylerinin gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir. Ardından, bir yeraltı soğuk hava deposunda çalışan bir kollu galeri açma makinesinin kazı hızları DKKS'de yapılan kaya kesme deneyleri ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, bu sahada çalışan makinenin net kazı hızı DKKS ile gerçeğe yakın olarak tahmin edilmiştir.

### ABSTRACT

Roadheaders are frequently used in mining and tunnelling works. Similar with other excavation machines, roadheaders should be selected properly to the relevant rock formation. In addition to the selection, cutting rates of these machines should be estimated during project phase. Several methods were proposed so far for this respect. The best choice for performance prediction is the rock cutting tests. Despite to being the best choice, these cutting tests cannot be more widespread due to non-availability in many research centers. Therefore, alternative rock cutting testing arrangements should be proposed as an alternative to present testing rigs.

With this respect, vertical rock cutting rig (VRCR) which is mobile and ready for mass production was introduced as an attachment to hydraulic flexural bending machines which can be found in almost all rock mechanics laboratories. Within the scope of the study, several igneous rock samples were subjected to rock cutting test with conical picks in both relieved and unrelieved cutting mode. Finally, cutting rate of a roadheader working in an underground cold storage tunnel was predicted with cutting tests in VRCR. As a result, cutting rate of the roadheader was predicted correctly with using VRCR.

\* Sorumlu yazar: [seyasar@ktu.edu.tr](mailto:seyasar@ktu.edu.tr) • <https://orcid.org/0000-0003-4973-7970>

\*\* [aoyilmaz@ktu.edu.tr](mailto:aoyilmaz@ktu.edu.tr)

Bu bildiri 2017 yılında düzenlenen 6. Uluslararası Maden Makinaları ve Teknolojileri Kongresi Bildiriler Kitabı'nda yayınlanmıştır. / This paper was published in the 6th International Mining Machinery and Technologies Congress of Turkey held in 2017.

Bu makalenin tüm yayın hakları TMMOB Maden Mühendisleri Odası'na aittir © 2018 / Copyright © 2018 Published by UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey. All rights reserved.



## GİRİŞ

Kollu galeri açma makineleri (KGAM), madencilik ve tünelcilik kazılarında sıklıkla başvuru mekanize kazı ekipmanlarından birisidir. Mekanize kazı sistemleri patlatmalı kazı yöntemine göre çeşitli avantajlar (yüksek ilerleme hızı, güvenli çalışma ortamı ve minimum yer sarsıntısı vb.) sunmaktadır. Bu avantajlara ek olarak, KGAM'lerin tam cephe- li tünel açma makinelerine (TAM) göre de çeşitli üstünlükleri bulunmaktadır. KGAM'lerin ilk yatırım maliyeti TAM'lere göre çok daha düşüktür. Ayrıca, KGAM'ler daha hızlı üretilebilmektedir. TAM'ler yalnızca dairesel kesitli açıklıkları kazabilirken, KGAM'ler her şekildeki açıklığı kazabilmektedir. Son olarak da KGAM'ler farklı projelerde kullanılmak üzere modifiye edilmeye daha uygundur (Kwietnewski vd., 2011).

Tüm üstünlüklerine karşın, KGAM'ler de diğer mekanize kazı sistemleri gibi kazılacak olan formasyona uygun olarak seçilmelidirler ve kazı performansları proje öncesi belirlenmelidir. Bir kazı makinesinin performansından bahsedilirken üç farklı bileşen dikkate alınmaktadır. Bunlar; net kazı hızı (NKH), keski tüketim hızı (KTH) ve makine kullanım oranıdır (MKO). Bu çalışmada performans bileşeni olarak yalnızca NKH ele alınmaktadır.

NKH'nın önceden kestirilmesinde kullanılan çeşitli yöntemler bulunmaktadır ancak sıklıkla başvuru yöntemler, kaya kesme deneyleri ve görgül (ampirik) tahmin yöntemleridir. Görgül yöntemlerde çeşitli araştırmacılar, kazılan formasyona ait kayacın bazı mekanik ya da fiziksel özelliklerini, birtakım makine parametrelerini ve kaya kütlesi özelliklerini kullanarak, sahadaki kesme hızlarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu amaç için görgül bağıntılar ve abaklar önermişlerdir (Bilgin, 1983; Aleman, 1983; Sandbak, 1985; Farmer ve Garrity, 1987; Schneider, 1988; Gehring, 1989; Natau vd., 1991; Matsui ve Shimada, 1993; Bilgin vd., 1996; Çopur vd., 1997; Thuro ve Plinninger, 1999; Restner ve Plinninger, 2015). Ancak, görgül yöntemlerin başarısı elde edilen verinin kalitesine, veri sayısına ve dikkate alınan parametre sayısına bağlıdır. Bundan dolayı, kullanılırken bu hususlar dikkate alınmalıdır.

NKH tahmininde kullanılan en kesin yöntem olarak kaya kesme deneyleri gösterilmektedir (Bilgin

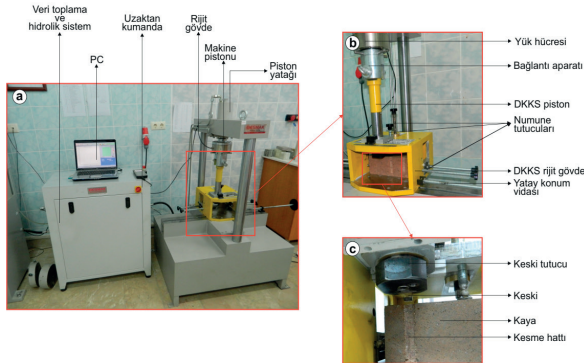
vd., 2014). Ancak bu deney düzenekleri çok sınırlı sayıda araştırma merkezinde bulunmaktadır ve çok tecrübeli çalışanlara ihtiyaç duyulmaktadır (Balcı ve Bilgin, 2007). Bundan dolayı, araştırmacılar alternatif kesme düzeneklerine yönelmektedirler (Roxborough ve Philips, 1974; Detournay vd., 1997; Bilgin vd., 2010; Entacher vd., 2014; Kang vd., 2016; Yasar ve Yılmaz, 2017a). Düşey kayaç kesme seti (DKKS), her kaya mekaniği laboratuvarında bulunan hidrolik test makinelerine bir eklenti olarak Yasar (2018) tarafından geliştirilmiş, taşınabilir ve seri üretime uygun bir kaya kesme deney düzeneğidir. DKKS'de basit kama tipi, konik ve radyal kesimler kullanılarak kaya kesme deneyleri yapılabileceği gösterilmiştir (Yasar, 2018, Yasar ve Yılmaz, 2017a; 2017b; 2017c).

Bu çalışmada, öncelikle DKKS genel olarak tanıtılmış ve çeşitli kayaç numuneleri üzerinde konik kesimler ile gerçekleştirilen etkileşimli ve etkileşimsiz kaya kesme deneylerinin sonuçları gösterilmiştir. Konik kesimler ile yapılan etkileşimsiz kesme deneyleri 1 mm ile 9 mm arasında değişen kesme derinliklerinde gerçekleştirilmiştir. Etkileşimli kesme deneyleri ise 9 mm kesme derinliği sabit tutularak ve kesimler arası mesafe değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvveti ve spesifik enerji gibi bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiler gösterilmiştir. DKKS ile yapılan kaya kesme deneylerinin saha uygulamalarına örnek teşkil etmesi amacı ile bir adet KGAM çalışma sahası ziyaret edilerek sahadan numuneler temin edilmiştir. Bu numuneler üzerinde kesme deneyleri gerçekleştirilerek çalışan KGAM'nin kazı hızı DKKS ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, bu sahadaki çalışan makinenin net kazı hızı DKKS ile gerçeğe yakın olarak tahmin edilmiştir.

## 1. DÜŞEY KAYAÇ KESME SETİ (DKKS)

Düşey kayaç kesme seti (DKKS), Yaşar (2018) tarafından geliştirilmiştir. Deney düzeneğinin detayları genel olarak çeşitli kaynaklardan takip edilebilir (Yaşar, 2018; Yasar ve Yılmaz, 2017a; 2017b; 2017c). DKKS, taşınabilir, tamamen sökülebilir ve tekrar monte edilebilir olarak ve her kaya mekaniği laboratuvarında bulunan hidrolik test makinelerine bir eklenti olarak tasarlanmıştır. Tasarımı sayesinde hem basınç test makinelerin-

de hem de eğilme test makinelerinde kullanılabilir. Deney düzeneğinin bileşenleri genel olarak Şekil 1'de görülmektedir.

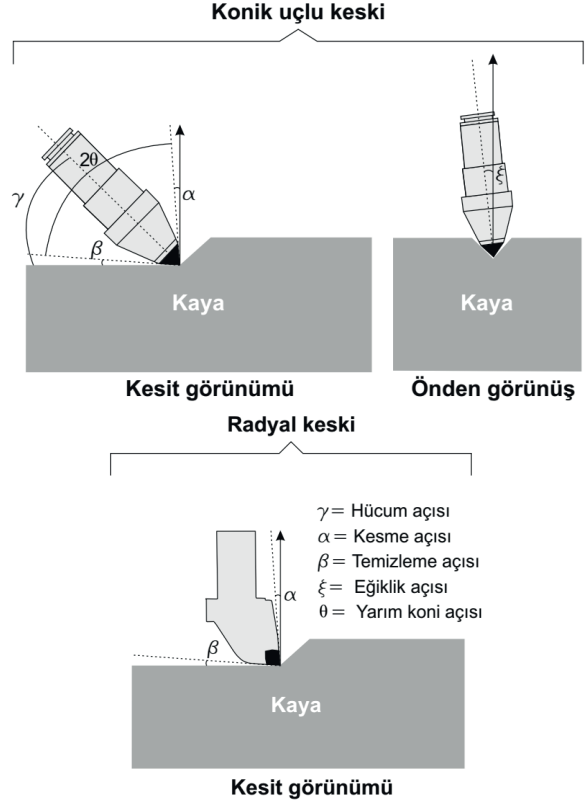


Şekil 1. (a) Hidrolik eğilme test makinesinin genel bileşenleri ve DKKS (b) DKKS'nin bileşenleri (c) DKKS ile kayaç kesme (Yaşar ve Yılmaz, 2017a).

DKKS, düşey yönde hareket eden bir pistonu sahiptir ve bu pistonun alt tarafına monte edilen keski tutucuya sabitlenen keski sayesinde test edilecek olan kaya numuneleri üzerinde kesme deneyleri gerçekleştirilmektedir. Keski kayaca batarak kazıya başladığında, keskiye hareket yönünde etkiyen kesme kuvveti hidrolik eğilme test makinesi üzerinde bulunan yük hücresi üzerinden bilgisayara gönderilmektedir. Ölçülen kesme kuvvetinin zamana bağlı değişim grafiği bilgisayardan elde edilebilmektedir. Elde edilen grafik sayesinde maksimum kesme kuvveti (FC'), ortalama kesme kuvveti (FC) ve FC'nin yardımı ile de spesifik enerji bulunabilmektedir.

DKKS'de değişen boyutlarda karot numuneleri, 10 cm x 20 cm x 23 cm boyutlarına kadar olan blok numuneler ve şekilsiz blok numuneler kesme deneylerine tabi tutulabilir. Şekilsiz numuneler üzerinde deneyler gerçekleştirilirken, sıkıştırma sorunları yaşanmaması için numune beton ya da alçı içine sabitlenerek sıkıştırma işlemine devam edilmektedir.

Kaya kesme deneylerinde çeşitli keski türleri kullanılabilir. Bu keski türleri; basit kama tipi, konik ve radyal keski türleridir (Yaşar, 2017, Yaşar ve Yılmaz, 2017a; 2017b; 2017c). KGAM'lerde sıklıkla kullanılan keski türleri olan konik ve radyal keskilere ait tasarım değişkenleri Şekil 2'de gösterilmiştir.



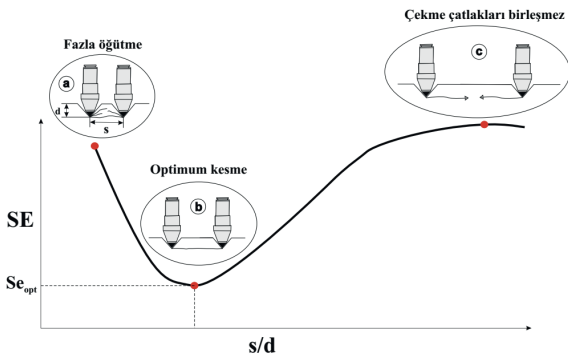
Şekil 2. Konik ve radyal keski türlerinde tasarım değişkenleri

## 2. DKKS İLE KONİK KESME DENEYLERİ

KGAM'lerde en sıklıkla kullanılan keski türleri olan konik keski türleri ile çeşitli kaya numuneleri üzerinde kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kaya kesmede bağımlı değişkenler olan kesme kuvveti ve spesifik enerji ile bağımsız değişkenler olan kesme derinliği (d), keski arası mesafe (s), s/d oranı gibi parametreler arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Kaya kesme deneyleri iki yöntemle gerçekleştirilmektedir; etkileşimsiz ve etkileşimli kesme yöntemi. Sahadaki kesme koşullarının laboratuvar ortamında temsil edilebilmesi için etkileşimli yöntemde kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaya kesmedeki kesme yöntemleri Şekil 3'te gösterilmiştir. Kaya kesmede üç durum bulunmaktadır (Şekil 3): (a) durumunda keski arası mesafe çok yakın olduğu için fazla öğütme gerçekleşmektedir ve gereksiz enerji sarfiyatı meydana gelmektedir ve verimsiz bir kazı gerçekleşmektedir. Diğer taraftan, (c) durumunda ise keski arası mesafe o

kadar fazladır ki birbirini izleyen kesme hatları arasında oluşan yanal çekme çatlakları birbirine ulaşmaz ve aradaki parça kopmaz. Sonuç olarak her keski kendi bulunduğu oyuğu derinleştirir ve verimsiz bir kesme işlemi meydana gelir. Keski arası mesafenin bu kadar açılması ile etkileşimsiz kesme moduna geçiş olur. Son olarak (b) durumu makine için optimum kesme durumudur. Keski arası birbirine göre o kadar iyi konumlandırılır ki spesifik enerji en düşük seviyede seyrederek, (b) durumunda oluşan spesifik enerjiye optimum spesifik enerji ( $SE_{opt}$ ) denir.



Şekil 3. s/d ile spesifik enerjinin değişimi

Etkileşimli kaya kesme deneylerinden elde edilen optimum spesifik enerji değeri, KGAM'lerin performanslarının tahmininde kullanılmaktadır. Rostami vd. (1994) tarafından önerilen yöntem şu şekildedir:

$$NKH = k \frac{P}{SE_{opt}} \quad (1)$$

Burada;

$SE_{opt}$  = Tam boyutlu kaya kesme deneyinden elde edilen spesifik enerji, kWsaat/m<sup>3</sup>,

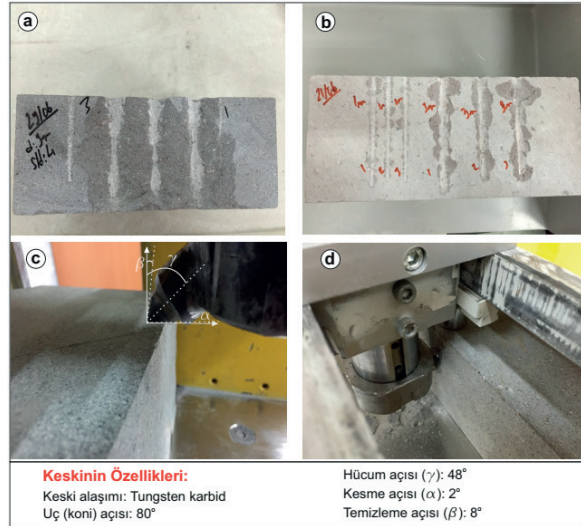
P = Makinenin kesici kafa gücü, kW,

NKH = Net kazı hızı, m<sup>3</sup>/saat'tir.

k = Enerji transfer oranıdır (0,45-0,90).

Kaya kesme deneylerinde altı farklı magmatik kayaç kullanılmıştır (kırmızı andezit, gri andezit, yeşil tuf, gri tuf, kahverengi vitrik tuf, sarı vitrik tuf). Bu kayaç numuneleri konik keski yardımı ile kesme deneyine tabi tutulmuştur. Deneyler 1 mm, 3 mm, 5 mm, 7 mm ve 9 mm kesme derinliklerinde gerçekleştirilmiştir, her deney en az üç kez tekrar

edilmiştir. Etkileşimli kaya kesme deneyleri ise 9 mm kesme derinliği sabit tutularak değişen keski arası mesafelerde (18 mm, 27 mm, 36 mm, 45 mm ve 72 mm) tamamlanmıştır. Şekil 4'te kesme deneylerinde kullanılan keskinin özellikleri, etkileşimli ve etkileşimsiz kesme deneyleri görülmektedir. Gerçekleştirilen deneylerin sonuçları çeşitli kaynaklardan takip edilebilir (Yaşar, 2018; Yaşar ve Yılmaz, 2017b).

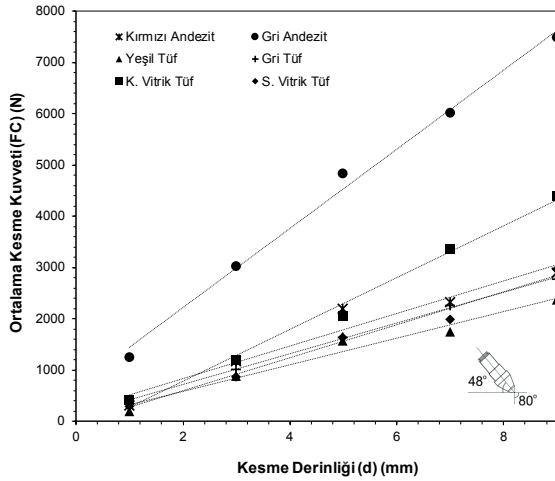


Şekil 4. (a) Konik keski ile etkileşimli kesme deneyleri (b) Konik keski ile etkileşimsiz kesme deneyleri (c) Konik keskinin özellikleri (d) Konik keski ile kaya kesme deneyi (Yaşar ve Yılmaz, 2017b).

Gerçekleştirilen etkileşimsiz kesme deneylerinin sonucunda bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında birtakım ilişkilere ulaşılmıştır. Kaya kesilebilirliğinin en önemli göstergelerinden biri olan ortalama kesme kuvveti (FC) ile kesme derinliği arasındaki ilişkinin grafiği Şekil 5'te verilmiştir. Tüm kaya numuneleri için FC d'nin artması ile lineer olarak artmaktadır.

Geçmiş çalışmalar incelendiğinde, konik keski kesme kuvvetinin kesme derinliği ile lineer olarak arttığı gözlemlenmiştir (Hurt ve Laidlaw, 1979; Hurt, 1980; Roxborough vd., 1981; Inyang, 2002; Bilgin vd., 2006). Tek istisna olarak, Demou vd. (1983) kesme kuvveti ile kesme derinliği arasında üslü bir ilişki olduğunu göstermiştir ve kesme derinliğinin üssünün 1,3 civarı olduğunu belirtmiştir. Buna ek olarak, teorik çalışmalarda maksimum kesme kuvvetinin kesme derinliğinin karesi (d<sup>2</sup>) ile lineer olarak arttığı belirtilmektedir (Evans, 1984;

Roxborough ve Liu, 1995; Göktan, 1997; Göktan ve Güneş, 2005). Şekil 5'te görülen sonuçlar geçmiş çalışmalar ile örtüşmektedir.



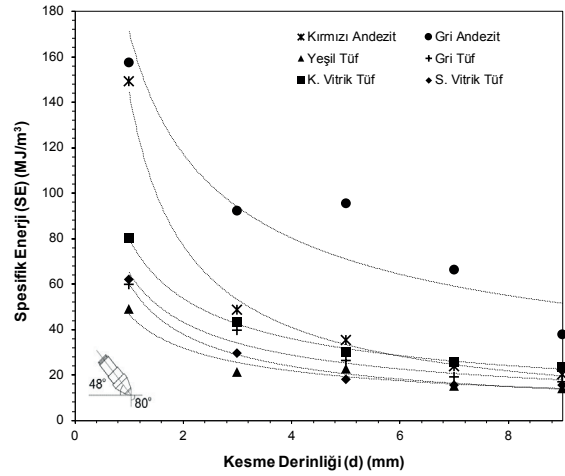
Şekil 5. Etkileşimsiz kesme deneylerinde FC ile d arasındaki ilişki (Yaşar ve Yılmaz, 2017b).

Spesifik enerji (SE) kesme verimliliğinin en önemli göstergesidir ve kesme derinliğinin artması ile birlikte spesifik enerji azalmaktadır. Kazı makinelerinin sahadaki uygulamalarında, kesme derinliğinin 10 mm civarında olması halinde verimli kesme koşullarının oluştuğu iddia edilmektedir (Hurt ve MacAndrew, 1985). Bu çalışmada konik kesmelerle yapılan etkileşimsiz kesme deneylerinden elde edilen bu sonuçlarda da buna benzer bulgular elde edilmiştir. Spesifik enerjinin 9 mm kesme derinliğine yaklaşırken sabitlenerek optimum değerine ulaştığı görülmüştür (Şekil 6). Bu sonuçlar geçmiş çalışmalar ile uyum içindedir (Çopur vd., 2001, 2003; Bilgin vd., 2006; Tümaç vd., 2007).

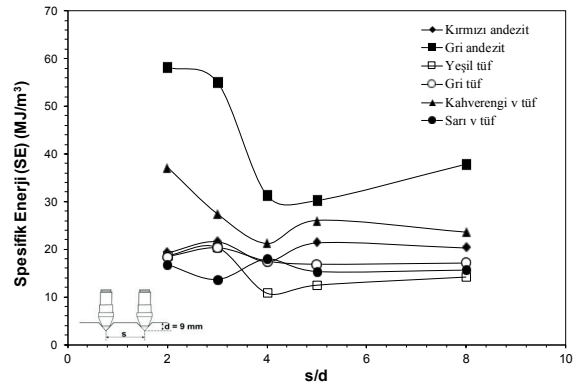
Etkileşimli kesme deneyleri sahadaki kesme koşullarının laboratuvar ortamında gerçekleştirilebilmesi için önemli bir yere sahiptir. Buradan elde edilen optimum spesifik enerji ( $SE_{opt}$ ) değerleri Rostami vd. (1994) tarafından önerilen performans tahmini modelinde kullanılmaktadır. Şekil 7'de kesmeler arası mesafenin kesme derinliğine oranı ( $s/d$ ) ile spesifik enerjinin değişimi gösterilmiştir. Optimum  $s/d$  oranının 3 ile 5 arasında değiştiği Şekil 7'den görülmekte olup bu değer de önceki çalışmalardaki bulgular ile örtüşmektedir (Evans, 1984; Bilgin vd., 2006).

Etkileşimli kaya kesme deneylerinden elde edilen  $SE_{opt}$  değeri sayesinde istenilen makine ile ilgili

performans tahmini Eşitlik 1 yardımı ile yapılabilmektedir.



Şekil 6. Etkileşimsiz kesme deneylerinde SE ile d arasındaki ilişki (Yaşar ve Yılmaz, 2017b).



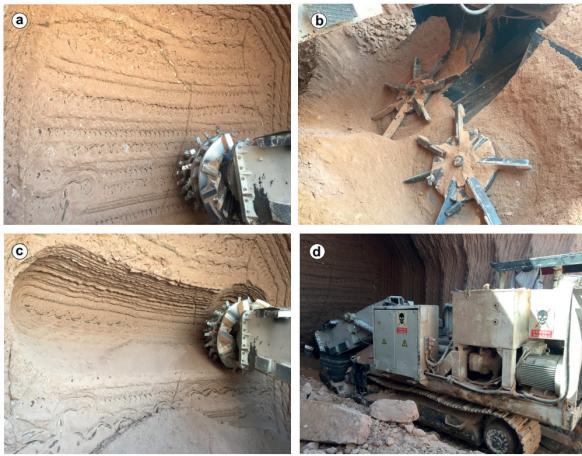
Şekil 7. Etkileşimli kesme deneylerinde SE ile  $s/d$  arasındaki ilişki (Yaşar ve Yılmaz, 2017b).

### 3. SAHA ÇALIŞMALARI

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen kaya kesme deneylerinin saha uygulamalarında kullanılması için bir adet KGAM çalışma sahası ziyaret edilmiştir. Ziyaret edilen sahadaki kazı aynasından kaya numunesi alınmıştır ve KGAM'nin NKH değerleri kaydedilmiştir.

Bu saha Nevşehir ili Ürgüp ilçesinde bulunmaktadır. İç Anadolu Bölgesi'nde, özellikle Nevşehir civarında, bu tip depolar çok sıklıkla inşa edilmektedir. Bu depoların inşasında ise genellikle kollu galeri açma makinelerine (KGAM) ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sahada yerel üretici tarafından imal edilen bir KGAM çalışmaktadır. Geçilen formasyon kristal tüftür ve kazı aynası toplamda iki adet süreksizlik içerdiği için masif olarak kabul edilmiştir.

Kullanılan KGAM aksiyel (eksenel) tip bir makinedir ve Şekil 8'de gösterilmiştir. Makinenin kesme gücü 110 kW, ağırlığı ise 42 ton'dur. KGAM 25 m<sup>2</sup>'lik bir açıklık kazmaktadır. Aynadan blok numuneler temin edilmiştir ve dikkatli bir şekilde korunarak nemini kaybetmesine izin vermeden laboratuvara getirilmiştir. Bu sahada da yalnızca net kazı hızı ölçülmüş diğer performans parametreleri ile ilgili herhangi bir veri toplanmamıştır. Bu depolarda genellikle tahkimat kullanılmamaktadır ve bundan dolayı makineler maksimum verimde kesme yapmaktadırlar. Sahada ölçülen net kazı hızı (NKH) 74,07 m<sup>3</sup>/saat'tir. Sahadaki KGAM'de keski olarak radyal keski kullanılmaktadır.



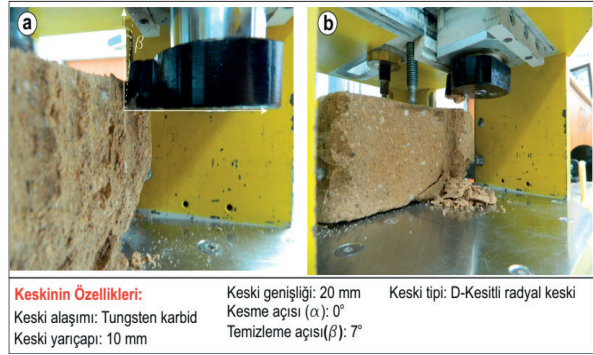
Şekil 8. (a) KGAM kesici kafa ve aynanın durumu (b) KGAM toplayıcı ünitesi (c) KGAM'nin kazı sırasındaki görüntüsü (d) KGAM'nin genel görünüşü (Yaşar, 2018).

Laboratuvara getirilen blok numuneler üzerinde DKKS'de kaya kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kaya kesme deneylerinde makine kesici kafası üzerinde bulunan keskiyle aynı geometriye sahip bir radyal keski kullanılmıştır. Şekil 9'da kesme deneylerinde kullanılan, kristal tüfe ait blok numune görülmektedir.



Şekil 9. Kaya kesme deneylerinde kullanılan kristal tüf numunesi

Sahadaki kesme işleminin laboratuvarında benzer şekilde gerçekleştirilebilmesi için yalnızca etkileşimli kaya kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kesme derinliği 10 mm olarak belirlenmiştir ve keski arası mesafe değiştirilerek optimum kesme durumu araştırılmıştır. Şekil 10'da deneylerde kullanılan radyal keski ve özellikleri görülmektedir.

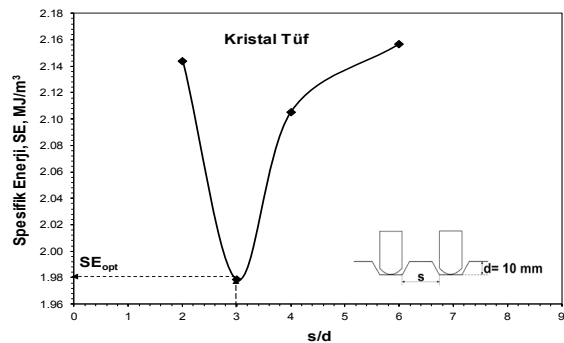


Şekil 10. (a) Kesme deneylerinde kullanılan radyal keski (b) Kristal tüf numunesinin kesilmesi

Kesme deneylerinin ardından spesifik enerjinin s/d oranı değişimi grafiği elde edilerek  $SE_{opt}$  değeri elde edilmiştir. Deneylerin sonucunda oluşan pasa miktarı (Q) ve spesifik enerji (SE) Çizelge 1'de ve elde edilen grafik Şekil 11'de gösterilmiştir.

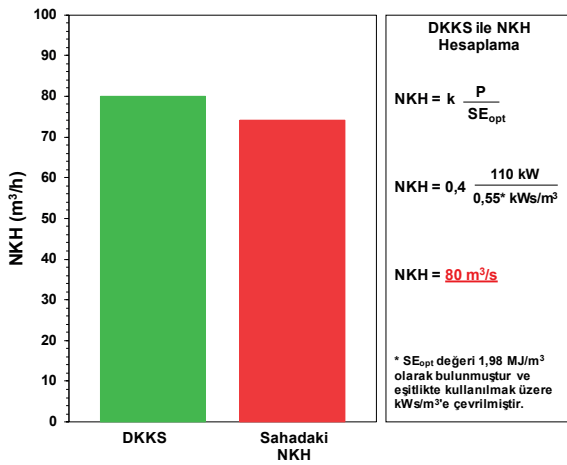
Çizelge 1. Etkileşimli kaya kesme deneylerinden elde edilen sonuçlar

Numune	d (mm)	s/d	Q (m <sup>3</sup> /km)	SE (MJ/m <sup>3</sup> )
Kristal tüf	10	2	0,259	2,14
		3	0,254	1,98
		4	0,217	2,11
		6	0,288	2,16



Şekil 11. Radyal keski ile gerçekleştirilen etkileşimli kesme deneylerinden elde edilen SE-s/d grafiği

$SE_{opt}$  değeri eşitlikte kullanılmak üzere  $kWsaat/m^3$ 'e çevrilmiştir. Makine kesme gücü  $kW$  olarak Eşitlik 1'de kullanılmıştır. Ayrıca enerji transfer oranı ( $k$ ) ise 0,4 olarak kabul edilmiştir. Her ne kadar  $k$  değerinin KGAM'ler için 0,45-0,55 arasında değiştiği belirtilse de Bilgin vd. (2005) aksiyel tip makineler için  $k$  değerinin 0,4 olarak kabul edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Sahada çalışan makine aksiyel tip bir makine olduğu için  $k$  değeri 0,4 olarak kabul edilerek hesaplamalara devam edilmiştir. DKKS ile hesaplanan NKH değeri ile sahadaki NKH değerinin karşılaştırılması Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12. Görgül olarak hesaplanan ve sahadaki ölçülen NKH değerleri

Şekil 12'den de görülebileceği gibi sahadaki gerçekleşen kazı hızları DKKS ile birlikte çok hassas olarak tahmin edilmiştir. Sahadan ölçülen değer  $74,07 \text{ m}^3/\text{sat}$  iken DKKS ile tahmin edilen değer  $80 \text{ m}^3/\text{saat}$ 'tir.

Kaya kesme deneyleri, kesilebilirlik ya da performans tahmininde kullanılan en önemli ve kesin yöntemlerdir. Ancak, çok az sayıda merkezde bulunmaktadır. Bundan dolayı, araştırmacılar çeşitli alternatif yöntemlere yönelmektedirler (tek eksenli basınç dayanımı deneyi gibi). Bu tip kaya mekaniği deneyleri statik kaya mekaniği prensiplerini takip etmektedir, ancak kaya kesme mekaniği dinamik kaya mekaniği kurallarına uymaktadır. Bundan dolayı, standart kaya mekaniği deneyleri, kaya kesme mekaniğini temsil edememektedir. DKKS sayesinde kaya kesme deneyleri daha kolay ve uygulanabilir olabilir. Bir kaya kesme de-

neyinde bulunması gereken şartlar Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM) tarafından şu şekilde belirtilmiştir (Bamford, 1987):

- Sahada kazı yapan makinenin kestiği kayaç spektrumu deneyde kesilebilmelidir. Yani, KGAM 120 MPa'a kadar kayaçları kazdığı varsayılırsa bu amaç için imal edilen bir deneyde 120 MPa'a kadar dayanıma sahip olan kayaçlar deneye tabi tutulabilmelidir,
- Deney güvenilir olmalıdır,
- Deneyin yapılışı kolay, hızlı ve ucuz olmalıdır,
- Deney yöntemi farklı araştırmacılar tarafından tekrar üretilebilir olmalıdır.
- Deneyde küçük boyutlarda numuneler kullanılmalıdır.

DKKS, burada belirtilen tüm kriterleri sağlamaktadır.

## SONUÇLAR

Taşınabilir ve seri üretime uygun olarak tasarlanan düşey kayaç kesme seti (DKKS), her kaya mekaniği laboratuvarında bulunan hidrolik eğilme ve basınç test makinelerinde kullanıma uygun olarak üretilmiştir. Gerçekleştirilen önceki çalışmalarda basit kama, konik, radyal vb. kesimler kullanılarak, DKKS'de kaya kesme deneylerinin gerçekleştirilebildiği gösterilmiştir. Bu çalışmada da konik kesimler ile yapılan çeşitli deneylerin sonuçları genel hatları ile gösterilmiştir. Ayrıca, konik ve radyal kesimler ile DKKS'de performans tahmini amacı ile tam boyutlu kesme deneyinin yapılabildiği gösterilmiştir. Yapılan saha çalışmasında, KGAM'nin net kazı hızı DKKS'de gerçekleştirilen kaya kesme deneylerinin yardımı ile tahmin edilmeye çalışılmıştır ve gerçeğe çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak, DKKS sayesinde, neredeyse rutin bir kaya mekaniği deneyi olarak gerçekleştirilen kaya kesme deneyleri ile KGAM'lerde performans tahmininde görgül yöntemlere olan bağımlılık azalacaktır. Hiçbir kaya mekaniği deneyi (tek eksenli basınç dayanımı vs.) kayaç kesilebilirliğini temsil etmeye yeterli değildir. Bundan dolayı, kayaç kesilebilirliğinin kestirilmesinde dolaylı yöntemler yerine kaya kesme deneylerinin kullanılması gerekmektedir.

tedir. Bu vesile ile DKKS gibi bir tasarım ile dolaylı yöntemler yerine doğrudan kesme deneyleri gerçekleştirilebilir.

## KAYNAKLAR

Aleman, V.P., 1983. Prediction Of Cutting Rates For Boom Type Roadheaders, Tunnels and Tunneling, 15, January, 23-25.

Balci, C. ve Bilgin, N., 2007. Correlative Study of Linear Small and Full Scale Rock Cutting Tests to Select Mechanized Excavation Machines, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 44, 468 - 476.

Bamford, W.E., 1987. Workshop On Rock Cuttability And Drillability, International Congress on Rock Mechanics, G. Herget ve S. Vongpaisal, Ed., Montreal, Volume 3, 1508–1510.

Bilgin, N., 1983. Prediction of Roadheader Performance From Penetration Rates of Percussive Drills: Some Applications to Turkish Coalfields. Eurotunnel '83 Conference, 22–24 June, Basle, Switzerland, 111–114.

Bilgin, N., Yazici, S., Eskikaya, S., 1996. A Model to Predict The Performance of Roadheaders And Impact Hammers in Tunnel Drivages, International Eurock '96 Symposium, Torino, 715-720.

Bilgin, N., Tümaç, D., Feridunoğlu, C., Karakaş, A.R., Akgül, M., 2005. The Performance of a Roadheader in High Strength Rock Formations in Kucuksu Tunnel. 31st ITA-AITES World Tunnel Congress, Istanbul, Turkey, 815–820.

Bilgin, N., Demircin, M.A., Çopur, H., Balci, C., Tunçdemir, H., Akçin, N., 2006. Dominant Rock Properties Affecting the Performance of Conical Picks and the Comparison of Some Experimental and Theoretical Results, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 43, 1, 139–156.

Bilgin, N., Balci, C., Tümaç, D., Feridunoğlu, C., Çopur, H., 2010. Development of a Portable Rock Cutting rig for Rock Cuttability Determination. In: Zhao J, Labiouse V, Dudt JP, Mathier JF (Eds) European rock mechanics symposium EUROCK 2010, Lausanne, pp 405–408.

Bilgin, N., Copur, H., Balci, C., 2014. Mechanical Excavation in Mining and Civil Industries, CRC Press, 366 s.

Çopur, H., Rostami, J., Ozdemir, L., Bilgin, N., 1997. Studies on Performance Prediction of Roadheaders Based on Field Data in Mining and Tunneling Projects, International 4th Mine Mechanization and Automation Symposium, Brisbane, 4A1–4A7.

Çopur, H., Tunçdemir, H., Bilgin, N. ve Dinçer, T., 2001. Specific Energy as a Criterion for Use of Rapid Excavation Systems in Turkish Mines, Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy Section A, 110, 149–157.

Demou, S.G., Olson, R.C., Wingquist, C.F. 1983. Determination of Bit Forces Encountered in Hard Rock Cutting for Application to Continuous Miner Design. Report of Investigations 8748. US Bureau of Mines.

Detournay, E., Drescher, A., Hultman, D.A., 1997. Portable Rock Strength Evaluation Device. United States Patent 5670711.

Entacher, M., Lorenz, S., Galler, R. 2014. Tunnel Boring Machine Performance Prediction with Scaled Rock Cutting Tests. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 70, 450–459.

Evans, I., 1984. A Theory of Cutting Forces for Point Attack Picks, International Journal of Mining Engineering, 2, 63-71.

Farmer, I.W. ve Garrity, P., 1987. Prediction of Roadheader Cutting Performance from Fracture Toughness Considerations, 6th International Congress on Rock Mechanics, Montreal, Canada, vol. 1, 621–624.

Gehring, K.H., 1989. A Cutting Comparison, Tunnels and Tunneling, 27–30.

Göktan, R.M., 1997. A Suggested Improvement on Evans'cutting Theory for Conical Bits, 4th International Symposium on Mine Mechanisation and Automation, H. Gürgenci ve M. Hood., Ed., Brisbane, Australia, 57–61.

Göktan, R.M., ve Güneş, N., 2005. A Semi-Emprirical Approach to Cutting Force Prediction for Point-Attack Picks, The Journal of the South Afri-

- can Institute of Mining and Metallurgy, 105, April, 257–263.
- Hurt, K.G., ve Laidlaw, D.G., 1979. Laboratory Comparison of Three Rock- Cutting Tools, Tunnels and Tunnelling, 6, 11-13.
- Hurt, K.G., 1980. Rock Cutting Experiments with Point Attack Tools, Colliery Guardian Coal International, April, 47–50.
- Hurt, K.G., ve MacAndrew, K.M., 1985. Cutting Efficiency and Life of Rock Cutting Picks. Mining Science and Technology, 2, 139–151.
- Inyang, H. I., 2002. Developments in Drag Bit Cutting of Rocks for Energy Infrastructure. International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, 16 (June), 248–260.
- Kang, H., Cho, J.W., Park, J.Y., Jang, J.S., Kim, J.H., Kim, K.W., Rostami, J., Lee, J.W., 2016. A New Linear Cutting Machine for Assessing the Rock-Cutting Performance of a Pick Cutter, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 88, 129-136.
- Kwietnewski, D., Henn, R., Brierley, G., 2011. Versatility of Roadheaders in Tunnel Construction, Tunneling & Underground Construction, 5, 2, 17-21.
- Matsui, K., ve Shimada, H., 1993. Rock Impact Hardness Index for Predicting Cuttability of Roadheader. Mine Mechanization and Automation, G. Almgren, U. Kumar, N. Vagenas, Ed., Balkema, Rotterdam, 265-270.
- Natau, O., Mutschler, T.H., Lempp, C.H., 1991. Estimation of the Cutting Rate And Bit Wear Of Partial Full Face Tunnelling Machines, 7th International Rock Mechanics Congress. ISRM, Aachen, 1591–1595.
- Restner, U., ve Plinninger, R.J., 2015. Rock Mechanical Aspects of Roadheader Excavation, EUROCK 2015 & 64th Geomechanics Colloquium, W. Schubert ve A. Kluckner, Ed., 249-254.
- Rostami, J., Özdemir, L., Neil, D., 1994. Performance Prediction: The Key Issue in Mechanical Hard Rock Mining, Mining Engineering, 1263-1267.
- Roxborough, F.F., ve Philips H.R., 1974. Experimental Studies on the Excavation of Rocks Using Picks, Advances in Rock Mechanics, Third ISRM Congress, Denver, 1407-1412.
- Roxborough, F.F., King, P., Pedroncelli, E.J., 1981. Tests on the Cutting Performance of a Continuous Miner, Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, January, 9–25.
- Roxborough, F.F., ve Liu, Z.C. 1995. Theoretical Considerations on Pick Shape in Rock and Coal Cutting. 6th Underground Operator's Conference, 189–193.
- Sandbak, L.A., 1985. Roadheader Drift Excavation and Geomechanical Rock Classification At San Manuel, Arizona. Rapid Excavation and Tunneling Conference, New York, vol. 2, 902–916.
- Schneider, H., 1988. Criteria for Selecting a Boom-Type Roadheader. Mining Magazine, September, 183-187.
- Thuro, K., ve Plinninger, R.J., 1999. Roadheader Excavation Performance-Geological and Geotechnical Influences, 9th ISRM Congress, 1241–1244.
- Tümaç, D., Bilgin, N., Feridunoğlu, C., Ergin, H. 2007. Estimation of Rock Cuttability from Shore Hardness and Compressive Strength Properties. Rock Mechanics and Rock Engineering, 40, 477–490.
- Yaşar, S., (2018). Kayaç Kesilebilirliğinin Tayini İçin Düşey Kayaç Kesme Setinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Yaşar, S. ve Yılmaz, A.O., (2017a). A Novel Mobile Testing Equipment for Rock Cuttability Assessment: Vertical Rock Cutting Rig (VRCR), Rock Mechanics and Rock Engineering, 50, 857-869.
- Yaşar, S. ve Yılmaz, A.O., (2017b). Vertical Rock Cutting Rig (VRCR) Suggested for Performance Prediction of Roadheaders, International Journal of Mining, Reclamation and Environment, DOI: 10.1080/17480930.2017.1363482.
- Yaşar, S. ve Yılmaz, A.O., (2017c). Rock Cutting Tests with a Simple-Shaped Chisel Pick to Provide Some Useful Data, Rock Mechanics and Rock Engineering, DOI: 10.1007/s00603-017-1303-2.







Orijinal Araştırma / Original Research

## **S<sub>20</sub> KIRILGANLIK İNDEKSİNİN KAYAÇLARIN PARÇALANABİLİRLİĞİ AÇISINDAN İNCELENMESİ**

*INVESTIGATION OF S<sub>20</sub> BRITTLENESS INDEX IN TERMS OF THE CRUSHABILITY OF ROCKS*

Ekin Köken<sup>a,\*</sup>, Hamit Aydın<sup>a,\*\*</sup>, Ahmet Özarslan<sup>a,\*\*\*</sup>

<sup>a</sup> Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak / TÜRKİYE

**Geliş Tarihi / Received** : 22 Mayıs / May 2018

**Kabul Tarihi / Accepted** : 27 Ağustos / August 2018

### **Anahtar Sözcükler:**

Parçalanabilirlik,  
Agrega,  
Kırılgenlik,  
Agrega darbe değeri,  
S<sub>20</sub> kırılgenlik indeksi

### **ÖZ**

Kayaçların kırılgenliğinin belirlenmesi, farklı madencilik uygulamalarında önemli bir ön tasarım aracı olarak kabul edilmektedir. Kayaçların dayanım - kırılgenlik ilişkisi, kayaçların delinebilirliği, kazılabilirliği ve parçalanabilirliği açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada kayaçların kırılgenlik derecesinin belirlenmesinde çoğunlukla kullanılan S<sub>20</sub> kırılgenlik indeksi deneyi, kayaçların parçalanabilirliği açısından incelenmiştir. Önceki çalışmalarda kullanılan kırılgenlik indeksleri özetlenmiş ve bu yaklaşımların S<sub>20</sub> kırılgenlik indeksi ile olan ilişkisi araştırılmıştır. On iki farklı kaya türünde gerçekleştirilen laboratuvar çalışmaları sonucunda, B<sub>3</sub> kırılgenlik indeksi ve saha çalışmalarda pratik ve tekrarlanabilirliği yüksek bir deney olan agregada darbe değeri testi (AIV) ile S<sub>20</sub> arasında anlamlı ilişkiler belirlenmiştir. Sonuç olarak kaya malzemesinin parçalanabilirliğinin niceliksel olarak tanımlanmasını amaçlayan bir sınıflama sistemi önerilmiştir. Önerilen sınıflama sisteminin kırma – eleme tesislerine uygun çeneli kırıcı seçiminde, agregaların aşınma ve parçalanma özelliklerinin ve iyi kalite kaya kütlelerinde gerçekleştirilen delme ve patlatma uygulamalarında özgül şarjın kestiriminde kullanılabilir.

### **ABSTRACT**

The determination of rock brittleness is acknowledged as an important pre-design tool in different mining applications. The relationship between strength - brittleness is quite important in terms of the drillability, excavability and crushability of rocks. In this study, S<sub>20</sub> brittleness index test mainly used to determine the degree of rock brittleness is investigated in terms of the crushability of rocks. The brittleness indexes used in previous studies are summarized and the relationship between these approximations and S<sub>20</sub> brittleness index are investigated. As a result of laboratory studies performed on twelve different rock types, remarkable relations are obtained between B<sub>3</sub>, S<sub>20</sub> brittleness index and aggregate impact value test (AIV) which are practical and highly repeatable in field studies. In consequence, a classification system is proposed quantitatively aiming to identify the crushability of rock material. The proposed classification may be used to choose jaw crusher proper to crushing – screening plant, predict abrasion and fragmentation properties of aggregates and powder factor in drilling and blasting applications executed in rock masses with good quality.

### **Keywords:**

Crushability,  
Aggregate,  
Brittleness,  
Aggregate impact value,  
S<sub>20</sub> Brittleness index

\* Sorumlu yazar: ekin.koken@beun.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0003-0178-329X>

\*\* haydin@beun.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0003-2165-5869>

\*\*\* ozarslan@beun.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-8763-6420>

Bu bildiri 2017 yılında düzenlenen 6. Uluslararası Maden Makinaları ve Teknolojileri Kongresi Bildiriler Kitabı'nda yayımlanmıştır. /

This paper was published in the 6th International Mining Machinery and Technologies Congress of Turkey held in 2017.

Bu makalenin tüm yayın hakları TMMOB Maden Mühendisleri Odası'na aittir © 2018 / Copyright © 2018 Published by UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey. All rights reserved.

## GİRİŞ

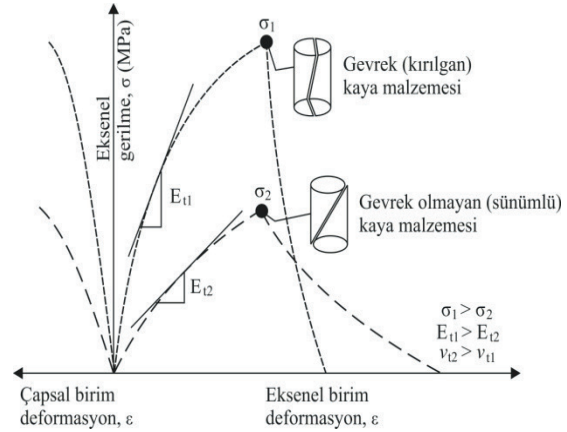
Kayaçların kırılma derecesinin belirlenmesi, kayaçların delinebilirliği, aşındırıcılığı ve yükler altındaki davranışının kestiriminde önemli bir büyüklük olarak kabul edilmektedir. Kayaçların en uygun seviyede enerji tüketimi ve buna karşılık gelen maliyeti ile çalışma sahasındaki iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerinin alınarak kazılması, madencilik verimliliği, sürdürülebilirliği ve ekolojik dengenin gözetilmesi açısından oldukça önemlidir. Kayaçların kırılma derecesini en temel olarak litolojik farklılık, tane boyu, mineralojik ve petrografik özellikler, ayrışma – bozunma ve kayaçların bulunduğu ortamın yapısal ve hidrojeolojik özellikleri kontrol etmektedir.

Madencilik alanında özellikle kazı mekaniği (aşındırıcılık, kesilebilirlik ve delinebilirlik konularında), delme-patlatma ve derin yeraltı açıklıklarında gözlenen kaya patlaması probleminin önlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda, kayaçların dayanıklılığı ve kırılma derecesini aşağıda listelenen olgular ile ilişkilendirilmektedir (Schwartz 1964; Howarth ve Rowlands 1987; Wawersik ve Fairhurst 1970; Pang ve Goldsmith 1990; Göktan 1991; Bruland 1998; Kahraman 2002; Altındağ 2002; Çopur vd. 2003; Cai vd. 2004; Günaydın vd. 2004; Yağız 2009; Yaralı ve Kahraman 2011; Guo vd. 2012; Tarasov ve Potvin 2013; Nejati ve Ghazvinian 2014; Yaşar vd. 2014; Meng vd. 2015; Özfırat vd. 2016; Xia vd. 2017).

- Kaya malzemesi ve kütlelerinin jeo-mekanik özelliklerinin belirlenmesi.
- Kayaçlardaki gerilme birim – deformasyon ilişkisinin ortaya konması.
- Kaya malzemesindeki çatlak başlangıcının belirlenmesi.
- İnceleme alanına ait yapısal ve hidrojeolojik özelliklerin ortaya konması
- Arazi gerilmesinin doğrultu ve büyüklüğünün belirlenmesi.

Taş ocaklarında kullanılan çeneli kırıcıların seçiminde, tam cepheli tünel açma makineleri ile açılan tünellerde keski ömrünün kestirimi ve delme oranı hakkında yapılan çalışmalarda da kayaçların dayanımı ile kırılma derecesini arasında anlamlı ilişkiler olduğu bilinmektedir (Weiss 1985; Singh 1986; Wills 1992; Duthoit 2000; Thuro ve Spaun 1996; Thuro vd. 2007).

Kayaçların aşındırıcılığının önemli olduğu keski tüketimi hakkında yapılan çalışmalarda mineralojik ve petrografik analizler önemli bir yer tutarken, kayaçların kırılma derecesini pratik olarak kendi mekanik özellikleri ile temsil edilmektedir. Kırılma derecesi esasında kayaçların yükler altındaki davranışının niceliksel bir ifadesi olarak tanımlanabilir. Kırılma (gevrek) bir kaya malzemesi ile sünümlü (gevrek olmayan) bir kaya malzemesinin eksenel yüklem altındaki davranışı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Gevrek ve gevrek olmayan kaya malzemelerinin tipik gerilme – birim deformasyon eğrisi ( $\sigma_1, \sigma_2$ : Tek eksenli basınç dayanımı,  $E_{11}, E_{12}$ : Teğetsel Young Modülü,  $\nu_{11}, \nu_{12}$ : Teğetsel Poisson Oranı).

Herhangi bir ayrışma - bozunma içermeyen ve kuru koşullar altındaki gevrek kaya malzemeleri genellikle sünümlü davranış gösteren kaya malzemelerine göre daha dik açılar ile kırılmaktadır (Şekil 1). Bu tip kayaçlara ait tek eksenli basınç dayanımı ve Teğetsel Young Modülü değerleri, sünümlü kayaçlardan daha yüksek olurken ( $\sigma_1 > \sigma_2$  ve  $E_{11} > E_{12}$ ), Teğetsel Poisson Oranı değerleri ise sünümlü kayaçlardan daha düşüktür ( $\nu_{12} > \nu_{11}$ ). Ancak farklı kayaçlar benzer eksenel deformasyon değerlerinde kırılabileceği gibi, benzer Young Modülü değerlerine de sahip olabilir. Bu açıdan kayaçların kırılma derecesinin farklı yöntemler ile ele alınmasında yarar vardır.

Bu çalışmada on iki farklı kaya türü üzerinde çeşitli kaya mekaniği ve agrega deneyleri gerçekleştirilmiş ve kayaçların kırılma derecesini farklı yaklaşımlar ışığında değerlendirilmiş, ayrıca saha çalışmalarında pratik olarak kullanılabilen agrega darbe dayanım deneyi ile  $S_{20}$  deneyi arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır.

## 1. MATERYAL VE METOT

Kayaçların kırılma derecesinin niceliksel olarak belirlenmesi amacıyla yapılmış pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda kayaçların kırılma derecesinin kestiriminde aşağıda ifade edilen üç ana değiştirge göz önünde bulundurulmuştur.

- Dayanım indeks yöntemleri: Özellikle tek eksenli basınç dayanımı, ( $\sigma_{ci}$  (MPa)) ve dolaylı çekme dayanımı ( $\sigma_{t\beta}$  (MPa)) kullanılmaktadır.
- Grafik çözüm yöntemleri: Kaya malzemesine ait gerilme – birim deformasyon eğrisi dikkate alınmaktadır.
- Mekanik parçalama yöntemleri: Kayaçların farklı deney yöntemleri ile kırılmasıyla ince tane oranının belirlenmesi esasına dayanmaktadır.

Bu çalışmada sözü edilen üç farklı alt grup altında değerlendirilen değiştirgeler  $S_{20}$  kırılma indeks değeri ile karşılaştırılmış ve kaya malzemesinin parçalanabilirliğinin arazide pratik olarak belirlenmesi amacıyla bir sınıflama sistemi geliştirilmiştir.

### 1.1. Kırılma İndeksleri

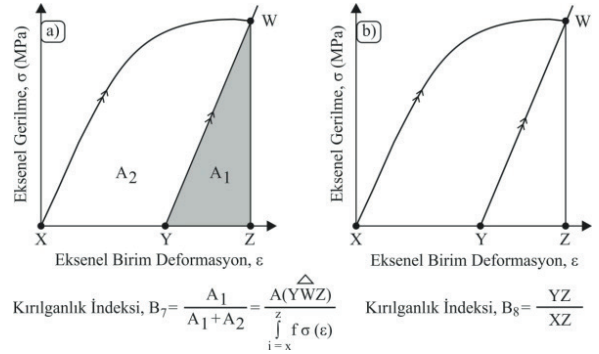
Dayanım indeks yöntemleri, kaya malzemesinin mekanik özellikleri arasındaki ilişkiyi esas alan niceliksel bir büyüklüğü ifade etmektedir. Çoğunlukla  $\sigma_{ci}$  ve  $\sigma_{t\beta}$  gibi mekanik özelliklerin dikkate alındığı dayanım indeks yöntemlerinden bazıları Çizelge 1’de verilmiştir.

**Çizelge 1. Dayanım indeks yöntemleri.**

Kırılma İndeksi	Görgül Bağıntı	Araştırmacı
B <sub>1</sub>	$\frac{\sigma_{ci}}{ \sigma_{t\beta} }$	Hucka ve Das (1974)
B <sub>2</sub>	$\frac{\sigma_{ci} -  \sigma_{t\beta} }{\sigma_{ci} +  \sigma_{t\beta} }$	Hucka ve Das (1974)
B <sub>3</sub>	$\frac{\sigma_{ci} \times  \sigma_{t\beta} }{2}$	Altındağ (2002)
B <sub>4</sub>	$2,57 \times \sqrt{\sigma_{ci}}$	Yağız ve Gökçeoğlu (2010)
B <sub>5</sub>	$E_n \times \rho_d$	Sharma ve Chopra (2012)
B <sub>6</sub>	$\frac{E_n^{0,51} \times  \sigma_{t\beta} ^{0,84}}{\sigma_{ci}^{0,21}}$	Nejati ve Moosavi (2017)

Grafik çözüm yöntemleri, kaya malzemesinin eksenel yüklemeye altındaki davranışını (gerilme – birim deformasyon ilişkisini) esas almaktadır.

Kaya malzemesine ait gerilme – birim deformasyon eğrisi kullanılarak belirlenen deformasyon enerjisinin (Şekil 2a) ve kaya malzemesinin kırıldığı andaki noktanın (W noktası), Teğetsel Young Modülü’nün belirlendiği doğrusallığa çizilen paralelin eksenel birim deformasyon eksenini kestiği noktadaki değeri (YZ mesafesi) belirlenerek kayaçların kırılma indeks değeri belirlenmektedir (Şekil 2b).

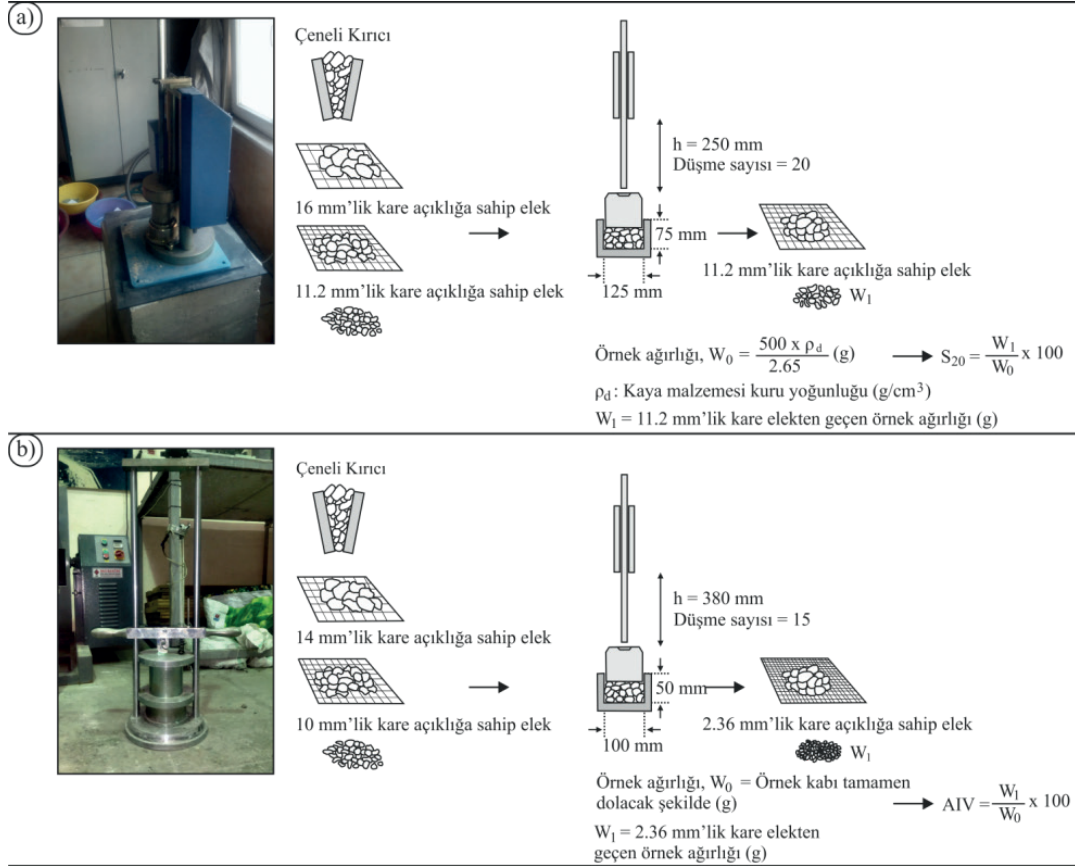


Şekil 2. Grafik çözüm yöntemleri a) Alanal yöntem b) Çizgisel yöntem (Hucka ve Das 1974’den düzenlenerek).

Gerilme – birim deformasyon eğrisinin esas alındığı grafik çözüm yöntemleri, Meng vd. (2015) tarafından ayrıntılı olarak incelenmiş olup, yenilme sonrası (post failure) gerilme – birim deformasyon eğrisinin dikliği dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Hesaplama yöntemlerinin zaman alması ve gelişmiş katı yüklemeye makinelerine duyulan ihtiyaç sebebiyle grafik çözüm yöntemlerinin kayaçların kırılma derecesinin kestiriminde kullanılabilirliği sınırlıdır.

Mekanik parçalama yöntemleri kullanılarak belirlenen kırılma indeks değeri ise agrega deneylerine benzer bir yaklaşım ile ele alınmaktadır.

Bu deneylerden önemli bir tanesi Prodotyakonov (1962) tarafından önerilen ve genellikle kömürler için kullanılan darbe dayanım indeksi (Impact strength Index, ISI) deneyidir. Bu çalışmada mekanik parçalama yöntemleri olarak  $S_{20}$  kırılma indeks deneyi ile agrega darbe dayanım deneylerine yer verilmiştir.  $S_{20}$  kırılma indeks deneyi ve agrega darbe dayanım indeksi deneyine ilişkin genel bilgiler Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Bu çalışmada kullanılan mekanik parçalama yöntemleri a) S20 kırılganlık testi b) Agregada darbe dayanım (AIV) testi

Bu çalışmada kırılganlık derecesinin belirlenmesinde esas olarak  $S_{20}$  kırılganlık deney sonuçları göz önünde bulundurulmuş olup,  $S_{20}$  deney sonuçlarına göre kayaların kırılganlık açısından sınıflandırılması Dahl vd. (2012)'ye göre Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2.  $S_{20}$  Kırılganlık indeksi sınıflaması (Dahl vd. (2012)).

$S_{20}$ (%)	Kırılganlık
$\geq 66$	Oldukça Yüksek
65,9 – 60	Çok Yüksek
59,9 – 51,0	Yüksek
50,9 – 41	Orta
40,9 – 35	Düşük
34,9 – 29,1	Çok Düşük
$\leq 29$	Oldukça Düşük

## 1.2. İncelenen Kayaların Jeolojik ve Petrografik Özellikleri

Bu çalışma kapsamında on iki adet kayaç kırılganlık açısından incelenmiştir. İncelenen kayaçlar litolojik olarak; granodiyorit, diyorit, andezit, bazalt, gabro, gnays, kumtaşı, kireçtaşı, silttaşı, marn ve tuf olarak tanımlanmıştır. Laboratuvar çalışmalarında ISRM (2007) tarafından ayrışmamış kayaç ( $W_0$ ) olarak tanımlanan kayaçlar kullanılmış olup, böylece ayrışma – bozunmanın kırılganlık üzerine olan etkileri en aza indirgenmiştir. Bu çalışmada incelenen kayalara ait genel jeolojik ve petrografik özellikler ise aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- Granodiyorit ve diyorit bileşimli kayaçlar, genellikle koyu gri ve gri tonlarda gözlenmekte olup, genellikle kuvars, plajiyoklas, biyotit, piroksen, hornblend ve opak minerallerden oluşmaktadır. Kayaçların tane boyutu çoğunlukla 0.5 mm ile 2.2 mm arasında değişmektedir. Kayaçlar genellikle faneritik dokudadır.

- Andezit bileşimli kayalar, genellikle gri, pembe ve sarı tonlarda gözlenmekte olup, çoğunlukla porfirik ve hiyalopilitik bir dokuya sahiptir. Andezitler çoğunlukla Na'ca zengin plajiyoklas (Albit), hornblend ve biyotit minerallerinden oluşmaktadır. Hamur fazı içerisindeki fenokristallerin boyutları 0.2 mm ile 1 mm arasındadır.
- Bazalt ve gabro olarak tanımlanan kayalar içerisinde, bazaltlar ince taneli (tane boyutu 0.01 – 0.5 mm arasında) ve gabro bileşimindeki kayalar ise orta ve iri taneli (tane boyutu 0.08 – 1.5 mm arasında) olarak tanımlanmaktadır. Bazaltik kayalar genelde koyu gri ve koyu yeşil tonlarında gözlenmektedir. Ayrıca bazalt olarak tanımlanan kayalar genelde hiyalopilitik dokuda olup, gabrolar ise poikilitik dokudadır.
- İncelenen kayaç gruplarındaki tek metamorfik kayaç olan gnays iri taneli olup, tane boyutu 0.4 mm ile 2.4 mm arasında değişmektedir. Gnayslar foliasyonlu bir yapıya sahip olup, bantlı yapılarındaki iri plajiyoklaslarda kısmen yönlendirilmiştir.
- İncelenen kumtaşıları koyu gri tonlarda gözlenmekte olup, ince taneli bir yapıya sahiptir. Kumtaşılarındaki tanelerin boyutu 0.05 mm ile 0.1 mm arasında değişmektedir. Ayrıca kumtaşıları laminalı bir yapıya sahiptir.
- Kireçtaşları koyu gri tonlarda olup, mikritik özelliktedir. Mikritik karbonat tanelerin boyutu 0.003 mm ile 0.02 mm arasında değişmektedir. Ayrıca kireçtaşları gelişigüzel kalsit damarları içermektedir.
- İncelenen karbonatlı kireçtaşı olarak tanımlanan marnların tane boyutu 0.02 mm ile 0.06 mm arasındadır. Kayalar yumuşak ve gevşek dokusu ile dikkat çekmektedir. Marnlar tırnakla çizilmekte olup, numune hazırlama esnasında bu kayaların sudan oldukça fazla etkilendiği gözlenmiştir.
- Tüfler genelde kahverengi tonlarda olup, tane boyutu 0.05 mm ile 0.1 mm arasındadır. Boşluklu bir yapıya sahip olan tüfler, yoğunluk farkı ile beraber bulunduğu ignimbrit türü kayalardan ayrılmaktadır.

## 2. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

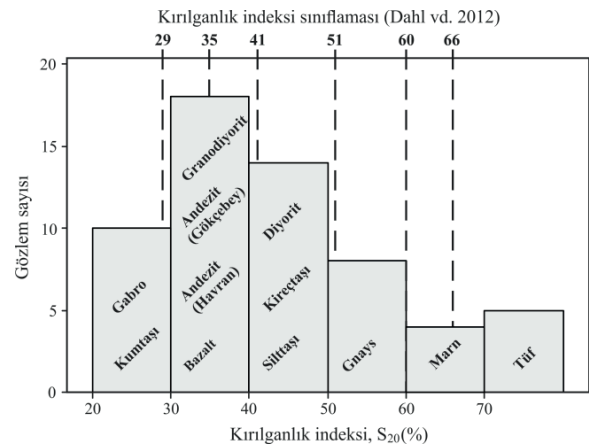
Laboratuvar çalışmaları kapsamında, kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Aynı

ca kayaların kırılma derecesinin belirlenmesi için  $S_{20}$  kırılma indeks deneyi ile agrega darbe dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.  $S_{20}$  kırılma indeks deneyi, Norveç Teknoloji Enstitüsü (NTNU) ve SINTEF ortaklığı tarafından 1960 yılından beri uygulanan bir deney yöntemidir.

Bu deney yöntemi hakkındaki genel bilgiler Dahl (2003) tarafından ayrıntılı şekilde ifade edilmiş ve Şekil 3'te özetlenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan agrega darbe dayanım deneyi ise BS 812 -112 (1990) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. ve laboratuvar deney sonuçları toplu olarak Çizelge 3'te verilmiştir.

İncelenen kayaların kırılma dereceleri Dahl vd. (2012) tarafından önerilen  $S_{20}$  kırılma indeksine göre (Bkz. Çizelge 2) değerlendirilmiştir. Çizelge 2'ye göre, gabro ve kumtaşı türündeki kayalar çoğunlukla "Oldukça Düşük" kırılma derecesinde, granodiyorit, andezit ve bazalt türündeki kayalar "Çok Düşük" ve "Düşük" kırılma derecesindedir. Diyorit, kireçtaşı ve siltaşı türündeki kayalar çoğunlukla "Orta" kırılma derecesinde olup, gnays kayacı ise "Yüksek" kırılma derecesindedir. Marn kayacı "Çok Yüksek" ve "Oldukça Yüksek" kırılma derecesine sahiptir (Şekil 4).



Şekil 4. İncelenen kayaların litolojilerine göre  $S_{20}$  kırılma indekslerindeki değişimi.

İncelenen kayaların kırılma dereceleri,  $S_{20}$  kırılma indeksine göre belirlenmiş ve  $S_{20}$  ile bu çalışmada kullanılan dayanım indeks yöntemleri

(Bkz. Çizelge 1), grafik çözüm yöntemleri (Bkz. Şekil 2) ve agrega darbe dayanımı (Bkz. Şekil 3) arasındaki ilişkiler araştırılmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 4'e göre  $S_{20}$  ile dayanım indeks yöntem-

Çizelge 3. İncelenen kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri.

Kayaç Türü	Lokasyon	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	n (%)	$\sigma_{IB}$ (MPa)	$\sigma_{ci}$ (MPa)	$E_{ii}$ (GPa)	AIV (%)	$S_{20}$ (%)
Granodiyorit	Havran /	27,23 ± 0,83	0,66 ± 0,16	6,57 ± 0,60	154,34 ± 11,05	71,98 ± 3,02	14,67 ± 1,37	33,26 ± 2,80
	Balıkesir	(24)	(24)	(10)	(5)	(7)	(10)	(6)
Andezit	Havran /	23,92 ± 0,34	1,98 ± 0,22	5,91 ± 0,46	84,54 ± 5,27	22,00 ± 1,85	22,30 ± 3,22	37,70 ± 2,34
	Balıkesir	(18)	(18)	(10)	(8)	(7)	(7)	(7)
Kireçtaşı	Havran /	25,43 ± 0,13	0,39 ± 0,06	7,56 ± 0,74	82,32 ± 7,51	33,85 ± 3,93	17,13 ± 2,46	49,00 ± 3,13
	Balıkesir	(10)	(10)	(10)	(5)	(5)	(8)	(6)
Bazalt	Ilıca /	26,86 ± 0,23	0,88 ± 0,21	15,47 ± 1,57	143,66 ± 15,26	50,32 ± 3,35	11,50 ± 0,60	40,70 ± 2,91
	Kütahya	(26)	(26)	(8)	(10)	(5)	(8)	(5)
Kumtaşı	Üzülmöz /	25,56 ± 0,17	2,67 ± 0,70	11,20 ± 1,72	144,47 ± 23,33	31,27 ± 4,84	15,58 ± 1,44	29,77 ± 3,00
	Zonguldak	(30)	(30)	(12)	(12)	(6)	(8)	(7)
Silttaşı	Üzülmöz /	25,50 ± 0,35	5,28 ± 1,66	7,00 ± 2,05	48,14 ± 17,83	15,42 ± 2,03	26,13 ± 2,18	37,03 ± 2,66
	Zonguldak	(29)	(29)	(10)	(15)	(5)	(8)	(6)
Marn	Dursunbey /	20,58 ± 0,18	10,38 ± 2,18	2,06 ± 0,50	29,14 ± 4,00	3,56 ± 0,95	39,24 ± 2,50	67,68 ± 3,12
	Balıkesir	(8)	(8)	(5)	(5)	(4)	(5)	(4)
Gnays	Güney /	25,92 ± 0,22	0,66 ± 0,10	7,55 ± 0,86	80,96 ± 14,61	36,00 ± 3,85	31,21 ± 3,28	54,83 ± 2,60
	Denizli	(9)	(9)	(5)	(5)	(5)	(7)	(7)
Gabro	Yenice /	28,24 ± 0,38	0,17 ± 0,03	20,25 ± 1,51	188,29 ± 21,18	70,98 ± 7,86	9,02 ± 1,21	25,41 ± 1,65
	Karabük	(16)	(16)	(11)	(7)	(5)	(10)	(7)
Andezit	Gökçebe /	23,14 ± 0,16	5,45 ± 0,53	6,38 ± 0,94	106,56 ± 6,02	25,21 ± 2,84	17,35 ± 1,53	39,66 ± 2,14
	Zonguldak	(8)	(8)	(5)	(5)	(4)	(7)	(6)
Diyorit	Gökçebe /	27,66 ± 0,15	1,07 ± 0,12	6,35 ± 0,77	113,07 ± 8,70	33,41 ± 3,70	16,40 ± 1,31	47,21 ± 2,42
	Zonguldak	(10)	(10)	(10)	(8)	(4)	(8)	(7)
Tüf	Develi /	21,31 ± 0,40	11,26 ± 2,09	2,92 ± 0,36	19,75 ± 3,56	3,30 ± 0,66	43,87 ± 2,68	72,52 ± 2,98
	Kayseri	(10)	(10)	(7)	(7)	(5)	(8)	(5)

**Açıklamalar:** Ortalama ± standart sapma (Örnek sayısı),  $\gamma_d$ : Kuru birim hacim ağırlık, n: Görünür gözeneklilik,  $\sigma_{IB}$ : Dolaylı çekme dayanımı,  $\sigma_{ci}$ : Tek eksenli basınç dayanımı,  $E_{ii}$ : Teğetsel Young Modülü, AIV: Agrega darbe indeks değeri,  $S_{20}$ : Kırılma indeksi

Çizelge 4. Bu çalışmada kullanılan farklı kırılma indeksleri ile  $S_{20}$  kırılma indeksi arasındaki ilişki katsayıları.

Kırılma İndeksi	Bağımsız Değişkene Ait Görgül Bağlantı	R <sup>2</sup>	Araştırmacı
B <sub>1</sub>	$\frac{\sigma_{ci}}{ \sigma_{t\beta} }$	0.06	Hucka ve Das (1974)
B <sub>2</sub>	$\frac{\sigma_{ci} -  \sigma_{t\beta} }{\sigma_{ci} +  \sigma_{t\beta} }$	0.09	Hucka ve Das (1974)
B <sub>3</sub>	$\frac{\sigma_{ci} \times  \sigma_{t\beta} }{2}$	0.81	Altındağ (2002)
B <sub>4</sub>	$2,57 \times \sqrt{\sigma_{ci}}$	0.78	Yağız ve Gökçeoğlu (2010)
B <sub>5</sub>	$E_{ii} \times \rho_d$	0.65	Sharma ve Chopra (2012)
B <sub>6</sub>	$\frac{E_{ii}^{0,51} \times  \sigma_{t\beta} ^{0,84}}{\sigma_{ci}^{0,21}}$	0.69	Nejati ve Moosavi (2017)
B <sub>7</sub>	Alansal grafik çözüm yöntemi*	0.35	Hucka ve Das (1974)
B <sub>8</sub>	Çizgisel grafik çözüm yöntemi*	0.23	Hucka ve Das (1974)

Not:  $\sigma_{ci}$  = MPa,  $\sigma_{IB}$  = MPa  $E_{ii}$  = GPa  $\rho_d$  = g/cm<sup>3</sup> birimindedir. Şekil 2'de ifade edilen grafik çözüm yöntemleri.

leri arasındaki en anlamlı ilişki, Altındağ (2002) tarafından önerilen  $B_3$  kırılma indeksi arasında olurken, grafik çözüm yöntemlerinden elde edilen kırılma indeksleri ( $B_7$ ,  $B_8$ ) ile anlamlı ilişkiler elde edilememiştir. Ayrıca  $S_{20}$  ile AIV arasında da

anlamlı bir ilişki belirlenmiştir.

Önceki çalışmalardan elde edilen bulgular ve Çizelge 3'te ifade edilen verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesinden elde edilen sonuçlar, kayaçların mekanik dayanım değişirgeleri ile kırılma indeksi arasında doğrudan bir ilişki olduğunu desteklemektedir.

Benzer şekilde  $S_{20}$  ve AIV deney düzenekleri arasındaki benzerlikler, deneyler için hazırlanan numune boyutlarının nispeten birbirine yakın olması ve bu iki deney yönteminde esas alınan parçalanma mekanizması (belirli ağırlıktaki bir çekicinin tekrar eden serbest düşme ile deney numunesini parçalaması), sözü edilen iki değişirge arasında anlamlı bir ilişki bulunmasına olanak sağlamaktadır.

Çizelge 3'teki verilerin analizi sonucunda elde edilen başka bir bulgu ise, farklı litolojik ve dayanım özelliklerine sahip kayaçların benzer kırılma derecelerine sahip olmasıdır.

Bu çalışmada ayrıştırmamış kayaçların kullanıldığı

gözetildiğinde, tane boyutu ile kırılmalık arasında istatistiksel bir ilişki belirlenememiş ancak dayanım sınıf aralıkları ile kırılmalık arasında bir geçiş bölgesinin olduğu belirlenmiştir.

Deere ve Miller (1966)'a göre  $\sigma_{ci} > 100$  MPa değerine sahip kayalar "Yüksek Dayanımlı Kayaç" sınıfında yer almaktadır. Bu dayanım aralığının  $S_{20}$  kırılmalık indeks sınıflamasındaki yerinin belirlenmesinin, kayaların kırılmalığı konusunda genel bir kanı ve uygulamalarda bir pratiklik oluşturulması hususunda önemli olduğu yazarlar tarafından düşünülmektedir.

Dahl vd. (2012)'e göre düşük ve orta derecede kırılmalığa sahip kayaların  $S_{20}$  değer aralığı %35 ile %51 arasındadır. Bu değer aralığı dışına çıktığında kayaların  $\sigma_{ci}$  değerinde belirgin bir farklılık gözlenmektedir. Şekil 5 bu açıdan incelendiğinde,  $\sigma_{ci} < 100$  MPa değerine sahip kayaların yüksek derecede kırılmalık olduğu,  $\sigma_{ci} \geq 100$  MPa değerine sahip kayaların ise düşük derecede kırılmalık olduğu görülmektedir. Tek eksenli basınç dayanımı değerinin 100 MPa civarında olduğu kaya türlerinde ise kayaların kırılmalığı düşük ve orta derecededir. Bu kritik değerin ( $\sigma_{ci} \approx 100$  MPa) aslında bu çalışmada incelenen kayaların kırılmalığı konusunda bir geçiş bölgesi (düşük kırılmalıktan yüksek kırılmalığa doğru) olduğu söylenebilir.

### 3. TARTIŞMA

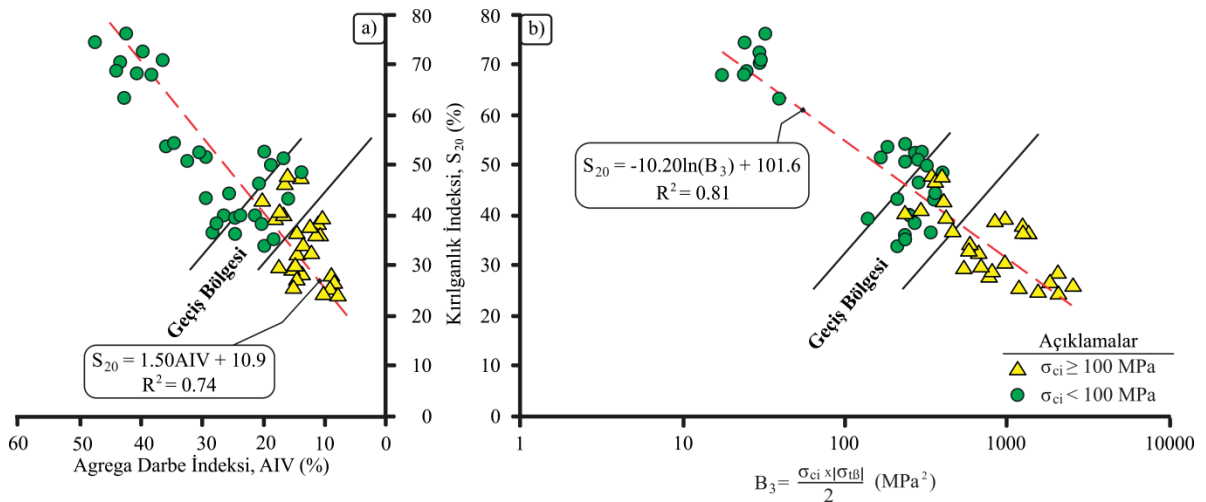
Kayaların yükler altındaki davranışının ortaya konması, gerek yerüstü gerekse yeraltı madencilik uygulamalarında oldukça önemli bir yer teşkil etmektedir. Dayanım – kırılmalık ilişkisi kaya malzemesi boyutunda nispeten açıklanabilmektedir. Ancak bu ilişkinin kaya kütlesi boyutundaki anlaşılabilirliği, pratik uygulamalarda halen karmaşıklığını korumakta ve bu kapsamda çalışmalar devam etmektedir.

Kayaların kırılmalığının tanımlanması ve yorumlanması farklı açılardan değerlendirilebilir. Bu çalışmada  $S_{20}$  kırılmalık indeksi, kayaların kırılmalığının parçalanabilirlik açısından bir ifadesi olarak yorumlanmaktadır.

Ancak kırılmalık bir malzeme davranışı olarak düşünüldüğünde, gevrek malzemelerin daha kırılmalık, sünek malzemelerin ise daha az kırılmalık olduğunu söylemek mümkündür. Meng vd. (2015), önceki çalışmalarda ifade edilen ve kırılmalığın kestiriminde kullanılan dayanım indeks değıştirmelerinin fiziksel anlamda kırılmalığı ifade etmediğini, aksine bu indekslerin mekanik değıştirmeler olarak yorumlanması gerektiğini vurgulamıştır.

Grafik çözüm yöntemlerinin kullanılmasıyla elde edilen  $B_7$  ve  $B_8$  kırılmalık indeks değerlerinin  $S_{20}$  kırılmalık indeks değeri ile arasındaki düşük ilişki katsayıları (Bkz. Çizelge 4), Meng vd. (2015)'nin

Şekil 5. a) AIV ile  $S_{20}$  arasındaki ilişki b)  $B_3$  kırılmalık indeksi ile  $S_{20}$  arasındaki ilişki.





bu savını destekler niteliktedir.  $S_{20}$  kırılabilirlik indeksinin parçalanabilirlik (ufalanabilirlik) olarak yorumlandığında ise, dayanım indeks yöntemlerinin  $S_{20}$  değerinin kestiriminde kullanılması oldukça anlamlıdır.

Kahraman ve Toraman (2008) belirli tane boyutundaki (19 – 9.52 mm) 500 gr agregata malzemesini belirli bir ağız açıklığına sahip çeneli kırıcıya besleyerek (çeneli kırıcı ağız açıklığı = 4 – 8 mm arasında) bir dizi parçalanma indeks deneyleri gerçekleştirmiştir. Agregalarda meydana gelen parçalanmayı Parçalanma İndeksi (CI) olarak tanımlamış (9.52 mm'lik elekten geçen agregata miktarının toplam agregata miktarına olan oranı olarak) ve CI ile Los Angeles Aşınma Direnci (LAA) arasında anlamlı bir ilişkinin bulunduğunu ifade etmiştir.

Özçelik (2011) ise LAA ile  $\sigma_{ci}$  arasında anlamlı bir ilişki olduğunu belirtmiştir. Söz konusu bu çalışma da kayaçların dayanım – aşınma ilişkisini açık bir şekilde gözler önüne sermektedir.

$S_{20}$  kırılabilirlik indeks deneyi, kayaçların parçalanması ilkesine dayandığından, bu indeks değerinin kayaçların parçalanabilirliği açısından yorumlanması düşünülebilir. Çizelge 5'te önceki çalışmalarda  $S_{20}$  kırılabilirlik indeks değerinin kestirimi amacıyla önerilen bazı görgül yaklaşımlar görülmektedir.

Çizelge 5'e göre, Yaşar vd. (2014) dışındaki görgül bağıntılarda  $S_{20}$  ile  $\sigma_{t\beta}$ ,  $\sigma_{ci}$  ve  $B_3$  kırılabilirlik indeksi arasında anlamlı ilişkiler olduğu görülmektedir. Yaşar vd. (2014), kayaçların kırılabilirlik özellikleri ile kazılabilirlik değişimlerinin araştırılmasını içermekte olup, bu çalışmada kireçtaşı, bazalt, bakır cevheri, kumtaşı, ve tuf gibi kayaçlar kullanmış ve kesme kuvveti ile  $B_3$  arasında  $R^2=0.80$  ve  $S_{20}$  ile arasında  $R^2=0.17$  olan ilişki katsayıları belirlemiştir. Sözü edilen bu çalışmada kullanılan kayaçların  $\sigma_{ci}$  değerleri 50 – 120 MPa arasında,  $S_{20}$  değerleri ise %35 ile %62 arasında değişmektedir. Çoğunlukla orta dayanımlı kayaçların kullanıldığı ve istatistiksel analizler için örnek sayısının yeterli olmadığı (Çalışmada 6 örnek kullanılmıştır.) düşünüldüğünde  $S_{20}$  ile  $B_3$  arasında anlamlı bir ilişkinin belirlenemeyişi açıklık kazanabilir.

Dahl (2003) tarafından kayaçların delinebilirlik indeksi olarak tanımlanan DRI (Drilling Rate Index)

değerinin belirlenmesinde  $S_{20}$  değeri bir dayanım değıştirgesi gibi kullanılmaktadır.

Thuro ve Spaun (1996) kayaçların delinebilirliği üzerine yaptığı çalışmada, delme oranı (Drilling Rate, DR) ile  $\sigma_{ci}$  arasında  $R^2=0.63$  ve DR ile  $B_1$  kırılabilirlik indeksi arasında  $R^2=0.02$  olan ilişki katsayıları belirlemiştir. Ancak Gerilme – birim deformasyon eğrisini kullanarak belirlediği yenilme anındaki deformasyon enerjisi (Thuro ve Spaun 1996'da Şekil 2'deki  $A_1+A_2$  alanlarının toplamı deformasyon enerjisi olarak tanımlanmıştır.) ile DR arasında  $R^2=0.85$  olan bir ilişki katsayısı belirlemiştir. Fiziksel olarak kırılabilir ve dayanımı yüksek olan kayaçların delme oranlarının sünek kayaçlara oranla daha düşük olduğunu ifade eden bu çalışmadan da anlaşılacağı üzere, gerilme – birim deformasyon eğrisini temel alan yaklaşımların kazı mekaniğinde daha anlamlı sonuçlar verdiği söylenebilir.

Bu çalışmada ise gerilme – birim deformasyon eğrisi kullanılarak  $B_7$  ve  $B_8$  kırılabilirlik indeksleri belirlenmiş ancak  $S_{20}$  ile aralarında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.  $B_7$  ve  $B_8$  kırılabilirlik indekslerinin  $S_{20}$ 'nin kestiriminde yetersiz kalışı, buna karşılık  $S_{20}$  ile AIV arasındaki anlamlı ilişki (Bkz. Çizelge 5),  $S_{20}$  deneyinin fiziksel olarak kayaçların parçalanma derecesinin bir göstergesi olduğunu ifade etmektedir.

Çizelge 5.  $S_{20}$ 'nin kestiriminde kullanılan bazı görgül bağıntılar.

Bağımsız Değişken	Görgül Bağıntı	$R^2$	Araştırmacı
$\sigma_{t\beta}$	$S_{20} = 66,44 - 2,32 \times \sigma_{t\beta}^{(*)}$	0,75	Su vd. 2014
$\sigma_{ci}$	$S_{20} = 74,05 - 0,56 \times \sigma_{ci}^{(*)}$	0,60	Su vd. 2014
$\sigma_{ci}$	$S_{20} = 65,48 \times e^{-0,006\sigma_{ci}}$	0,84	Hosseini vd. 2015
$B_3$	$S_{20} = 56,66 - 0,021 \times B_3$	0,35	Yaşar vd. 2014
$B_3$	$S_{20} = 53,98 - 0,037 \times B_3$	0,78	Su vd. 2014
$B_3$	$S_{20} = 86,77 - 8,32 \times \ln(B_3)$	0,78	Hosseini vd. 2015
$B_3$	$S_{20} = 101,6 - 10,20 \times \ln(B_3)$	0,81	Bu çalışma
AIV	$S_{20} = 10,90 + 1,50 \times AIV$	0,74	Bu çalışma

(\*) Görgül bağıntıdaki bağımlı değişken (y) ve bağımsız değişken (x) değerleri yer değiştirilerek görgül bağıntı yeniden düzenlenmiştir.

Çizelge 3'te verilen deney sonuçları kullanılarak bir dizi istatistiksel analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda, özellikle kaya malzemesinin parçalanma derecesinin niceliksel olarak tanımlanmasını amaçlayan bir kaya malzemesi parçalanabilirlik sınıflaması geliştirilmiştir (Çizelge 6).

Çizelge 6. Bu çalışmada önerilen kaya malzemesi parçalanabilirlik sınıflaması.

$S_{20}$ (%)	AIV (%)	$B_3$ (MPa <sup>2</sup> )	Parçalanabilirlik
≥ 66	≥ 40	≤ 65	Oldukça Yüksek
65,9 - 60	40 - 35	65 - 100	Çok Yüksek
59,9 - 51,0	35 - 28	100 - 200	Yüksek
50,9 - 41	28 - 22	200 - 430	Orta
40,9 - 35	22 - 18	430 - 720	Düşük
34,9 - 29,1	18 - 14	720 - 1.200	Çok Düşük
≤ 29	≤ 14	≥ 1.200	Oldukça Düşük

Dahl vd. (2012) tarafından önerilen kırılma indeks sınıflamasına ait değer aralıkları

Çizelge 6'da ifade edilen değişirgeler, kırma – eleme tesislerinde kullanılan çeneli kırıcıların seçiminde, agregaların aşınma ve parçalanma derecesinin kestiriminde ve delme – patlatma uygulamalarında önemli bir konu olan özgül şarjın kestiriminde (İyi kalite kaya kütlelerinde: Jeomekanik sınıflama sistemi puanı,  $RMR_{90} > 61$ ) bir ön tasarım aracı olarak kullanılabilir.

## SONUÇLAR

Kayaçların parçalanabilirliğinin pratik olarak kestirimini amaçlayan bu çalışmada,  $S_{20}$  kırılma indeks değeri kayaçların parçalanabilirliği açısından incelenmiştir. On iki farklı kaya türünde gerçekleştirilen laboratuvar çalışmaları sonucunda,  $S_{20}$  kırılma indeksi ile önceki çalışmalarda sıklıkla kullanılan kırılma indeksleri arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır.

Gerçekleştirilen istatistiksel analizler sonucunda  $S_{20}$  ile  $B_3$  arasında anlamlı bir ilişki belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan agrega darbe dayanım deneylerinden elde edilen AIV değeri ile  $S_{20}$  arasında da anlamlı bir ilişki bulunmuştur.

Kayaçlardaki  $S_{20}$  kırılma derecesinin  $\sigma_{ci} \geq 100$  MPa olduğu durumlarda belirgin olarak azaldığı

belirlenmiştir. Sonuç olarak kaya malzemesinin parçalanma derecesinin niceliksel olarak kestirimini amaçlayan bir sınıflama sistemi önerilmiştir.

Önerilen sınıflama sisteminin farklı madencilik uygulamalarında pratik olarak kullanılabilmesi düşünülmektedir. Ayrıca bu çalışmada önerilen sınıflama sisteminin örnek sayısı artırılarak geliştirilmesi, ayrıca sınıflama sistemine ilave bağımsız değişirgelerin eklenmesi ile sınıflama sisteminin zenginleştirilmesi önerilmektedir.

**NOT:** Bu çalışma 6. Uluslararası Maden Makinaları ve Teknolojileri Kongresi'nde (18-21 Ekim 2017 - İzmir / Türkiye) sunulmuştur.

**NOTE:** This study was presented in 6<sup>th</sup> International Congress of Mining Machinery and Technology (18 - 21 October 2017 - Izmir / Turkey).

## KAYNAKLAR

Altindag R 2002. The Evaluation of Rock Brittleness Concept on Rotary Blasthole Drills. J. South Afr. Inst. Min. Metall. 102 61–66.

Bruland, A. 1998. Drillability Test Methods. NTNU Trondheim.

BS 812-112 1990. British Standard: Testing Aggregates; Method for Determination of Aggregate Impact Value (AIV) 14pp.

Cai, M., Kaiser, P.K., Tasaka Y., Maejima T., Morioka H., Minami M. 2004. Generalized Crack Initiation and Crack Damage Stress Thresholds of Brittle Rock Masses near Underground Excavations. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 41 833–847.

Copur H., Bilgin N., Tuncdemir H., Balci C. 2003. A Set of Indices Based on Indentation Test for Assessment of Rock Cutting Performance and Rock Properties. J. South A. Inst. Min. Met. 103 (9) 589–600

Dahl, F. 2003. The Sugessted DRI, BWI, CLI Standards. NTNU, Angleggsdrift, Trondheim, Norway.

Dahl, F., Bruland A., Jakobsen P.D., Nilsen B., Grøv E., (2012) Classifications of Properties Influencing the Drillability of Rocks Based on the NTNU/SINTEF Test Method. Tunn. Undergr. Sp. Tech. 28 150–158.

Deere D.U., Miller R.P. 1966. Engineering Classification and Index Properties for Intact Rocks.

- Tech. Report. Air Force Weapons Lab., New Mexico, No. AFNL-TR, 65–116.
- Duthoit, V. 2000. Crushing and Grinding. Aggregates, Ch. 9, (Ed. Louis Primel and Claude Tourenq). Balkema, Rotterdam.
- Goktan, M. 1991. Brittleness and Micro-scale Rock Cutting Efficiency. *Min. Sci.Tech.*, 13 237–241.
- Gunaydin O., Kahraman S., Fener M. 2004. Sawability Prediction of Carbonate Rocks from Brittleness Indexes. *J. South Afr. Inst. Min.*, 104(4) 239–243.
- Guo Z., Chapman M., Li X. (2012). A Shale Rock Physics Model and Its Application in the Prediction of Brittleness Index, Mineralogy, and Porosity of the Barnett Shale. SEG Annual Meeting, Soc. Expl. Geophy., 1–5 Las Vegas, Nevada
- Hosseini R., Lashkaripour G.R., Moghadas N.H., Ghafoori M. 2015. Estimation of  $S_{20}$ -Brittleness (As An Input Parameter in Drilling Rate Index, DRI) Using Other Types of Brittleness. 11<sup>th</sup> Iranian and 2<sup>nd</sup> Regional Tunnel Conf. Tehran - Iran.
- Howarth, D.F., Rowlands, J.C. 1987. Quantitative Assessment of Rock Texture and Correlation with Drillability and Strength Properties. *Rock Mech. Rock Eng.* 20 (1) 57–85.
- Hucka V., Das B. 1974. Brittleness Determination of Rocks by Different Methods. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geo Abst.*, 11(10) 389–392.
- ISRM 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974–2006. In: Ulusay R, Hudson JA (eds) Suggested methods prepared by the commission on testing methods. International Society for Rock Mechanics (ISRM), Ankara, Turkey.
- Kahraman, S. 2002. Correlation of TBM and Drilling Machine Performance with Rock Brittleness. *Eng. Geol.*, 65 269–283.
- Kahraman S., Toraman O.Y. 2008. Predicting Los Angeles Abrasion Loss of Rock Aggregates from Crushability Index. *Bull. Mat. Sci.* 31(2) 173–177.
- Meng F., Zhou H., Zhang C., Xu R., Lu J. 2015. Evaluation Methodology of Brittleness of Rock Based on Post-peak Stress–strain Curves. *Rock Mech. Rock Eng.* 48 1787–1805.
- Nejati H.R., Ghazvinian A. 2014. Brittleness Effect on Rock Fatigue Damage Evolution. *Rock Mech. Rock Eng.* 47(5):1839–1848
- Nejati H.R., Moosavi S.A. 2017. A New Brittleness Index for Estimation of Rock Fracture Toughness. *Min & Environ.* 8(1) 83–91.
- Ozcelik Y. 2011. Predicting Los Angeles Abrasion of Rocks from Some Physical and Mechanical Properties. *Sci. Res. Ess.* 6(7) 1612–1619
- Ozfirat M.K. Yenice H. Simsir F., Yarali O. 2016. A New Approach to Rock Brittleness and Its usability at Prediction of Drillability. *J. A. Earth Sci.* 119 94–101.
- Pang, S. S., Goldsmith, W. 1990. Investigation of Crack Formation during Loading of the Brittle Rock. *Rock Mech. Rock Eng.* 23 53–63.
- Protodyakonov, M.M. 1962. Mechanical Properties and Drillability of Rocks. - Proc. 5th Symp. on Rock Mech. 103–118. Minnesota: Univ.
- Schwartz, A. E. 1964. Failure of Rock in the Triaxial Shear Test. Proc. 6th Symp. Rock Mech. 109–135. Rolla Missouri.
- Sharma R.K., Chopra S. 2012. New Attribute for Determination of Lithology and Brittleness. 82nd Annual Int. Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 1–4
- Singh, S.P. 1986. Brittleness and the Mechanical Winning of Coal. *Min. Sci.Tech*, 3 173–180.
- Su O., Sakız U., Köken E. 2014. Drillability Assessment of Rocks Based on Strength and Brittleness, 31st Ann. Int. Pittsburgh Coal Conf. (PCC 2014), 697–703.
- Tarasov B., Potvin Y. 2013. Universal Criteria for Rock Brittleness Estimation Under Triaxial Compression. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 59 57–69.
- Thuro K., Spaun G. 1996. Introducing the Destruction Work' as A New Rock Property of Toughness Referring to Drillability in Conventional Drill and Blast Tunnelling. the ISRM Int. Symp. (Eurock 1996), 707–713, Turin-Italy.
- Thuro K., Singer J., Käsling H., Bauer M. 2007. Determining Abrasivity with the LCPC Test. Proc. 1st Canada – U.S. Rock Mech. Symp., Vancouver B.C., London: Taylor & Francis. (Ed. E. Eberhardt, D. Stead and T. Morrison).

- Yagiz, S. 2009. Assessment of Brittleness Using Rock Strength and Density with Punch Penetration Test. *Tunn. Undergr. Sp. Tech.*, 24 (1) 64–77.
- Yagiz, Gokceoglu C. 2010. Application of Fuzzy Inference System and Nonlinear Regression Models for Predicting Rock Brittleness. *Exp. Sys. App.*, 37 (3) 2265–2272.
- Yarali, O., Kahraman, S. 2011. The Drillability Assessment of Rocks Using the Different Brittleness Values. *Tunn. Undergr. Sp. Tech.* 26 (2) 406–414.
- Yaşar S., Yılmaz A.O., Çapık M. 2014. Kayaçların Kırılganlık Özellikleri ile Kazılabilirlik Değişirgele-ri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi. XI. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu (KAYAMEK), Afyonkarahisar.
- Xia Y.J., Li L.C., Tang. C.A., Li X.Y., Ma S., Li M. 2017. A New Method to Evaluate Rock Mass Brittleness Based on Dstress–strain Curves of Class I. *Rock Mech Rock Eng.* 50(5) 1123–1139.
- Weiss, N.L. 1985. Jaw Crushers, *SME Mineral Processing Handbook*, Chapter. 3B-1, (Ed. Weiss N.L.), SME/AIME, New York.
- Wills, B.A. 1992. *Mineral Processing Technology*. Pergamon Press, Oxford.
- Wawersik, W.R., Fairhurst, C.A. 1970. A Study of Brittle Rock Fracture in Laboratory Compression Experiments. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 7: 561–575.





Orijinal Araştırma / Original Research

## TÜRKİYE MADENCİLİK SEKTÖRÜNDE İŞ KAZALARININ İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

### STATISTICAL ANALYSIS OF OCCUPATIONAL ACCIDENTS IN TURKEY MINING INDUSTRY

Beril Bayraktar<sup>a,\*</sup>, Hakan Uyguçgil<sup>b,\*\*</sup>, Adnan Konuk<sup>c,\*\*\*</sup>

<sup>a</sup> Eskişehir Sanayi Odası Organize Sanayi Bölgesi, Eskişehir, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, TÜRKİYE

<sup>c</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, TÜRKİYE

**Geliş Tarihi / Received** : 22 Mayıs / May 2018

**Kabul Tarihi / Accepted** : 27 Ağustos / August 2018

#### Anahtar Sözcükler:

Madencilik Sektörü,  
İş Kazaları,  
Kaza İstatistikleri.

#### ÖZ

Ülkemizde iş kazaları bütün işkollarında görülmesine rağmen, diğer işkolları ile karşılaştırıldığında, iş kazaları sonrası ölüm oranları yüksekliği nedeniyle madencilik işkolu dikkat çekici bir konumdadır. Her ne kadar çalışanlar eğitilsen ve güvenlik önlemleri alınsa da, maden ocaklarında mekanize üretim yerine emek yoğun çalışılması nedeniyle, madencilikte ölümlü iş kazası sıklığı oldukça yüksektir. Bu çalışmada, 2002-2015 yılları arasında Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) istatistik yıllıklarından elde edilen iş kazası verileri istatistiksel olarak incelenmiş, madencilik sektörü ile diğer sektörlerin kaza oranları karşılaştırılmıştır. Analizler sonucunda Türkiye'de madencilik sektöründe meydana gelen iş kazalarının önceki yıllarda ve günümüzde yapılan yasal düzenlemelere rağmen azalmadığı, aksine çalışan sayısı başına düşen kaza ve ölüm oranlarının diğer sektörlerle karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, madencilik sektöründe küçük ölçekli madencilikten vazgeçilmesi, madencilikte mekanizasyon oranının artırılması, madencilik sektörüne özgü önlemlerin alınması ve denetimlerin yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

#### ABSTRACT

Occupational accidents are prevalently seen in all business segments in our country. However, mining industry comparing to others draws attention due to the high fatality rates of occupational accidents. Although workers are educated and safety precautions are taken, the frequency of fatal occupational accidents in mining industry is quite high because of the labor intensive working instead of mechanized production in the mines. In this study, occupational accidents data, obtained from the Social Security Institution (SSI) annual reports between the years 2002-2015, were examined statistically, and the mining accident rates have been compared with other sectors. Analysis show that, in spite of the regulations promulgated in the past and present, the number of occupational accidents occurred in the mining industry did not decrease. Contrarily, it is determined that mining accident and death rate per employee is seriously high when compared with other sectors. As a result of this study the necessity to do the following changes is revealed. Small scale mining should be abandoned, the mechanization ratio in mining should be increased, and mining specific measures and inspections in the occupational safety and health field should be taken.

#### Keywords:

Mining Industry,  
Occupational Accidents,  
Accident Statistics

\* Sorumlu yazar:beril.bayraktar@gmail.com • <https://orcid.org/0000-0002-2912-3755>

\*\* uygucgil@gmail.com • <https://orcid.org/0000-0003-3100-0129>

\*\*\* akonuk@ogu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-9577-6674>

Bu bildiri 2017 yılında düzenlenen Uluslararası Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı'nda yayımlanmıştır. / This paper was published in the International Symposium on Occupational Health and Safety in Mining held in 2017.

Bu makalenin tüm yayın hakları TMMOB Maden Mühendisleri Odası'na aittir © 2018 / Copyright © 2018 Published by UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey. All rights reserved.

## GİRİŞ

İş sağlığı ve güvenliği insana verilen önemin bir sonucu olarak günümüz modern çağında sürekli gelişen, ilerleyen, dinamik ve çok disiplinli bir alandır. Yaşama hakkı ise en temel insan hakkıdır. Temelinde yaşama hakkının korunması ve devamlılığının sağlanmasını içeren iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarının amacı, iş kazaları ve meslek hastalıkları meydana gelmeden gerekli tedbirlerin alınmasını sağlamak, iş kazaları ve meslek hastalıklarına karşı çalışanları korumaktır. Ayrıca günümüzde üretim güvenliğini sağlayarak verimliliği arttırmayı da hedeflemektedir.

İş sağlığı ve güvenliği bütün çalışanları ilgilendiren, çalışma yaşamının en önemli unsurlarından biridir. İş sağlığı ve güvenliğine ilişkin göstergeler çalışma yaşamı ve ülkelerin gelişmişliklerine ilişkin önemli göstergeler sunmaktadır. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) kaynaklarına göre;

- Dünyada 3 milyar işgücü bulunmaktadır.
- Her yıl 270 milyon iş kazası meydana gelmekte ve 160 milyon kişi meslek hastalıklarına yakalanmakta ve iş kazaları ve iş ile ilgili hastalıklar nedeniyle 2 milyon ölüm olmaktadır.
- Her 15 saniyede bir, bir kişi iş kazası veya meslek hastalığı nedeniyle hayatını kaybederken, her 15 saniyede bir 160 çalışan iş kazası geçirmektedir (ILO, 2009).

## 1. İŞ KAZALARININ GENEL GÖRÜNÜMÜ

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de iş kazaları çalışma hayatında önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizde her yıl meydana gelen iş kazaları ülke ekonomisine ciddi zararlar verirken, aynı zamanda üretim kaybına ve en önemlisi de hiçbir şekilde telafisi mümkün olmayan can kayıplarına neden olmaktadır. Yıllar itibarıyla iş kazaları işkollarına göre incelendiğinde ilk üç sırayı inşaat, metal ve maden işkollarının aldığı görülmektedir. 2015 yılı istatistiklerine göre faaliyet grupları bazında sıralama yapıldığında iş kazalarının %39'u ve ölümlerin %52'sinin üç işkolunda meydana geldiği görülmektedir. Bunlar madencilik, metal/makine ve inşaat işkollarıdır. Üç işkolunda da iş kazası sayısı ve ölüm sayıları yüksektir.

Ülkemizde iş sağlığı ve güvenliği istatistiklerine ulaşabildiğimiz tek kaynak Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) istatistikleridir. SGK istatistiklerine göre 2015 yılında Türkiye 'de 5510 sayılı Kanunun 4/1-a maddesi kapsamında sigortalı işçi çalıştıran 1.740.187 İşyeri faaliyet göstermiş ve bu işyerlerinde 13.999.398 hizmet sözleşmesi ile çalışan istihdam edilmiştir. Bu işyerlerinde bildiri yapılan 241.547 iş kazası, 510 meslek hastalığı vakası tespit edilmiştir. Meydana gelen iş kazalarında 1.252 çalışan hayatını kaybederken, ölümlü sonuçlanan meslek hastalığı bulunmamaktadır (SGK, 2015).

2015 yılı istatistikleri faaliyet grupları bazında incelendiğinde 5510 sayılı Kanunun 4/1-a maddesi kapsamında çalışanlar içinde en fazla 51 bin 327 (%21) iş kazası ile metal/makine sektöründe meydana gelmiştir. Bunu 33 bin 361 (%14) iş kazası ile inşaat sektörü, 10 bin 336 (%4) iş kazası ile madencilik sektörü izlemiştir. İş kazası sıklık hızı yüz çalışana oranlandığında sıralama maden sektörü, metal/makine sektörü ve inşaat sektörü olarak değişmektedir (Çizelge 1.).

Çizelge 1. İş kazası sıklık hızı (100 Kişide)

Sektörler	İş Kazası	Çalışan Sayısı	Sıklık Hızı (Kişi/100 Çalışan)
Madencilik Sektörü	10.336	128.741	8,05
Metal Sektörü	51.327	1.070.162	4,80
İnşaat Sektörü	33.361	1.980.630	1,68

Ölümlü iş kazası istatistikleri incelendiğinde en fazla 473 (%38) ölüm inşaat sektöründe meydana gelmiştir. Bunu 94 (%8) ölüm ile metal/makine sektörü, 79 (%6) ölüm ile maden sektörü izlemiştir. Ölümlü iş kazası sayıları yüz bin çalışana oranlandığında ise; sıralama maden sektörü, inşaat sektörü ve metal/makine sektörü olarak değişmektedir (Çizelge 2.).

2015 yılından önceki istatistik verileri sadece ödemesi yapılarak dosyası kapatılmış iş kazası verilerini içermektedir. Bu durumda, bildirim yapılmış an-

çak işlem beklemekte olan iş kazalarının olduğunu göstermektedir. 1999-2015 SSK ve SGK istatistik yıllıkları incelendiğinde iş kazalarının önemli boyutlarda olduğu görülmektedir (Çizelge 3.).

Çizelge 2. Ölüm hızı (100.000 Kişide)

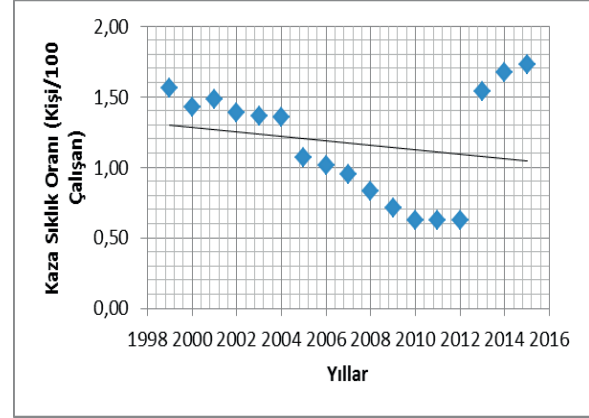
Sektörler	İş Kazası	Çalışan Sayısı	Sıklık Hızı Kişi/100.000 Çalışan)
Madencilik Sektörü	79	128.741	61,4
Metal Sektörü	94	1.070.162	8,8
İnşaat Sektörü	473	1.980.630	23,9

Çizelge 3. Türkiye geneli 1999-2015 yılları arası işyeri sayıları, çalışan sayıları, iş kazası sayıları ve iş kazası sonucu ölüm sayıları istatistikleri

YILLAR	İŞYERİ SAYISI	ÇALIŞAN SAYISI	İŞ KAZASI	İŞ KAZASI SONUCU ÖLÜM
1999	836.447	5.005.403	77.955	1165
2000	753.275	5.254.125	74.847	731
2001	723.503	4.886.881	72.367	1002
2002	727.409	5.223.283	72.344	872
2003	777.177	5.615.238	76.668	810
2004	850.928	6.181.251	83.830	841
2005	944.984	6.918.605	73.923	1072
2006	1.036.328	7.818.642	79.027	1592
2007	1.116.638	8.505.390	80.602	1043
2008	1.170.248	8.802.989	72.963	865
2009	1.216.308	9.030.202	64.316	1171
2010	1.325.749	10.030.810	62.903	1444
2011	1.435.879	11.030.939	69.227	1700
2012	1.538.006	11.939.620	74.871	744
2013	1.611.292	12.484.113	191.389	1360
2014	1.679.990	13.240.122	221.366	1626
2015	1.740.187	13.999.398	241.547	1252
TOPLAM	19.484.348	145.967.011	1.690.145	19.290

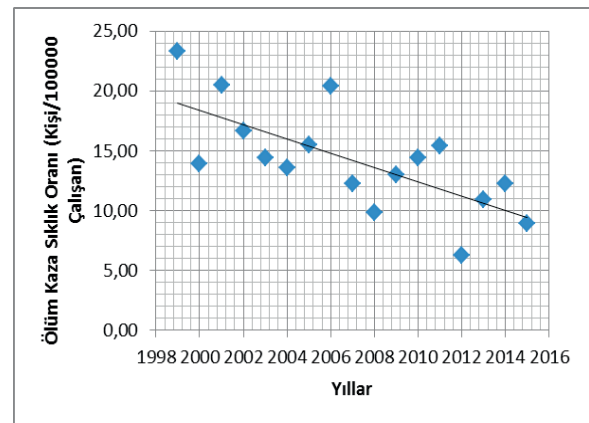
Şekil 1.'e göre ülkemiz genelinde "iş kazası sıklık oranları" incelendiğinde; 10 Haziran 2003 tarihinde yürürlüğe giren "4857 Sayılı İş Kanunu" ile bir-

likte iş kazalarında önemli oranlarda azalma meydana gelirken, ilginç bir şekilde 30 Haziran 2012 tarihinde yayımlanarak yürürlüğe giren "6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu" sonrasında iş kazalarında sıçrama meydana gelmiştir. Özellikle 2013 yılı sonrası iş kazası sıklığında meydana gelen sıçramanın nedeninin, İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile birlikte iş kazası bildirimlerinin artmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 1. Türkiye 'de meydana gelen iş kazalarının sıklık oranları (kişi/100 çalışan) oranları

Şekil 2.'de görüldüğü gibi ise 1999 yılından itibaren ölümlü kaza sıklık (kişi/100.000 çalışan) oranlarında trendsel azalma söz konusudur. İş kazaları sonrasında ölüm sıklığında azalma eğiliminin ana nedeninin ise sağlık hizmetlerine ulaşımın artmış olması olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2. Türkiye 'de meydana gelen iş kazaları sonucu ölüm sıklık oranları (kişi/100000 çalışan) oranları



## 2. MADENCİLİK SEKTÖRÜNÜN İŞ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN GENEL GÖRÜNÜMÜ

Madencilik sektörü, hem dünya genelinde hem de ülkemizde iş kazalarının ve meslek hastalıklarının yüksek olduğu işkollarından biridir. İş kazası nedeniyle vuku bulan ölümlerin neredeyse 1/3'ü madencilik sektöründe olmaktadır. Devlet Denetleme Kurulu (DDK) 2011 yılı raporuna göre; dünya çapında madencilik sektöründe yaşanan iş kazalarında yılda 10.000 ila 20.000 kişi hayatını kaybetmektedir. Uluslararası Çalışma Örgütü ILO'ya göre küresel emek gücünün %1'i madencilik sektöründe istihdam edilmekte, ancak ölümlerle sonuçlanan iş kazalarının %8'i bu sektörde vuku bulmaktadır (DDK, 2011).

Madencilik faaliyetleri ortam şartları nedeniyle sürekli değişim göstermektedir. Değişen ortam şartlarına göre çalışmak, farklılık arz eden jeolojik yapılarda üretim yapmak, doğa ile mücadele etmek sektörü diğer işkollarından ayırmaktadır. Sektörün bu önemli özellikleri iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarını da önemli kılmaktadır.

### 2.1. İş Kazaları Sayıları

SSK ve SGK istatistik yıllıklarından alınan verilere göre, ülkemizde 2002-2015 yılları arasında toplam 1.464.976 iş kazası olmuş, 16.392 çalışan iş kazası nedeniyle hayatını kaybetmiştir. Madencilik sektöründe ise istatistiklere yansıdığı kadarıyla, 2002-2015 yılları arasında toplam 124.288 iş kazası olmuş ve 14 yılda 1399 çalışan iş kazası nedeniyle hayatını kaybetmiştir. Kayıt dışı çalışma ile iş kazalarının ve meslek hastalıklarının gerçek sayısının tespit edilemediği de dikkate alınır, bu rakamlar daha da artabilir. 2002-2015 yılı istatistiklerine göre Türkiye 'de madencilik sektöründe 72.541 işyerinde 1.576.788 çalışan çalışmaktadır. Sektörde yer alan işyerlerinin ülkemizdeki 17.171.123 işyeri sayısı içerisindeki oranı %0,43; sektörde çalışan sigortalıların ülkemizdeki toplam 130.820.602 sigortalı sayısı içerisindeki oranı %1, 2'dir. Yaşanan iş kazalarının %9'u, iş kazası sonucu ölümlerin %8,5'i madencilik sektöründe meydana gelmiştir.

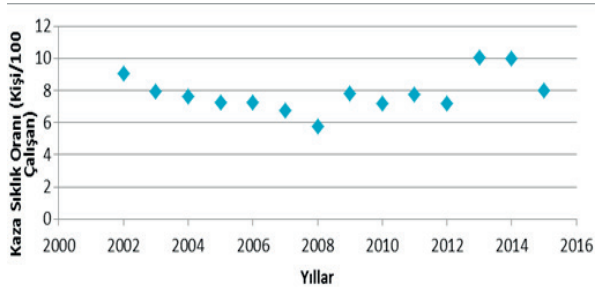
2002-2015 yılları arasında madencilik sektöründe ve tüm sektörlerde meydana gelen iş kazası, iş kazası sonucu ölüm kayıtları incelendiğinde madencilik sektöründe iş sağlığı ve güvenliği alanın-

da çok ciddi tedbirlerin alınması ve bu tedbirlerin sürekliliğinin sağlanması gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Çizelge 4.).

Çizelge 4. Madencilik sektöründe 2002-2015 yılları arası işyeri sayıları, çalışan sayıları, iş kazası sayıları ve iş kazası sonucu ölüm sayıları istatistikleri

MADENCİLİK SEKTÖRÜ				
YILLAR	İŞYERİ SAYISI	ÇALIŞAN SAYISI	İŞ KAZASI SAYISI	İŞ KAZASI SONUCU ÖLÜM
2002	3.206	81.968	7.437	64
2003	3.344	80.533	6.401	81
2004	3.626	83.624	6.372	68
2005	4.035	94.430	6.879	116
2006	4.325	104.942	7.591	79
2007	4.667	106.004	7.193	76
2008	4.890	112.335	6.495	66
2009	5.310	115.934	9.056	20
2010	5.890	125.457	9.032	125
2011	6.405	135.447	10.507	116
2012	6.644	137.630	9.919	44
2013	6.776	140.781	14.186	84
2014	6.687	128.962	12.884	381
2015	6.736	128.741	10.336	79
TOPLAM	72.541	1.576.788	124.288	1399

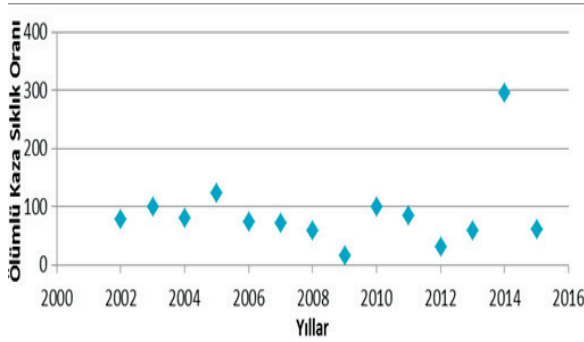
Şekil 3.'de görüldüğü gibi madencilik sektöründe meydana gelen iş kazaları sayısında 2008 yılına kadar trendsel bir azalma söz konusu iken, 2013 yılı sonrasında önemli oranda artış gözlenmektedir.



Şekil 3. Türkiye madencilik sektöründe meydana gelen iş kazalarının sıklık (kişi/100 çalışan) oranları

Şekil 4.'de görüldüğü gibi 2009 yılına kadar ölümlü kaza sıklık (kişi/100000 çalışan) oranlarında azalma söz konusudur. Ancak, 2009 yılı sonra-

sında yeraltı kömür madenciliğinde meydana gelen ölümlü iş kazalarındaki (özellikle 2014 yılındaki Soma ve Ermenek kazaları) artış nedeniyle, bu azalış tersine dönmüştür. Özellikle, yeraltı kömür madeni işletmelerinde projeye dayalı olmadan yapılan kömür çıkartım ihalelerindeki yanlışlık, madencilik sektörü ölümlü iş kazalarında artışa neden olmuştur.



Şekil 4. Türkiye madencilik sektöründe meydana gelen ölümlü iş kazalarının sıklık (kişi/100.000 çalışan) oranları

## 2.2. İş Kazalarında Küçük Ölçekli Madenciliğin Etkisi

İşletmeler genellikle işyerinde çalışan sayısına veya yıllık gelirine bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. Bazı değişkenlikler göstermekle birlikte işyerinde çalışan sayısına bağlı olarak işletmeleri;

**a) Mikro işletme:** On kişiden az çalışan istihdam eden işletmeler,

**b) Küçük işletme:** Elli kişiden az yıllık çalışan istihdam eden işletmeler,

**c) Orta büyüklükteki işletme:** İkiyüzelli kişiden az yıllık çalışan istihdam eden işletmeler,

**d) Büyük işletme:** İkiyüzelli kişiden fazla yıllık çalışan istihdam eden işletmeler, olarak sınıflandırılmaktadır (Gündüz ve Gökhan, 2007).

2015 yılı SGK verilerine göre Türkiye 'de faaliyet yürüten işyerlerinin sayıları Çizelge 5' de görüldüğü gibidir. Çizelge 5'den de görüldüğü gibi tüm faaliyet grupları içinde mikro ve küçük ölçekli işyerleri sayısı %97,93 iken madencilik sektöründe %93,87'dir.

Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülke ekonomilerinde ve istihdamında, mikro, küçük ve orta ölçekli işletmeler önemli bir yere sahiptir (Yılmaz vd., 2005; Unnikrishnan vd., 2015). Finansal birikim-

lerin kısıtlı ve teknolojik yatırımların pahalı olduğu az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, istihdamı arttırmaları nedeniyle genellikle mikro ve küçük işletmeler teşvik edilmektedir. Özellikle de düşük sabit yatırım gerektiren teknolojileri kullanmaları nedeniyle, mikro ve küçük işletmeler ekonomik ve politik krizlere de dayanıklı olmaktadır.

Çizelge 5. Tüm faaliyet grupları ve madencilik sektörü işyerleri sayılarının dağılımı

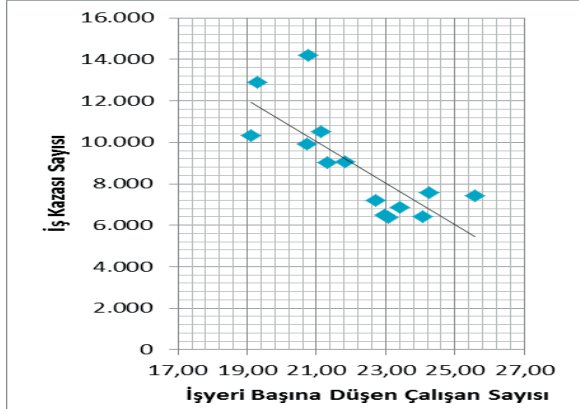
İşyeri Büyüklüğü	Tüm Faaliyet Grupları	Madencilik İşyerleri
	İçinde Oranı (%)	İçinde Oranı (%)
Mikro İşyeri	85,41	62,84
Küçük Ölçekli İşyeri	12,52	31,03
Orta Büyüklükte İşyeri	1,80	5,25
Büyük İşletme	0,27	0,88

Bununla birlikte, küçük ve mikro ölçekli işletmelerin eski teknolojileri kullandığı, iş sağlığı ve güvenliği önlemlerini önemsemediği bilinen bir gerçektir. Mikro ve küçük ölçekli işletmelerde iş kazası ve meslek hastalığını önleme kültürü de olmadığı gibi, bu işletmelerin büyük çoğunluğunda çalışanlar sigortasız ve kayıt dışı çalışmaktadırlar (Unnikrishnan vd., 2015).

Yapılan çalışmalar göstermektedir ki, küçük işletmelede kaza sıklık oranı ve iş kazası riski daha yüksek olmakta; işletmeler büyüdükçe ise iş kazaları azalmaktadır (Uysal vd., 2005; Fabiano vd., 2004). İşletme büyüklüğü arttıkça kaza sıklık oranının azalmasında, büyük işletmelerde planlama ve organizasyon derecesinin iyileşmesinin, kurumun iş sağlığı ve güvenliği biriminin olmasının, işletmenin sağlık hizmeti sunucularına kolaylıkla ulaşabilmesinin ve bu işletmelerin devletin kurumları tarafından denetlenebilirliğinin artmasının etkili olduğu düşünülmektedir (McVittie vd., 1997). Büyük işletmeler iş kazası kayıtlarını tutma ve iş kazaları meydana geldiğinde bildirimde bulunma konusuna da önem vermektedirler.

Türkiye Madencilik Sektöründe 2002-2015 yılları arasında meydana gelen iş kazalarının işletme büyüklüğüne (işyeri başına düşen çalışan sayısına) bağlı olarak değişimi araştırıldığında, Şekil

5.'den de görüldüğü gibi, madencilik sektöründe işyeri başına düşen çalışan sayısı (işletme büyüklüğü) arttıkça iş kazaları azalmaktadır (korelasyon katsayısı  $r=-0,77$ ). Bu durum da göstermektedir ki, Türkiye Madencilik Sektöründe iş kazalarını önlemede veya azaltmada, özellikle mikro işletmelerin tasfiye edilmesi, orta ölçekli işletmelerin ve işletmelerde mekanize çalışmanın teşvik edilmesi gerekmektedir.



Şekil 5. Türkiye madencilik sektöründe meydana gelen iş kazalarının işletme büyüklüğüne (işyeri başına düşen çalışan sayısı) bağlı değişimi

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, Türkiye madencilik sektörünün içinde bulunduğu durumu ortaya koyabilmek için iş kazası istatistikleri değerlendirilmiştir. Bu amaç ile ülkemizde iş sağlığı ve güvenliği istatistiklerine ulaşabildiğimiz tek kaynak olan Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) istatistik yıllıklarından faydalanılmıştır. Çalışma sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

- İş kazası sıklık hızı madencilik sektöründe en yüksek iken, madencilik sektörünü metal/makine ve inşaat sektörleri takip etmektedir. Madencilik sektöründe iş kazası sıklık hızı, hemen hemen en yakın sektörün iki katıdır.
- Ölümlü iş kazası sayıları yüz bin çalışana oranlandığında ise; sıralama maden sektörü, inşaat sektörü ve metal/makine sektörü olarak değişmektedir. Madencilik sektöründe ölümlü iş kazası sıklık hızı, hemen hemen en yakın sektörün yedi katıdır.
- 2012 yılında yürürlüğe giren İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile birlikte iş kazası bildirimlerinin artmış olmasından dolayı 2013 yılı sonrası iş kazası istatistiklerinde sıçrama gözlemlenmektedir.

- Türkiye genelinde sağlık hizmetlerine ulaşımın artmış olması nedeniyle 1999 yılından itibaren iş kazaları sonrasında ölüm sıklığında azalma eğilimi gözlemlenmektedir.
- Türkiye madencilik sektöründe mikro ve küçük ölçekli işyerleri sayısının, toplam işletme sayısının %93,87'ini oluşturduğu tespit edilmiştir.
- Madencilik sektöründe işletme büyüklüğü arttıkça iş kazalarının azaldığı tespit edilmiş olup, bu nedenle Türkiye Madencilik Sektöründe iş kazalarını önlemede veya azaltmada, özellikle mikro işletmelerin tasfiye edilmesi, orta ölçekli işletmelerin ve işletmelerde mekanize çalışmanın teşvik edilmesi gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

Arslanhan, S., Cünedioğlu, H.E., 2010. Madenlerde Yaşanan İş Kazaları ve Sonuçları Üzerine Bir Değerlendirme. TEPAV (Türkiye Ekonomi Politikaları Araştırma Vakfı).

DDK (Devlet Denetleme Kurulu), 2011. Araştırma ve İnceleme Raporu <http://www.tccb.gov.tr/ddk/ddk49.pdf>

Fabiano, B., Curro, F., Pastorino, R., 2004. A Study of the Relationship Between Occupational Injuries and Firm Size and Type in the Italian Industry. Safety Science 42 (2004) 587-600.

Gündüz, S., Gökhan, E.E., 2007. Küçük İşletmelerde İş Sağlığı ve Güvenliği Tedbirlerinin Uygulanabilirliği, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları; 2007, 55-59.

ILO (International Labour Office), 2009. <http://laborsta.ilo.org>

SGK (Sosyal Güvenlik Kurumu), 2013 İstatistik Yıllıkları, [http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/tr/kurumsal/istatistikler/sgk\\_istatistik\\_yilliklari/](http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/tr/kurumsal/istatistikler/sgk_istatistik_yilliklari/)

Unnikrishnan, S., Iqbal, R., Singh, A., Nimkar, I.M., 2015. Safety Management Practices in Small and Medium Enterprises in India, Safety and Health at Work 6 (2015) 46-55.

Uysal, B., Özçifçi, A., Kurt, Ş., 2005. Analysis of Industrial Accidents Occurred in Small and Medium-Sized Furniture Manufacturing Firms in Turkey, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 18(3): 439-451(2005).

Yılmaz, A.O., Alp, İ., Çavuşoğlu, İ., 2005. Küçük ve Orta Ölçekli Madencilik: Ülkemiz Madencilik Sektörüne Bu Açından Bakış. 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, İzmir, Türkiye 79-86.



Orijinal Araştırma / Original Research

## MADENCİLİKTE TOZA BAĞLI MESLEK HASTALIKLARININ AŞAMALI LOGARİTMİK DOĞRUSAL ANALİZ İLE İNCELENMESİ: TKİ HİMMETOĞLU LİNYİT OCAĞI ÖRNEĞİ

INVESTIGATION OF OCCUPATIONAL DISEASES RELATED TO DUST IN MINING WITH HIERARCHIAL LOGLINEAR ANALYSIS: TKİ HİMMETOĞLU LIGNITE MINE EXAMPLE

Mustafa Önder<sup>a,\*</sup>, Seyhan Önder<sup>a,\*\*</sup>, Burcu Demir İroz<sup>b,\*\*\*</sup>, Erhan Adıgüzel<sup>a,\*\*\*\*</sup>

<sup>a</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, TÜRKİYE

<sup>b</sup> TKİ Göynük Kontrol Müdürlüğü, Bolu, TÜRKİYE

**Geliş Tarihi / Received** : 23 Mayıs / May 2018  
**Kabul Tarihi / Accepted** : 22 Ağustos / August 2018

### ÖZ

#### Anahtar Sözcükler:

Toz,  
Toza bağlı meslek hastalıkları,  
Aşamalı logaritmik doğrusal analiz.

Çeşitli endüstri dallarında maruz kalınan toz düzeylerine bakıldığında, madencilik endüstrisinde açığa çıkan toz seviyeleri kabul edilebilir sınır değerlerden yüksek kalmaktadır. Madencilikte rastlanan en önemli meslek hastalıklarından birisi de toza bağlı akciğer rahatsızlıklarıdır. Bu çalışmada, Bolu ili Göynük İlçesi Himmetoğlu Köyünde TKİ'nin rödovansçısı olarak faaliyet gösteren AKSA Enerji'ye ait linyit ocağında toza bağlı meslek hastalıklarını tespit etmek amacıyla çalışmalar yapılmıştır. İşçilerin çalıştığı ortamdaki toz ölçümleri için özel bir laboratuvar ile çalışılmıştır. Elde edilen tüm veriler, aşamalı logaritmik doğrusal analiz yöntemi ile SPSS® 11.5 paket programında değerlendirilmiş ve toza bağlı meslek hastalıklarında etkili olabilecek parametreler belirlenmeye çalışılmıştır.

### ABSTRACT

#### Keywords:

Dust,  
Occupational diseases related to dust,  
Log-linear analysis.

In terms of dust levels exposed to various industries dust levels that are evident in the mining industry are higher than acceptable limit values. One of the most important occupational diseases encountered in mining is pulmonary disorders due to dust. In this study, studies were carried out in order to determine occupational diseases related to dust in the lignite quarry belonging to AKSA Energy which is operating as a renter of TKİ in Göynük District of Bolu province, Göynük District. For the dust measurement in the working environment have been worked with a special laboratory. All of the obtained data were evaluated in the SPSS® 11.5 package program by the hierarchical loglinear analysis methods, the parameters that could be effective in occupational diseases related to dust were tried to be determined.

\* Sorumlu yazar: monder@ogu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-9267-1543>

\*\* sonder@ogu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0003-0396-9995>

\*\*\* e.burcudemir@hotmail.com

\*\*\*\* erhanadgzl@hotmail.com

Bu bildiri 2017 yılında düzenlenen Uluslararası Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı'nda yayınlanmıştır. / This paper was published in the International Symposium on Occupational Health and Safety in Mining held in 2017.

Bu makalenin tüm yayın hakları TMMOB Maden Mühendisleri Odası'na aittir © 2018 / Copyright © 2018 Published by UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey. All rights reserved.

## GİRİŞ

İşyeri ortam havasına yayılan veya yayılma potansiyeli olan parçacıklar toz olarak tanımlanır (Resmi Gazete, 2013). Madencilik faaliyetleri sırasında oluşan tozlar iş sağlığı ve güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Toz, hem yeraltı hem de yerüstü maden ve taş ocaklarında ve tünel yapımında delme, kazma, lağım atma, doldurma, boşaltma, taşıma gibi işlemlerde işyeri havasına yayılan ve havada asılı olarak kalan maden filizleri ve kayaç parçacıklarıdır (ÇSGB, 2009).

Açık ocak kömür madenciliği çevresel açıdan yeraltı madenciliğine göre daha önemli sorunlar oluşturabilir. Bu sorunların başında madencilik faaliyetleri sonucu oluşan tozluluk gelir. Hava kalitesinin bozulmasına neden olan tozluluk, hem madencilik çalışmalarının yapıldığı alanı hem de çevresel alanları etkiler (Ghose ve Majee, 2000; Ghose, 2007).

Tozun oluşmasında birincil ve ikincil toz kaynakları olmak üzere iki tip kaynak etkindir. Birincil toz kaynakları, taş veya mineralin parçalanması sonu-

cu toz oluşumudur. Bu tozlar, delik delme, ateşleme, kazı ve nakliyat gibi işler sonucu oluşur. Ortaya çıkan toz, kazılan mineralin cinsine, parçalanma miktarına, yükleme ve nakliyat şekline, yatağın konumuna, üretim yöntemine bağlı olarak değişir. İkincil toz kaynakları ise çökmüş olan tozun yeniden girdaplaşarak havalanması ve askıda kalması şeklinde tanımlanabilir (Baysal, 1979).

Eski kömürler, genç kömürlere göre daha fazla kuvars tozu içermektedir. Kömürleşmeden önce kuvars tozu eşit miktarda bulunsa bile, kömürleşme sürecinde organik maddeler azaldığından, kül oluşumuna sebep olan inorganik maddeler geriye kalmakta ve kömürde kuvars miktarı zenginleşmektedir. Bu nedenle, yeni kömürlerdeki kuvars miktarı eski kömürlerdekinden daha azdır (Saltoğlu, 1970).

Eşik sınır değer, en az 8 saat ve olağan çalışma koşullarında, sağlık açısından herhangi bir sorun oluşturmayan günlük aşılması gereken değerdir. Özelliği olan kayaç veya minerallerin maruziyet eşik sınır değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Özelliği olan kayaç veya mineraller maruziyet eşik sınır değerleri (Resmi Gazete, 2013)

Kayaç-mineral	TWA
Asbest	0,1 lif / cm <sup>3</sup>
Silika (Kristal Yapıda)	
Kuvars (Solunabilir)	<u>10 mg/m<sup>3</sup></u> %SiO <sub>2</sub> +2
Kuvars (Toplam)	<u>30 mg/m<sup>3</sup></u> %SiO <sub>2</sub> +2
Kristobalit: Formülle hesaplanan kuvars değerinin ½ si kullanılır. Tridimit: Formülle hesaplanan kuvars değerinin ½ si kullanılır.	
<b>Mineral</b>	<b>Sınır Değer (mg/m<sup>3</sup>)</b>
Amorf yapıda (doğal diatomalı toprak içeren )	
Silikatlar (%1’den az kristal silika içeren)	
Mika	
Talk (Asbest içermeyen)	<u>80 mg/m<sup>3</sup></u>
Talk (asbest içeren) (***)	% SiO <sub>2</sub> +2
Sabuntaşı	
Portland Çimentosu	
Grafit (Doğal)	
<b>Kömür Tozu:</b>	
%5 ve daha az SiO <sub>2</sub> içeren solunabilir toz	2,4 mg/m <sup>3</sup>
%5’ten fazla SiO <sub>2</sub> içeren solunabilir toz	<u>10mg/m<sup>3</sup></u> % SiO <sub>2</sub> +2
<b>İnert veya İstenmeyen Toz</b>	
Solunabilir Kısım	5 mg/ m <sup>3</sup>
Toplam Toz	15 mg/ m <sup>3</sup>

## 1. MADENCİLİKTE MESLEK HASTALIKLARI TESPİTİ

Yüksek risk grubunda bulunan maden çalışanları periyodik aralıklarla sağlık muayenesinden geçmektedir. Bu muayeneler sırasında solunum fonksiyon testi yapılmakta ve akciğer radyografileri çekilmektedir. Bu veriler kullanılarak, toza bağlı meslek hastalıklarının oluşup oluşmadığı belirlenmeye çalışılmaktadır. Solunum fonksiyon testleri, akciğerin hacmi ve solunumun etkinliği hakkında hekimlere bilgi vermektedir.

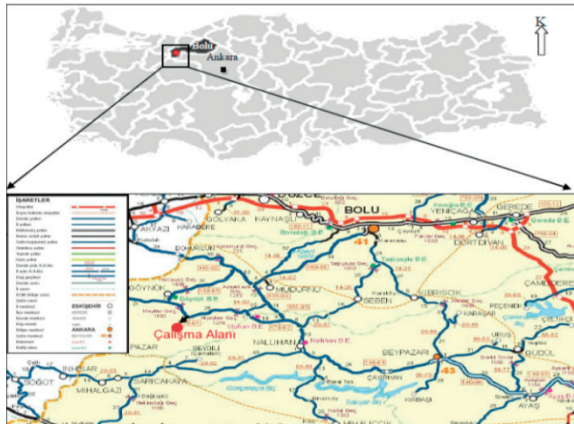
Genel olarak bir solunum fonksiyon testi değerlendirilirken iki değer esas alınır. Bunlar FVC ve FEV1 olarak adlandırılırlar. FVC; derin bir nefes almadan sonra hızlı bir geri verme ile dışarı atılan hava hacmidir. FEV1; zorlu bir nefes vermenin hemen ilk saniyesinde verilen hava hacmidir. FEV1/FVC oranı en genel olarak solunum testi ile meslek hastalığı tanısı değerlendirme şeklidir. Solunumsal bozukluğun tipini belirtmektedir. Bu kavramların akabinde iki yeni hastalık kavramını bilmek gerekir.

Obstrüksiyon; solunum fonksiyon testi sonucu FEV1/FVC oranı ve FEV1 beklenen değeri % 80 den küçük ise obstrüksiyondur denilebilir. Obstrüksiyon tıkanma anlamına gelir ve genellikle sigara kullanımına bağlı olarak gelişir.

Restriksiyon; solunum fonksiyon testi sonucu FEV1/FVC oranı beklenenden % 80 fazla ise ve FEV1 beklenen değeri % 80'den küçük ise restriksiyon denilir. Restriksiyon daralma olarak tanımlanabilir ve genellikle toza bağlı meslek hastalığında teşhis edilir (TGHK, 2016).

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

Sahanın yer bulduru haritası Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Himmetoğlu yer bulduru haritası

Göynük Himmetoğlu kömür havzası, Bolu ili Göynük ilçesinin 30 km güneyindeki Himmetoğlu, Kuyupınar, Çayköy ve Ahmetbeyler köyleri arasında kalan bir alanda yer almaktadır. Kömürlü alanın büyük bölümü Himmetoğlu köy sınırları içindedir. Sahaya Nallıhan-Göynük karayolunun 55. km'sinden sola ayrılan 15 km'lik karayolu ile ulaşılmaktadır.

Açık ocak üretim planlama safhasında A, B ve K Panosu olmak üzere üç bölüme ayrılmış olup, A Panosunda dekapaj ve kömür üretimi faaliyetleri 2006 yılı itibarıyla özel sektöre devredilmiş, B Panosu Mart 2016 yılında tekrar faaliyete geçmiş, K Panosunun ise 2017 yılı ortası itibarıyla faaliyete geçmesi planlanmaktadır.

AKSA Göynük Enerji Üretim A.Ş. Firması tarafından inşaatı gerçekleştirilen termik santralin 1. ünitesinde Temmuz 2015 tarihinde, 2. Ünitesinde Şubat 2016 tarihinde, rödovansa esas enerji üretimine başlanmıştır. Santral kapasitesi 130 x 2 adet üniteden toplam 260 kW'dir.

Üretimde kazı ve yükleme işlemi, ekskavatörler ile yapılırken, taşıma işlemi kamyonlar ile yapılmaktadır. Yardımcı ekipman olarak, lastikli yükleyici, greyder ve dozer kullanılmaktadır.

### 2.1. Toza Bağlı Meslek Hastalıklarının İncelenmesi ve Ölçüm Metodolojisi

Bolu Göynük Himmetoğlu Köyünde faaliyet gösteren açık linyit ocağında farklı görevlerde çalışan 100 işçinin çalıştığı farklı ortamların toz miktarını siklon ve filtre ile ilişkilendirilmiş olan bir hava pompası aracılığıyla ölçen bir cihaz ile yapılmıştır. Toz konsantrasyon ölçümü  $\text{mg}/\text{m}^3$  olarak pompanın belirli süre içinde çektiği ortam hava miktarı ( $\text{m}^3$ ) ile filtre üzerinde tutulan kirleticilerin ağırlığının (mg) belirlenmesi ile hesaplanmaktadır. Bu cihaz dozimetrik toz ölçümü yapmakta olup, BUCK firmasına air LP-5 modelidir. Ortamdaki tozun gravimetrik hesaplaması için kullanılır ve NIOSH 0500, NIOSH0600 VE MDHS 14/3 standartlarına uygundur. Pompanın amacı ortamdaki hava kirletici maddeleri 25 ve 37 mm'lik filtrelere, renk dedektör tüplerine ve kabarcık çarptırıcıya çekerek gaz, buhar, partikül ve aerosol gibi maddelerin kişiler üzerindeki maruziyetini ölçer. Normal şartlar altındaki zaman ağırlıklı ortalama değeri (TWA) hesaplayabilmek için ortamın nem, sıcaklık ve

basıncı LUTRON firmasının PHB-318 modeli ile belirlenmiştir. Çalışanların toz maruziyetlerinin belirlenmesi esnasında alınan bir görünüm Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Toza bağlı maruziyet ölçümleri

Toza bağlı meslek hastalığı üzerinde etkisi olan görev, yaş, deneyim ve zaman ağırlıklı ortalama toz değerleri ve bu parametrelerin kategorizasyonu Çizelge 2'de verilmiştir.

Toza bağlı meslek hastalıkları üzerinde etkili parametreleri belirlemek için yapılacak çalışmada kullanılmak üzere her çalışan için kodlama işlemi yapılmış ve bu kodların bir bölümü örnek olarak Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Toza bağlı meslek hastalığı için çalışanların kod dağılımlarının bir bölümü

Çalışan	Görev	Yaş	Deneyim	NŞA TWA	
				(mg/m <sup>3</sup> )	Hastalık
1	4	1	1	2	0
2	4	3	2	2	0
3	2	3	2	2	1
4	1	1	1	1	0
5	1	2	1	1	0

Çizelge 2. Toza bağlı meslek hastalığı analizi kategorizasyon kodları

Değişkenler	Değişkenlerin Açıklaması	Kod Açıklaması	Frekanslar
Y	Toza bağlı meslek hastalığı	0 = yok 1 = var	65 35
X <sub>görev</sub>	Görev	1 = Mühendis, formen, topograf, tekniker (Teknik personel) 2 = Operatör, yağcı 3 = Kamyon şoförü 4 = Fişçi, manevracı, mazotçu, beden işçisi, kantarcı, saha görevlisi (Saha personeli)	15 25 48 12
X <sub>yaş</sub>	Yaş	1 = 21-29 yaş 2 = 30-38 yaş 3 = 39-47 yaş 4 = 48-56 yaş 5 = 57-65 yaş 6 = 66-74 yaş	23 17 18 21 17 4
X <sub>deneyim</sub>	Deneyim	1 = 1-8 yıl 2 = 9-16 yıl 3 = 17-24 yıl 4 = 25-32 yıl 5 = 33-40 yıl	66 13 3 12 6
X <sub>TWA(NŞA)*</sub>	Zaman ağırlıklı ortalama değer	1 = 0,18-4,52 2 = 4,60-8,87	26 74

\* TWA(NŞA): Günlük 8 saatlik zaman dilimine göre ölçülen veya hesaplanan zaman ağırlıklı ortalama değer

## 2.2. Aşamalı Logaritmik Doğrusal Analiz

Kategorik veri analizinde önemli bir araç olan logaritmik doğrusal modeller 1900'lü yıllarda geliştirilmiştir. Tıp, mühendislik ve sosyal bilimlerde çok popüler olan log-doğrusal modeller değişkenlerin kategorik olduğu durumda değişkenler arası ilişkilerin araştırılması ve modelleme amaçlı kullanılır (Acar, 2011).

Loglineer analiz yöntemlerinde, elde edilmiş sözel veriler kategorik veri olarak nitelendirilebilirken, sayısal olarak elde edilen veriler de sınıflandırılarak kategorik veri haline gelebilirler.

Log-doğrusal modeller iki yönlü olumsuzluk çözümlerinde kategorik değişkenler arasındaki ilişki örüntüsünün araştırılması ve hücre frekanslarının modellenmesi amaçları ile kullanılır. Yanıt değişkeni ve açıklayıcı değişkenler arasında ayırım yapılamadığı durumlarda bu yöntemin kullanılması daha uygundur (McCulloch ve Searle, 2001). Log-doğrusal modelleme işlemi başlıca beş adımdan oluşur:

1. Veriyi açıklayan bir model önerilir.
2. Modelin uygunluğu varsayımı altında beklenen hücre değerleri hesaplanır.
3. Gözlenen hücre değerleri, uyum iyiliği ölçütleri olan ki-kare ya da olabilirlik oran istatistiği kullanılarak beklenen hücre değerleri ile karşılaştırılır.
4. Modelin kabul edilip edilmediği saptanır.
5. Model kabul ediliyorsa sonuçlar yorumlanır; model reddediliyorsa başka bir modelin uygunluğu denir; yani 1. adıma geri dönülür (Burnett, 1983).

Khi-kare analizi ile 3 ve daha fazla değişkenin içine çapraz tablolarının analizi yapılmamaktadır. Ancak ayrı ayrı R\*C tablosu biçiminde düzenlenerek analizler yapılmakta, ikili, üçlü ve çoklu etkileşimler ve birlikte değişimler analiz edilememektedir. Loglineer analiz khi-karenin uygulanabildiği, ancak yetersiz kaldığı durumlarda çok yönlü tabloların analizini modeller aracılığı ile analiz eden bir yöntemdir. Log-lineer analizde çözümlenmeler yapılırken verilerin durumuna göre üç temel çözümlenme yönteminden (prosedür) yararlanılır. Bu yöntemler (Özdamar, 2004);

- Genel log-lineer analiz (General log-linear analysis),

- Lojit loglineer analiz (Logit log-linear analysis),
- Aşamalı loglineer analiz (Hierarchical log-linear analysis) olarak adlandırılır.

Çalışmada kullanılan yöntem aşamalı log-lineer analiz yöntemidir. Üç veya daha fazla değişkenin iç içe gruplanarak çok yönlü çapraz tablolar biçiminde gösterildiği veri yapılarının analizinde kullanılan bir yöntemdir. Aşamalı loglineer yöntem, değişkenlerin en yüksek dereceden etkileşimlerini modele almadan önce aşamalı olarak ana etkileri modele alarak benzerlik khi-kare değeri hesaplamayı, sonra ikili etkileşimleri modele katarak benzerlik khi-kare değeri hesaplamayı ve bu işlemi benzerlik khi-kare değeri önemlilik değerini kaybedinceye kadar yüksek dereceden etkileşimleri modele katarak sürdürmeyi amaçlayan bir yöntemdir. Aşamalı log-lineer analiz, ana etkilerden başlayarak sıra ile faktörler arasındaki ikili, üçlü ve çoklu etkileşimleri modele alarak optimal model oluşturmayı ve bu modele göre verilerin analizini yapmayı amaçlar. Özellikle üçlü, dördü ve çok katlı etkileşimlerin doğrudan modele alınmasının parametre tahmininde sıkıntılar yaratacağı durumlarda çok yönlü çapraz tabloların analizi aşamalı log-lineer yöntem ile yapılır.

Log-lineer analiz yöntemleri tablo tiplerinden ve tablolarda yer alan değişkenlerin tiplerinden etkilenir. Aşağıda tablo tipleri ve log-lineer modellerin kurulması ile ilgili açıklamalar ve bu tabloların analizleri verilmiştir (Adıgüzel, 2008).

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Açık işletmeden derlenen ve özeti Çizelge 3'de verilen veriler SPSS paket programına girilmiş, aşamalı logaritmik doğrusal analiz yöntemi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4 incelendiğinde, ikili etkileşimlerden "Görev\*TWA" ve "Yaş\*Deneyim" etkileşimlerinin ve tüm ana etkilerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ( $p < 0,005$ ) belirlenmiştir.  $\chi^2$  değerleri incelendiğinde, en yüksek khi-kare değeriyle, en önemli ana etkinin deneyim olduğu bunu sırasıyla TWA, görev ve yaş parametrelerinin izlediği bulunmuştur. Ayrıca, ikili etkileşimlerde "Görev\*TWA" ve "Yaş\*Deneyim" etkileşimlerinin en önemli ikili etkileşimler olduğu belirlenmiştir.



Çizelge 4. Aşamalı logaritmik doğrusal analiz sonuçları

Etkileşim Derecesi	Etkileşimler	df	$\chi^2$	Olasılık(p)
3'lü etkileşimler	Görev*Yaş*Deneyim	120	10,301	1,000
	Görev*Yaş*TWA	48	1,585	1,000
	Görev*Deneyim*TWA	40	,180	1,000
	Yaş*Deneyim*TWA	60	,000	1,000
	Görev*Yaş	24	17,325	,834
2'li etkileşimler	Görev*Deneyim	20	17,502	,620
	Yaş*Deneyim	30	58,802	,001
	Görev*TWA	8	74,842	,000
	Yaş*TWA	12	1,502	1,000
	Deneyim*TWA	10	2,693	,988
Ana etkiler	Görev	4	74,312	,000
	Yaş	6	48,053	,000
	Deneyim	5	144,772	,000
	TWA	2	105,111	,000

İstatistiksel olarak anlamlı bulunan ve en yüksek  $\chi^2$  değerine sahip olan ikili etkileşimler ayrıntılı olarak tekrar incelenmiştir. Parametrelerin önemliliği belirlenirken Z değerleri dikkate alınır. Bu istatistiğin mutlak değeri standart normal dağılımın kritik değeri olan ve % 95 güven düzeyine karşılık gelen

1,96 değeri ile karşılaştırılır (Özdamar, 2004). Z değeri arttıkça parametrelerin önemliliği de artar. Çizelgedeki veriler Z değerine bakılarak büyükten küçüğe doğru sıralanmış ve sadece ilk üç değere yer verilmiştir. Aşamalı logaritmik doğrusal analize göre ikili etkileşim sonuçları Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Toza bağlı meslek hastalıkları için aşamalı logaritmik doğrusal analize göre ikili etkileşimler

Etki	Parametre	Tahmin	Z	Olasılık	%95 Güven Aralığı	
					Alt Sınır	Üst Sınır
Görev*TWA	Kamyon şoförü*4,60-8,87 mg/m <sup>3</sup>	0,329	2,272	0,023	0,045	0,613
	Teknik personel*0,18- 4,52 mg/m <sup>3</sup>	0,189	1,234	0,217	-0,111	0,489
	Operatör*4,60-8,87 mg/m <sup>3</sup>	0,109	0,731	0,465	-,184	,402
Yaş*Deneyim	21-29 yaş*1-8 yıl	0,392	1,476	0,140	-0,128	0,913
	57-65 yaş*33-40 yıl	0,191	0,661	0,509	-0,376	0,759
	30-38 yaş*1-8 yıl	0,180	0,657	0,511	-0,357	0,716

Kamyon şoförlerinin toza maruziyet değeri en yüksek olup, toza bağlı meslek hastalığı yaşaması ihtimali en yüksektir. Teknik personelin daha az TWA'ya maruz kalmalarına rağmen kamyon şoföründen sonra toza bağlı meslek hastalığı yaşaması ihtimali yüksektir. En genç ve en az

deneyimli çalışanların toza bağlı meslek hastalığı yaşaması ihtimali en yüksektir. Bunu 57-65 yaş grubu 33-40 yıl deneyimli çalışanlar izlemektedir. Toza bağlı meslek hastalıkları için aşamalı logaritmik doğrusal analize göre ana etkiler Çizelge 6'da verilmiştir.

Kamyon şoförü en yüksek risk grubunda yer almaktadır bunu sırasıyla operatör, teknik personel ve saha personeli takip etmektedir. Yaş parametresi değerlendirildiğinde, 66-74 yaş aralığının en riskli grup olduğu söylenebilir. 1-8 yıllık deneyimli çalışanların meslek hastalığına yakalanma ihtimalleri diğer çalışanlara göre oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. 4,52 mg/m<sup>3</sup> TWA değerinden daha düşük değerlerde çalışılması durumunda toza bağlı meslek hastalığına yakalanma ihtimalinin yüksek olduğu tespit edilmiştir.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Meslek hastalıkları, çalışanları korumamız gereken en önemli risklerdendir. Erken önlemler alarak tüm bu sağlığa zararlı etkenleri önleyebilmek mümkündür. Önlemek için öncelikle kişisel maruziyet ölçümlerinin yasalarda belirtilen periyodik aralıklarla yapılması işveren, işyeri hekimi ve iş güvenliği uzmanlarının en önemli görevlerinin başında gelmektedir. Türkiye Kömür İşletmeleri Ge-

nel Müdürlüğü'ne bağlı Bolu İli Göynük İlçesinde faaliyet gösteren açık linyit ocağı çalışanlarına ait meslek hastalıklarının tespiti için elde edilen veriler istatistiksel yöntemlerle incelenmiştir.

Toza bağlı meslek hastalıklarının aşamalı logaritmik doğrusal analiz ile incelenmesi sonucunda; kamyon şoförlerinin çoğunlukla 4,60-8,87 mg/m<sup>3</sup> toz konsantrasyonunda çalıştıkları ve toza bağlı meslek hastalığına yakalanma ihtimallerinin yüksek olduğu söylenebilir. Teknik personelin daha az toza maruz kalmalarına rağmen kamyon şoföründen sonra toza bağlı meslek hastalığı yaşaması ihtimali yüksektir. En genç ve en az deneyimli çalışanların toza bağlı meslek hastalığı yaşaması ihtimali en yüksektir. Tozluluk açısından en riskli meslek grupları sırasıyla kamyon şoförü, operatör, teknik personel ve saha personelidir. Toza bağlı meslek hastalıklarının oluşmasında deneyim ve toza maruziyet seviyesinin artması hastalık oluşumunu arttırmaktadır. Bunun dışında en genç çalışanların meslek hastalığı yaşama ihtimalleri daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 6. Aşamalı logaritmik doğrusal analize göre ana etkiler

Etki	Parametre	Tahmin	Z	Olasılık	%95 Güven Aralığı	
					Alt Sınır	Üst Sınır
Görev	Kamyon şoförü	0,115	1,072	0,284	-0,096	0,326
	Operatör	0,037	0,345	0,73	-0,175	0,25
	Teknik personel	-0,022	-0,196	0,845	-0,237	0,194
	Saha personeli	-0,021	-0,191	0,849	-0,236	0,194
Yaş	66-74 yaş	-0,068	-0,499	0,618	-0,334	0,199
	48-56 yaş	0,056	0,424	0,671	-0,203	0,316
	57-65 yaş	0,045	0,338	0,735	-0,215	0,305
	39-47 yaş	0,037	0,276	0,782	-0,224	0,297
	21-29 yaş	0,023	0,174	0,862	-0,24	0,286
	30-38 yaş	0,017	0,127	0,899	-0,245	0,279
Deneyim	1-8 yıl	0,275	2,377	0,017	0,048	0,503
	17-24 yıl	-0,079	-0,634	0,526	-0,322	0,165
	33-40 yıl	-0,059	-0,473	0,636	-0,301	0,184
	25-32 yıl	-0,024	-0,195	0,845	-0,265	0,217
TWA	0,18-4,52	0,122	1,595	0,111	-0,028	0,271
	4,60-8,87	-0,011	-0,148	0,882	-0,164	0,141

## TEŞEKKÜR

Yazarlar çalışmaya katkılarından dolayı TKİ personeli ve Dr. Burak Geyik'e teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

Acar, N., 2011. Log-Doğrusal Modellerin Olumsuzluk Çizelgelerine Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 85 s.

Adıgüzel, E., 2008. Yeraltı Ocaklarındaki İş Kazalarının Aşamalı Logaritmik Doğrusal Modeller ve Uyum Analizi İle İncelenmesi, ESOGÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 59.

Altınışik, G., 2016. Fonksiyonel Değerlendirme, <http://www.tghyk.org/kurs-slaytlari/fonksiyoneldegerlendirme-gokselaltinisik%20.pdf> Erişim tarihi: 10.09.2016

Baysal, F., 1979. İş Yerlerinde Toz Sorunu, VI. Türkiye Madencilik, Bilimsel ve Teknik Kongresi, TMMOB Yayını, s. 36.

Burnett, J.D., 1983. Loglinear Analysis: A New Tool For Educational Researchers, Canadian Journal of Education, 8, 139-154

ÇSGB, 2009. Yeraltı ve Yerüstü Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Rehberi, Yayın No: 43

Ghose, M.K., Majee, S.R., 2000. Sources of Air Pollution Due To Coal Mining And Their Impacts in Jharia Coalfield, Environment International, 26, 81-85.

Ghose, M.K., 2007. Opencast Coal Mining in India: Analyzing and Addressing the Air Environmental Impacts, Environmental Quality Management, 71-87.

McCulloch C.E., Searle S.R., 2001. Generalized Linear and Mixed Models.

Özdamar, K., 2004. Paket Programlar İle İstatistiksel Veri Analizi-1, Kaan Kitabevi, 563-649.

Resmi Gazete, 2013. Tozla Mücadele Yönetmeliği, <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/11/20131105-9.htm> Erişim tarihi: 09.06.2016.

Saltoğlu, S., 1970. Maden İşletmelerinde Toz ve Silikozla Mücadele, İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Yayını.



Orijinal Araştırma / Original Research

## AÇIK OCAK İŞLETMELERİNDE İŞ GÜVENLİĞİ UYGULAMASI: ÖRNEK OCAK ÇALIŞMASI

APPLICATIONS OF OCCUPATIONAL SAFETY AT OPEN PIT MINING: A CASE STUDY

Recep Erdi Şafak<sup>a,\*</sup>, Cem Şensöğüt<sup>b,\*\*</sup>, Yaşar Kasap<sup>c,\*\*\*</sup>

<sup>a</sup> Maden Mühendisi - C sınıfı İş Güvenliği Uzmanı, Eskişehir, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, TÜRKİYE

**Geliş Tarihi / Received** : 2 Mayıs / May 2018

**Kabul Tarihi / Accepted** : 27 Ağustos / August 2018

### ÖZ

**Anahtar Sözcükler:**  
Açık İşletme Madenciliği,  
Çeklist Metodu,  
İş Sağlığı ve Güvenliği,  
L Tipi Matris Yöntemi,  
Risk Değerlendirmesi

Dünya nüfusuna paralel olarak, insanoğlunun daha kaliteli yaşama olan talebinin artması, hammadde ve mamul maddelerin üretiminin artmasına neden olmuştur. Bilindiği üzere pek çok hammadde, yeraltı ve yerüstü kaynaklarının madencilik aktiviteleri ile kazanımı sonucu elde edilmektedir. Üretim sayısal olarak büyük bir kısmı, açık işletme madenciliği ile gerçekleştirilmektedir. Üretim esnasında iş sağlığı ve güvenliği açısından önemli risk ve tehlikeler ile karşı karşıya kalındığından dolayı kaza öncesi önlem alınmasına yönelik yaklaşımlar ortaya konularak çalışan işçilerin kazalanma riskinin minimuma indirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Manyezit A.Ş (Eskişehir)'ye bağlı açık ocak işletmesindeki madencilik faaliyetleri Çeklist Metodu ve L Tipi Risk Değerlendirme Karar Matrisi Yöntemi ile irdelenmiş, risk teşkil eden durumların kabul edilebilir seviyeye indirilebilmesi için alınması gereken önlemler belirlenmiştir.

### ABSTRACT

**Keywords:**  
Open Pit Mining,  
Checklist Method,  
L Type Matrix Method,  
Occupational Health and Safety,  
Risk Assessment

The increase, parallel with world population, in demand for a more qualified life has caused an increase in the production of raw material and goods. As known, most of the raw materials are obtained by underground and surface mining activities. The large parts of production in quantity are carried out by open pit mining. During this process, it is possible to face hazards and high risks in terms of occupational health and safety. The accident risks of the labours should be reduced to a minimum level by proactive approaches. In this study, drilling and blasting, other mining activities such as loading and carrying are examined by the use of Checklist and L Type risk assessment methods in an opencast mining which is a part of Manyezit A.Ş (Eskişehir). All precautions that need to be taken are specified and results are given in order to reduce the risks to an acceptable level.

\* erdiesk26@hotmail.com

\*\* Sorumlu yazar: cem.sensogut@dpu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-9192-8813>

\*\*\* yasar.kasap@dpu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-5274-4843>

Bu bildiri 2016 yılında düzenlenen Uluslararası Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı'nda yayınlanmıştır. / This paper was published in the International Aggregates Symposium of Turkey held in 2016.

Bu makalenin tüm yayın hakları TMMOB Maden Mühendisleri Odası'na aittir © 2018 / Copyright © 2018 Published by UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey. All rights reserved.

## GİRİŞ

İnsanlığın gelişim sürecinin son yüz yıllardaki ilerlemesinde madencilik sektörünün önemini yadsı- mak mümkün değildir. Madencilik sektörünün; di- ğer sektörlerle kıyaslanması sonucunda, dünya- da ve ülkemizde yeraltı ve yerüstü işletmelerinde meydana gelen iş kazaları ve meslek hastalıklarının en yüksek olarak görüldüğü ağır ve tehlikeli iş kollarından biri olduğu söylenebilmektedir.

Son yıllarda ülkemiz maden işletmelerinde mey- dana gelen iş kazalarının sayısında da artış ol- duğu gözlemlenmektedir (Çizelge 1). 2008 yılı verilerine göre iş kazalarının ülkemize getirdiği maliyet yaklaşık olarak 4 milyar 875 milyon lira- dır. Oysaki alınabilecek iş güvenliği önlemleri ile kazaların önüne geçilerek hem yaşanan ölümler- in azalması sağlanabilecek hem de maliyetlerin yaklaşık yüzde 98'ine katlanmak zorunda kalın- mayacaktır. (TMMOB, 2010)

Özellikle yeraltı madenciliğinde pek çok çalışma disiplini birlikte uygulanmaktadır. Üretim aşama- sındaki kazı, tahkimat, su tahliyesi, nakliyat, ula- şım v.b. ihtiyaç ve tesisler iş güvenliği açısından önemle dikkate alınmalıdır. Bu süreçte karşılaşı- lan olumsuzluklar iş kazalarına neden olmaktadır. Yeraltı çalışmalarında meydana gelen iş kazaları

genellikle grizu patlamaları, toz patlamaları, gö- çükler, toprak kaymaları, ocak yangınları, nakliyat sırasındaki kazalar, ocak gazlarının yol açtığı ze- hirlenme, su baskını ve diğer risklerden kaynak- lanmaktadır.

Yerüstü madenciliği, yeraltı madenciliğine göre daha güvenilir çalışma ortamına sahip gibi görün- se de uygun yükseklikte kademe / basamak oluş- turulmaması, patlatma işleri gibi çalışmalarda iş ekipmanlarının güvenli kullanılmaması, su geliri, heyelan ve toprak kayması gibi sebepler meydana gelen iş kazalarının önemli risk kaynaklarıdır (Kasap ve Subaşı, 2011).

Bu çalışmada da açık ocak maden işletmelerinde iş kazası riskini en aza indirmek için iş güvenliği uygulaması alanında gereken tedbirlerin alınma- sına dikkat çekebilmek amacıyla risk değerlendir- mesi yapılmıştır. Analizlerde Çeklist Metodu ile L Tipi Risk Değerlendirme Karar Matrisi Yöntemin- den yararlanılmış ve risk teşkil eden durumların kabul edilebilir seviyeye indirilebilmesi için alın- ması gereken önlemler belirlenmiştir.

## 1. İŞLETMENİN TANITILMASI

Manyezit A.Ş. 1963 yılında Veitscher Manyezit

Çizelge 1. Bazı sektörlerin yıllara göre iş kazaları istatistikleri (SGK, 2014)

İŞKOLU	2011		2012		2013	
	İŞ KAZASI SAYISI	ÖLÜM SAYISI	İŞ KAZASI SAYISI	ÖLÜM SAYISI	İŞ KAZASI SAYISI	ÖLÜM SAYISI
05 Kömür ve Linyit Çıkartılması	9217	55	8828	20	11289	36
07 Metal Cevheri Madenciliği	449	16	421	7	1055	16
08 Diğer Madencilik ve Taşocak.	702	43	569	17	1598	28
09 Madenciliği Destekleyici Hizmetler	139	2	101	0	244	4
<b>MADENCİLİK SEKTÖRÜ</b>	<b>10507</b>	<b>116</b>	<b>9919</b>	<b>44</b>	<b>14186</b>	<b>84</b>
24 Ana Metal Sanayi	5272	18	4938	10	12061	34
25 Fabrik. Metal Ürün.	7268	72	7045	25	15699	35
28 Makine ve Ekipman İmalatı	2218	20	2235	8	5113	11
29 Motorlu Kara Taşıtı ve Römork İml.	1439	3	1796	0	5243	7
30 Diğer Ulaşım Araçları İmalatı	480	9	439	3	1341	7
33 Makine ve Ekipman Kurulumu ve On.	1055	21	1045	14	2560	23
<b>METAL/MAKİNA SEKTÖRÜ</b>	<b>17732</b>	<b>143</b>	<b>17498</b>	<b>60</b>	<b>42017</b>	<b>117</b>
41 Bina İnşaatı	3836	304	4511	127	14286	296
42 Bina Dışı Yapıların İnşaatı	1718	118	1948	66	5917	121
43 Özel İnşaat Faaliyetleri	2195	148	2750	63	6764	104
<b>İNŞAAT SEKTÖRÜ</b>	<b>7749</b>	<b>570</b>	<b>9209</b>	<b>256</b>	<b>26967</b>	<b>521</b>
<b>49 KARA TAŞIMACILIĞI SEKTÖRÜ</b>	<b>2363</b>	<b>194</b>	<b>2549</b>	<b>73</b>	<b>7597</b>	<b>187</b>
<b>4 SEKTÖR TOPLAMI</b>	<b>38351</b>	<b>1023</b>	<b>39175</b>	<b>433</b>	<b>90767</b>	<b>909</b>
<b>4 SEKTÖRÜN GENEL TOP. İÇİNDEKİ %'Sİ</b>	<b>55 %</b>	<b>60 %</b>	<b>52 %</b>	<b>58 %</b>	<b>47 %</b>	<b>67 %</b>
<b>GENEL TOPLAM</b>	<b>69227</b>	<b>1700</b>	<b>74871</b>	<b>744</b>	<b>191389</b>	<b>1360</b>

AG, (Avusturya) öncülüğünde kurulmuştur. İşletme dünyada isim yapmış refrakter grubu olan RHI AG firması bünyesinde işletilmeye devam edilmektedir.

Eskişehir ve Kütahya bölgesinde cevher rezervleri bulunmaktadır. İşletmeye ait cevher üretiminin çoğu Avrupa pazarına gitmektedir. İşletmede yüksek rezerv ve tenörlerde kaliteli manyezit üretimi gerçekleştirilmektedir.

Eskişehir'e 30-35 km uzaklıkta olan işletme, Nemli köyünün kuzeybatısında yer almaktadır. Şirketin; Dutluca, Koçhan, Beylikova, Çanakkıran, Kömürlük ve Günaydın'da 6 adet ocağı mevcuttur ve şirkette direkt ve dolaylı (taşeron çalışanlar ile birlikte) 700 kişi çalışmaktadır. Bu anlamda şirket, çalışanlarının fazla olmasından dolayı istihdama önemli katkıda bulunmakta ve ülkemiz ihracatına önemli katkılar sağlamaktadır.

Çalışmaya konu olan Dutluca İşletmesinde sedimanter kaya kütlelerinde sıkça manyezite rastlanmaktadır. Bu işletmede manyezit cevheri küçük parçalar halinde ve çok sayıda bulunmaktadır. Yan kayaç olan serpantin kayaçlarının, karbonatlı sularla alterasyonu sonucunda oluştuğu bilinmektedir. Aynı zamanda yüksek yoğunluklu, düşük gözenekli sinter manyezit de oluşabilmektedir.

İşletmede, yüzeysel açık işletme metotlarından yararlanılarak cevher çıkarılmakta ve cevher ayıklama tesislerinde yüksek kalitede üretim yapılmaya çalışılmaktadır.

## 2. RİSK DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

### 2.1. Çeklist Metodu

Bu risk değerlendirme metoduna göre faaliyetlerde bulunan bölgelerde, iş sağlığı ve güvenliği kurallarına uyulup uyulmadığı ile alakalı ve risk teşkil edebilecek durumların ortaya çıkarılabileceği problemlere ulaşmaya yönelik sorular oluşturulmaktadır. Bu sorulara evet/hayır şeklinde cevaplar verilerek devamında açıklama yapılmaya çalışılmaktadır.

Çeklist Metodunda tehlike ve riskleri belirlemek veya kontrollerin etkinliğini değerlendirmek için bir kontrol listesi kullanılmaktadır. Ürün, süreç veya sistem kullanım döngüsünün her aşamasın-

da uygulanabilmekte ve diğer risk değerlendirme tekniklerinin bir parçası olarak da kullanılabilir. Fakat uygulanmış olan ve yeni problemleri belirleyen daha yaratıcı bir risk değerlendirme tekniği sonrasında gizli kalabilecek durumları kontrol etmek için uygulandığında daha kullanışlı olmaktadır.

Konu ile ilgili ön bilgi ve uzmanlık gerektirmektedir. Ancak bu şekilde hazırlanan kontrol listelerinin geçerliliği kabul edilebilir veya geliştirilebilir olmaktadır (Özkılıç, 2014). Uygulama yaparken aşağıdaki hususlara dikkat etmek gerekmektedir;

- Etkinliğin kapsamı tanımlanmalıdır, (elektrik, mekanik vb.),
- Bir kontrol listesi, etki alanını yeterince kapsayacak şekilde hazırlanmış olmalıdır,
- Kontrol listelerinin dikkatlice seçilmesi gerekmektedir. Örneğin standart kontroller için kullanılan listeler yeni tehlikeleri veya riskleri belirlemek için kullanılamaz,
- Uzmanların, kontrol listelerini hazırlarken, uygulayacakları adımları, süreç veya sistemin her bir unsurunu düşünmeleri ve kontrol listeleri üzerinde kritik kontrol öğelerinin mevcut olup olmadığını değerlendirmeleri gerekmektedir. (Özkılıç, 2014).

Eğer risk teşkil edebilecek durumlar varsa bu tehlikeden kaynaklı riskleri önlemeye dönük çalışmalara önem verilmelidir. Bu metot uygulandığında ve işletmede hazır halde bulundurulduğunda oluşabilecek risklerin değerlendirmesi kolaylıkla yapılabilecektir.

Bu şekilde; işletme bünyesindeki tehlikelerden kaynaklı, risk teşkil edebilecek durumların neler olabileceğine yönelik değerlendirme sonuçlarına ulaşıp, gerekli önlemler alınabilecektir.

Manyezit A.Ş.'ye bağlı Dutluca işletmesinin çalışma sistemine uygulanmış olan Çeklist metodu ile risk değerlendirme kontrol listesi Çizelge 2'de verilmiştir.

İşletmede kullanılan Çeklist metodu ile risk değerlendirmesi, oluşabilecek ve öngörülen tehlike ve risklerin belirlenebilmesi, periyodik aralıklarla kontrollerin yapılabilmesi amacıyla uygulanmaktadır.

Çizelge 2. Dutluca işletmesinin Çeklist metodu ile risk değerlendirmesi örneği

ORGANİZASYON, GÖZETİM VE GENEL ÇALIŞMA ŞARTLARI (E: EVET, H: HAYIR)		E	H
1	Ocak çalışma yönergesi mevcut mu? Çalışanların ve müteahhitlerin bilgilendirilme işlemi gerçekleştirilmiş mi?	x	
2	Çalışan personele iş sağlığı ve güvenliği, kişisel koruyucu kullanımı ile ilgili eğitimler veriliyor mu?	x	
3	Personele gerekli temel ilk yardım kursu ve sertifikası aldırılmış mı? Yeterli ilk yardım personeli var mı?	x	
4	Personele kişisel koruyucu donanım verilmiş mi?	x	
5	İşyerinde acil durumlar için uygun araç var mı?	x	
6	Toz oluşumunu önlemeye karşı tedbir alınmış mı?	x	
7	Uyarı levhaları ve güvenlik işaretleri var mı?	x	
8	İşletme çalışma sahası, kamera güvenlik sistemi kayıtları ile gözlemlenmekte mi ?	x	
9	Patlatma yapılacak alanda herhangi bir personel telefonu veya telsizi ile kuralları ihlal etmekte midir?		x
10	Ocaktaki ayna yükseklikleri uygun mu? Kademe oluşturulmuş mu?	x	
11	Kademe düzlükleri iş makinelerinin rahatlıkla ve güvenli manevra yapabilmelerine uygun genişlikte mi?	x	
12	Aynada çatlak, kavlak kontrolü yapılıyor mu?	x	
13	Gece çalışmaları için aydınlatma yapılmış mı?	x	
14	Ocak içi yolda eğim uygun mu?	x	
15	Drenaj havuzunun etrafında tel örgü ve uyarı levhaları var mı?	x	
16	Vardiyalarda ocak daimi mühendisi tarafından güvenlik denetimi yapılıyor mu?	x	
17	Ocak yolları yağış anında oluşabilecek kayganlık tehlikesi durumuna karşı kanallarla korunuyor mu?	x	
18	Ocak içleri, çevresi ve yollar genel kullanıma uygun, temiz ve tehlike yaratmayacak şekilde mi?	x	
19	Delme patlatma işleri, daimi mühendisler ve teknik sorumluların planlamasında ve sorumluluğunda mı?	x	
20	Delme ve patlatma raporu imza altına alınıp dosyada muhafaza ediliyor mu?	x	
21	Delme paterni daimi mühendis tarafından belirlenip, delme işi sonunda delikler kontrol ediliyor mu?	x	
22	Patlayıcı deposundan alınan patlayıcı maddeler patlayıcı talimatnamesine uygun alınıp, uygun taşınıyor mu?	x	
23	Patlatma sahası, bayraklar ve ikaz levhaları ile kontrol altına alınıyor mu?	x	
24	Barutçu, yardımcıları ve görevli teknik personel haricinde kimse patlatma alanına giriyor mu?		x
25	Patlatmada görevli olanlar cep telefonu, telsiz vb alev çıkarıcı herhangi bir şeyi alanda bulunduruyor mu?		x
26	Yağmurlu ve fırtınalı havalarda patlatma yapılıyor mu?		x
27	Ateşleme mesafesi uygun ve emniyetli bir mesafede mi?	x	
28	İş makineleri ve ocak çalışmalarında kullanılan araç-gereç ateşlemeden önce tesir sahası dışında mı?	x	
29	Patlatma yapılacağı zaman etki alanında kimse bulunuyor mu?		x
30	Her şeyi ile hazır olan alan, jandarma ile yapılan anlaşma izinleri çerçevesinde 2 dakika siren çalındıktan sonra daimi mühendisin kırmızı flama işareti ile barutçu tarafından patlatılıyor mu ?	x	
31	Patlatma sahası, patlatma yapıldıktan sonra mühendis ve barutçu tarafından kontrol ediliyor mu?	x	
32	Patlatma işleminde elektrikli kapsül kullanılıyor mu?	x	
33	Deliklerde kullanılan kapsüller non-elektrik kapsül mü?	x	
34	Operatörler iş makineleri için belirlenmiş hız limitlerine uygun çalışıyor mu?	x	
35	İş makinelerinde yangın söndürme tüpleri bulunduruluyor mu?	x	
36	İş makinesi operatörlerinin ehliyetleri var mı?	x	
37	Vardiyası biten iş makineleri vardiya bitiminde uygun alanlara çekiliyor mu?	x	
38	İş makineleri, sabit veya mobil tesisler, yardımcı cihaz ve makinelerin, periyodik kontrolleri yapılmış mı?	x	
39	İş makineleri sadece kabiliyetleri ve görevlendirildiği işlerde kullanılıyor mu?		x
40	İş makinesi operatörleri duraklamalarda uygun ortamlarda mı dinleniyor?	x	
41	İş makinesi keççesi yüklüken askıda bekletiliyor mu?		x
42	Çalışma alanlarında yükleme yapılacak kamyon haricinde iş makinesi, kamyon ve insan bulunuyor mu?		x
43	Delici makine operatörü koruyucu malzeme kullanıyor mu?	x	
44	Delici makine operatör kabini gürültüye karşı yalıtımlı mı?	x	
45	Yükleme anında kamyonu inip binme yapılıyor mu?		x

46	Trafik akışında yüklü kamyonlara öncelik tanınıyor mu?	x
47	Sisli, puslu.. vs havalarda farlar açılıp çalışılıyor mu?	x
48	Kamyon şoförleri kamyonlar için belirlenmiş hız limitlerine uyuyorlar mı?	x
49	Mesai aralarında iş makineleri ve kamyonlar, patlatma sahasından uzak emniyetli bir yere park ediliyor mu?	x
50	Kademeler fiziksel olarak incelenip gerekli önlemler alınıyor mu?	x
51	Çalışması bitmiş kademeler kavlaklardan arındırılıp emniyete alınıyor mu?	x
52	Kullanılan patlayıcı malzeme artıkları (ANFO çuvalı) gibi işletme bünyesinde imha edilmekte midir?	x

## 2.2. L Tipi Risk Değerlendirme Karar Matrisi Yöntemi

Bu yöntemde; 5x5 matris diyagramı oluşturularak sebep-sonuç ilişkilerine dayalı risk değerlendirme işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Bir olayın gerçekleşme ihtimali olayın ortaya çıkma sıklığına göre belirlenmektedir. Risk değerlendirmesi yapılan işletmelerde bir kaza olayının gerçekleşme ihtimalini göstermek için verilen ihtimal skalasına göre ihtimal basamak derecesi belirlenmektedir.

$$Risk = İhtimal \times Zararın Şiddeti \quad (1)$$

İşyerinde bir kaza olayının gerçekleşme ihtimalini göstermek için Çizelge 3'de verilen ihtimal skalası kullanılmaktadır. Muhtemel bir olay sonrası beklenen zarar veya hasarın derecelendirilmesi için ise Çizelge 4'teki skala kullanılmaktadır.

Çizelge 3. Bir olayın gerçekleşme ihtimali (Özkılıç, 2005).

İHTİMAL		ORTAYA ÇIKMA OLASILIĞI İÇİN DEĞERLENDİRME BASAMAKLARI
Çok Küçük	(1)	Hemen hemen hiç
Küçük	(2)	Çok az (yılda bir kez), sadece anormal durumlarda
Orta	(3)	Az (yılda birkaç kez)
Yüksek	(4)	Sıklıkla (ayda bir)
Çok Yüksek	(5)	Çok sıklıkla (haftada bir, her gün), normal çalışma şartlarında

Çizelge 3 ve Çizelge 4'te verilen ihtimal ve derecelendirme değerleri kullanılarak Çizelge 5'teki risk skor matrisi oluşturulmakta ve elde edilen sonuçlar Çizelge 6'da verilen tabloya göre değerlendirilmektedir.

Denklem 1'e göre, risk skoru katlanılamaz ya da önemli riskler kategorisinde bulunuyorsa bu risklerin kabul edilebilir düzeye indirilebilmesi için gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Çizelge 4. Bir olayın gerçekleşmesi durumundaki şiddeti (Özkılıç, 2005).

SONUÇ		DERECELENDİRME
Çok Hafif	(1)	İş saati kaybı yok, ilkyardım gerektiren
Hafif	(2)	İş günü kaybı yok, kalıcı etkisi olmayan ayakta tedavi ilk yardım gerektiren
Orta	(3)	Hafif yaralanma, yatarak tedavi gerekir
Ciddi	(4)	Ciddi yaralanma, uzun süreli tedavi, meslek hastalığı
Çok Ciddi	(5)	Ölüm, sürekli iş göremezlik

Risk matrisleri, tehlike kaynaklarını veya risk düzeyi doğrultusunda risk müdahalelerini derecelendirmek için kullanılır. Birçok risk saptandığında, söz konusu riskler arasında eleme aracı olarak sonuç / analiz matrisinden faydalanılabilir. Örneğin; hangi riskin daha fazla veya daha ayrıntılı analize ihtiyaç duyduğu, hangi risklere öncelikli olarak müdahale edilmesi gerektiği veya hangisinin daha üst düzey bir yönetime aktarılması gerektiğinin saptanması için kullanılabilir. Aynı zamanda matris kullanımı ile hangi riskin üzerinde durulmaması gerektiği de saptanabilir. Son olarak bu tür bir risk matrisi, belirli bir riskin genel olarak kabul edilebilir veya kabul edilemez olduğunu belirlemek için de kullanılabilir (Özkılıç, 2014).

Kullanıcı, riskleri derecelendirmek için ilk önce duruma en uygun olan sonuç tanımlayıcısını be-



lirler ve ardından söz konusu sonuçların meydana gelme olasılığını belirler. Bu sayede risk düzeyi, matris üzerinden görülebilir. Birçok risk vakaları, farklı bağıl olasılıklara sahip birçok sonucu beraberinde getirebilir.

Genellikle küçük problemler, felaketlerden çok daha yaygındır. Dolayısıyla üzerinde durulması gereken husus; en yaygın sonucu mu, en ciddi sonucu mu yoksa başka kombinasyonları mı derecelendirmek gerektiğidir. Çoğu durumda, en kapsamlı tehditleri içerdikleri ve en çok dikkati çektikleri için en ciddi sonuçlara odaklanmak uygun olacaktır. Bazı durumlarda da yaygın yaşanan problemleri ve muhtemel olmayan felaketleri birbirinden bağımsız riskler şeklinde derecelendirmek uygun olmayabilir. Burada önemli olan, olayın tüm olasılığından ziyade, seçilen sonuca ilişkin olasılığın kullanılmasıdır. Matris yardımıyla tanımlanan risk düzeyi, riske müdahale edip etmeme konusunda bir karar kuralı ile bağlantılı olabilir (Özkılıç, 2014).

Risk skorlaması sonuçlarına bakılarak riskin kabul edilebilirlik değerleri skalasına göre önlem alınması gerekip gerekmeyeceği veya acil önlem alınması gereken durumlar kolaylıkla saptanabilir.

Çizelge 5. Risk Skor Matrisi (L Tipi Matris) (Özkılıç, 2005; Önder vd., 2011).

Zararın Şiddeti	Çok Hafif (1)	Hafif (2)	Orta (3)	Ciddi (4)	Çok Ciddi (5)
İhtimal					
Çok Küçük (1)	1 İhmal Edilebilir	2 İhmal Edilebilir	3 Düşük	4 Düşük	5 Düşük
Küçük (2)	2 İhmal Edilebilir	4 Düşük	6 Düşük	8 Orta	10 Orta
Orta (3)	3 Düşük	6 Düşük	9 Orta	12 Orta	15 Yüksek
Yüksek (4)	4 Düşük	8 Orta	12 Orta	16 Yüksek	20 Yüksek
Çok Yüksek (5)	5 Düşük	10 Orta	15 Yüksek	20 Yüksek	25 Tolere Edilemez

Çizelge 6. Risk değerlendirmesi sonucunun kabul edilebilirlik değerleri (Özkılıç, 2005).

SONUÇ	EYLEM
Katlanılamaz Riskler (25)	Belirlenen risk kabul edilebilir bir seviyeye düşürülünceye kadar iş başlatılmamalı eğer devam eden bir faaliyet varsa derhal durdurulmalıdır. Gerçekleştirilen faaliyetlere rağmen riski düşürmek mümkün olmuyorsa, faaliyet engellenmelidir.
<b>Önemli Riskler</b> (15,16,20)	Belirlenen risk azaltılınca kadar iş başlatılmamalı eğer devam eden bir faaliyet varsa derhal durdurulmalıdır. Risk işin devam etmesi ile ilgiliyse acil önlem alınmalı ve bu önlemler sonucunda faaliyetin devamına karar verilmelidir.
Orta Düzeydeki Riskler (8,9,10,12)	Belirlenen riskleri düşürmek için faaliyetler başlatılmalıdır. Risk azaltma önlemleri zaman alabilir.
Katlanılabilir Riskler (2,3,4,5,6)	Belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için ilave kontrol proseslerine ihtiyaç olmayabilir. Ancak mevcut kontroller sürdürülmeli ve bu kontrollerin sürdürüldüğü denetlenmelidir.
<b>Önemsiz Riskler</b> (1)	Belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için kontrol prosesleri planlamaya ve gerçekleştirilecek faaliyetlerin kayıtlarını saklamaya gerek olmayabilir.

Manyezit A.Ş.'ne bağlı Dutluca işletmesine ait olan L Tipi Matris risk değerlendirmesi yöntemi uygulaması işletmede oluşabilecek tehlike ve riskleri belirleyip, tüm bunları minimuma veya sıfıra indirmeyi amaçlayan önlemleri alarak tüm işletmeyi iş sağlığı ve güvenliği açısından korumayı amaçlayan bir çalışmadır. Risk değerlendirmesinden elde edilen sonuçlar Çizelge 7'de gösterilmektedir.

Tespit edilen sonuçlara göre işletmede iş güvenliği açısından alınabilecek tedbirler şöyle sıralanabilir;

– Açık ocak işletmesi maden sahasında herhangi bir taş düşmesi, devrilen ya da yukarıdan düşen sivri cisimler insan sağlığı açısından tehlike arz etmektedir. Bu tehlikelere karşı önlem amaçlı olarak mühendisler ve tüm çalışanlar tarafından ayak koruyucu donanımlar oluşabilecek risklerden korunmak ve riskleri azaltmak için kullanılmalıdır.

Çizelge 7. Kaza nedenlerine göre elde edilen risk skorları

TEHLİKELER	RISK DERECESESİ
Yüksekten düşürme/düşme (Maden sahasında herhangi bir taş düşmesi, devrilen ya da yukarıdan düşen cisimler)	20-25
Patlama, üretim esnasındaki toz	15-25
Su basması, kömür- ekipman yangını	8-14
Patlayıcı madde	15-25
Elle veya mekanik taşıma; el aleti çarpması, düşmesi, sıkışması; yürürken ve yüksekten düşme	8-19
Makine veya malzemelerden kaynaklanan çarpma, düşme, sıkışma ve fiziksel zorlanmalar	8-14
Gürültü, titreşim	8-19
Diğer (elektrik, kimyasal madde, çapak-yonga-çivi batma, aydınlatma, kara yolu çarpma-devrilme-yanma, iş makinesi düşme-yanma, iş makinesi trafikte çarpma-devrilme-yanma)	8-19

– İşletme sahası içerisinde yer alan personellerin kafa koruyucu donanımlarını sürekli kullanmaları, mesai saati ara zamanlarında bile idari birime ulaşınca kadar düşebilecek taş veya sivri cisimlere karşı meydana gelebilecek tehlikelere karşı hazırlıklı olmaları gerekmektedir. Personel bunun bilincinde hareket ederek çalışma hayatına devam etmelidir.

– İşletme sahası içerisindeki araçların önlerinde oluşabilecek toz engelinin çözüme kavuşturulması amacıyla geçiş yolları sık aralıklarla sulanmalıdır.

– İşletmede ilk yardım çantasının içerisinde neler bulunduğu ayrıntılı olarak belirtilmelidir. Taşınabilir olma özelliğinden dolayı, acil durumlarda hızlı ve tedbirli hareket etmekte yardımcı olabilmelidir.

– Yangın tüpünün bulunduğu yerin hemen üzerinde yangın tüpünün nasıl kullanılması gerektiği belirtilmektedir. Bu bilgilerin ulaşılabilir yerde bulunması ve sürekli göz önünde durması gerekmektedir.

– Kamera güvenlik sistemi kayıtları sayesinde işletme çalışma sahasının herhangi bir yerinde

meydana gelebilecek kaza veya oluşabilecek tehlikeden kaynaklı risklere karşı önlem alınabilmelidir.

– İşletmede bulunan güvenlik dolabı içerisinde yedek kişisel koruyucu donanımlar çalışan personel için işletme bünyesinde hazır halde bulundurulmalıdır. Fakat bu hususta işletmelerin kişisel koruyucu donanım kullanımından ziyade işletmede oluşabilecek tehlikeleri kaynağında yok etmeye yönelik önlemlere öncelik vermesi gerekliliği çok büyük bir önem arz etmektedir.

– İşletmede iş güvenliği levhalarının açıkça görülebilen konumda yer alması, darbe ve çarpma risklerine karşı korunmalı olması, kısa ve net açıklamalar içermesi, levhaların boyutlandırma ölçülerine dikkat edilerek oluşturulması ve çalışan personelin bilgilendirilmesi gerekmektedir.

– Makine koruyucusu; insanı makine kaynaklı oluşabilecek tehlikelere karşı korumak amaçlı kullanılmalıdır. Bu ekipmanlar makine koruma amaçlı oluşturulmuş sistem olmayıp insanı makineden korumak, insan sağlığını düşünmek amaçlı oluşturulmuş ekipmanlardır.

– Manyezit işletmesinde mühendislere özel hazırlanmış reflektörlü ikaz yelekleri üzerinde isim ve kan gruplarının açık bir biçimde yazılı olduğu, koruyucu donanımların kişiye özel kullanıldığı görülmektedir. Reflektörlü ikaz yeleklerinin az ışıklı ortamlarda ve gece çalışmaları sırasında fark edileceği ve iş güvenliği önlemi olarak bu hususun önem arz ettiği, kişisel koruyucu donanımların kesinlikle kullanılması gerekliliği zorunluluk çerçevesinde kabul edilmelidir.

– Ocak kazı işlemi yapılan bölgede ve yolların tasarlanma işleminde sahada çalışan en geniş araçların karşı karşıya gelebileceği göz önünde bulundurularak tasarımın yapılması, ocak içi yolların eğiminin görüş mesafesini olumsuz etkileyecek düzeyde olmaması gerekmektedir.

– Basamak ve geçiş yolu kenarlarında bulunan tehlike oluşturabilecek taşlar sürekli temizlenmeli, bölgede çalışan iş makineleri için risk teşkil etmesine önem verilmelidir.

– Kazı işlemi yapılan bölgenin yollarında malzeme bırakılmamalı, yayaların araçların geçtiği yollarda hareket etmemeleri gerekmektedir. Yükleme ve taşıma araçlarını kullanan operatörlerin yetkili makamlarca verilmiş olan ehliyeti bulun-

durma yetkisi altında araçlarını kullanmaları hususunda kontroller gerçekleştirilmelidir.

– Operatörlerin araçlarını kullanırken yol üstünlüğü kurallarına uymaları ve uyarı sinyallerine dikkat ederek araçlarını kullanmaları gerekmektedir.

– Yol kenarlarında ve araç geçiş yollarında bulunan uyarı levhaları dikkatle konumlandırılmalı ve periyodik zaman aralıklarında bu uyarı levhaları kontrol edilmelidir.

– Delik delme makinesi operatörü makineye binme ve inme işlemi esnasında tutamakları kullanmalı ve atlamamalıdır. Operatör kabini taş çarpması, taş savrulmasına karşı koruyucu kabin ve tavana sahip olmalıdır.

– Delme işlemi sırasında, dönen delme çubuğunun yakınında başka çalışan personelin bulunmaması ve delik delme işlemi bittikten sonra gerekli patlayıcı malzemelerin deliğin kenarına güvenlik çerçevesi içerisinde bırakılması gerekmektedir.

– Delik delme makinesinin yakın mesafesinde meydana gelebilecek taş savrulması riskini önlemek amacıyla insan bulunmadığına dikkat edilmesi gerekmektedir.

– Patlatma sahası bayrak ile işaret edilmelidir. Bu bölge tehlikeli bölge olarak adlandırılmalıdır.

– Delik mesafeleri ölçümünü yapan ateşleyici belgesine sahip personel ve diğer çalışan personel tehlike oluşturacak durum oluşmasını önlemek amacıyla delici makinenin operatörünün iş makinesi motorunu durdurarak işlemin bitmesini beklemesi iş güvenliği tedbiri olarak olumlu bir davranış olacaktır.

– Ateşleyicinin kafa koruyucu donanımı (Baret) ve ayak koruyucu donanımını (Çelik burunlu ayakkabı) kullanması iş güvenliği önlemi olarak üzerinde durulması gereken bir durumdur.

– Ateşleyici personel delik delme aşamasında iken deliğin dibinde herhangi bir kapsüle duyarlı patlayıcı (dinamit) ve elektriksiz kapsül koymaya dikkat etmelidir. Delik delme işleminin bitmesinin beklenmesi ve delik delme işlemi bitirmeden bu malzemelerin hazır vaziyette yerleştirilmesi halinde tehlikenin ortaya çıkabileceği bir durumun oluşturulmaması gerekmektedir.

– Çalışan personelin toz maskesi kullanması delik delimi esnasında ortaya çıkacak toza maruz

kalma riskini azalmaktadır. Tedbir olarak kişisel koruyucu donanım kullanılmalıdır.

– Açık ocak işletmesinin içerisinde “patlatma bölgesinde bulunan cep telefonu ve telsizini kapat ve kutuya bırak” ibareli levha büyük bir önem teşkil etmektedir. Çalışan personelin mutlaka bu kurala uyması gerekmekte ve patlatma yapılacak bölgenin yakınında telefonu açık bir vaziyette konumlanmaması gerekmektedir.

– Patlayıcı madde depo defteri aracılığıyla işletmede depoya giren ve depodan çıkan patlayıcı maddeler (dinamit, fitil, kapsül, ANFO) ayrıntılı bir biçimde belirtilmeli, depo sorumlusu ile ateşleyici bekçinin imzası eşliğinde bu kayıtlar not edilmeli ve işletme bünyesinde saklanmalıdır.

– Ayrıca patlayıcı malzeme kullanıldıktan sonra geride kalan patlayıcı malzeme artıkları (ANFO çuvalı gibi) işletmenin belli bir bölgesinde imha edilmelidir.

– Patlayıcı madde, lağım deliği iyice temizlenip içinde bir engel olup olmadığı kontrol edildikten sonra ateşleyici tarafından doldurulmalı, sıkılama işlemi yapılmalı ve elektrikle ateşleme yapılmadan önce manyeto kontrol edilmelidir.

– Deliğin içerisine boşaltılan patlayıcı malzemeler; yemleyiciye duyarlı patlayıcı (ANFO), kapsüle duyarlı patlayıcı dinamit muadili emülsiyon patlayıcı, elektriksiz kapsüldür. Doldurma işlemi yapılırken meteorolojik (rüzgâr, yağmur, gök gürültüsü) koşullara dikkat edilmesi, delme patlatma ve doldurma işlemlerinin bu önemli husus göz ardı edilmeden yapılması gerekmektedir.

– İşletmede patlatma yapılacak alana yakın bölgedeki yollar kapatılarak patlatma alanına araç yaklaşmasının önüne geçilecek gerekli iş güvenliği tedbirlerinin alınması gerekmektedir.

– Patlatma işlemi için emniyet mesafesinde beklemeye geçilmeli, ateşleyicinin manyeto aracılığıyla patlatma işlemini gerçekleştirilmesi için gerekli önlemler alınmalıdır.

– Patlatma öncesinde idari binaya ve sahada çalışma halinde olan personele anons yapılarak patlatma yapılacağı haber edilmeli ve daha sonrasında bayrak aracılığıyla patlatma emri verilecek idari binaya ikaz sesi gönderilmelidir.

– Lağım deliğinde patlamamış patlayıcı madde kalabileceği ihtimali düşünülerek elektrikli kap-

sülle ateşleme yapılan bölgeye en az 5 dakikalık zaman dilimi sürecinde girilmemesi, gerekli kontroller yapıldıktan sonra patlatma işlemi yapılmış sahada inceleme yapılması gerekmektedir.

– İşletmede bulunan patlayıcı madde deposunda paratoner sistemi bulunmalı ve deponun çevresinde iletken teller yer almalıdır. Patlayıcı madde deposuna girişler iki kapı aracılığıyla yapılmalıdır. Depoya giriş kısımlarında sac levhalar yer almalı, çalışanlar bu bölgeye ellerini koyarak statik elektriklerini boşalttıktan sonra depo alanına girebilmelilerdir.

Yukarıda bahsedilen önlemlerin tüm maden sektöründe bulunan işletmeler açısından da önemle uygulanması gerekmektedir. Ekonomik boyuttan ve kazanç sağlamaktan ziyade insan sağlığının çok daha önemli olduğu unutulmamalıdır. Günümüz şartlarında tüm maden sektörü ve diğer tehlikeli sınıfta bulunan sektörler tarafından iş güvenliği tedbirlerinin göz ardı edilmeyip yerine getirilmesi zorunluluğu bulunmalıdır.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde ve dünyamızda sürekli gelişen teknoloji ve bu durumun devamında gelişmekte olan sanayileşmeden kaynaklı makine kullanımının sağlanması ve gelişiminin devam etmesi ile insanlar daha az iş gücü harcamakta ve işletmelerde makine teçhizatı kullanımı ile pratik bir şekilde istenilen üretim sonucuna ulaşılmaktadır.

Ancak gelişen teknolojiye bağlı olarak insanların da kendisini geliştirmesi ve iş güvenliği açısından tehlike ve sonucunda oluşabilecek risklere karşı daha da dikkat etmesi gerektiği göz ardı edilmemelidir ki burada asıl önemli olan husus ülkemizde bulunan sektörlerin iş güvenliğine vermesi gereken değer, kazanılan maddiyattan daha önemli olması gerektiğinin benimsenmesi gerekliliğidir. Maddi kazanç sağlamanın yanı sıra insan sağlığına verilen önem ülkemizin gelişmesi için de ayrı bir yer teşkil etmektedir.

Maden sektörü açısından düşündüğümüzde, ne yazık ki bir kısım çalışanlar gerekli tedbirleri yerine getirmemekte, alınması gereken önlemin farkında olamamaktadırlar. Çalışanların bu hususlarda sürekli olarak eğitimlere katılmaları ve tehlike sonucunda oluşabilecek riskleri önlemeye

dönük tedbirleri bilip bu bilinçle hareket etmeleri gerekmektedir.

Tehlike ve risk oluşturabilecek durumlara karşı kaza öncesi önlem alınması, herhangi bir kaza ya da bir meslek hastalığı durumu oluşmasını engelleyecektir. Meydana gelen iş kazalarındaki artışı azaltmak ve bu duruma çare bulmak amacıyla iş yeri sorumlu ve yetkililerinin belirli teknik kapasitelerini geliştirmeleri ve bu bilgilerini, iş yerinin ekonomik hassasiyetini de gözetenerek gerekli önlem ve tedbirleri almaları gerekmektedir.

Bu çalışmada; Manyezit A.Ş. işletmesine uygulanan risk değerlendirme çalışmaları sonucunda alınması gereken tedbirlere dikkat çekilmeye çalışılmıştır. İşletme de maddi kazanç sağlama durumunun sonraki planlara atıldığı, çalışan sağlığına önem verildiği, iş güvenliği yönüne titizlikle yaklaşıldığı, alınması gerekli önlemlerin ve tedbirlerin, yeri ve zamanında gerçekleştirildiği gözlenmiştir. Aynı zamanda çalışanların bilgilendirilmesi amacıyla sıklıkla eğitimler verildiği ve sonuçta personelin iş güvenliği konusunda bilinçlendirildiği tespit edilmiştir.

İşletmede tehlike arz edebilecek durumlara karşı alınması gereken tedbirler ve önlemler iş güvenliği uzmanları tarafından diğer personele aktarılmaktadır. Bu hususa verilen önemden dolayı gerekli risk değerlendirme metotları tekrarlanarak ortaya çıkan değerlendirme sonucunda tespit edilen eksikliklerin giderilmesine çalışılmaktadır.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın yapılmasında değerli katkılarını esirgemeyen Manyezit A.Ş. Maden Mühendisleri Ümit YILDIRIM, Gökhan MERTLER, Canan GEÇİT ve Ali İhsan ÖZKIZILCIK'a teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

Kasap, Y., Subaşı, E., 2011. Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Açık İşletme Madencilğinde Risk Denetimi. Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu'2011 Bildiriler Kitabı, 24-25 Kasım 2011, Zonguldak

Önder, S., Suner, N., Önder, M., 2011. Madencilik Sektöründe Meydana Gelen İş Kazalarının

Risk Değerlendirme Karar Matrisi İle İncelenmesi. Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, s. 399-406.

Özkılıç, Ö, 2005. İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri. Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu, Ankara, s. 244.

Özkılıç, Ö., 2014, Risk Değerlendirmesi. Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu, s. 422.

SGK, 2014. Sosyal Güvenlik Kurumu, 2011-2014 Yılları İş Kazaları İstatistikleri, <http://www.sgk.gov.tr/>

TMMOB, Maden Mühendisleri Odası, 2010. Madencilikte Yaşanan İş Kazaları Raporu.



Derleme / Review

## DOĞALTAŞ SEKTÖRÜNDE KULLANILAN ULUSLARARASI AMBALAJLAMA VE NAKLİYE KURALLARININ/STANDARTLARININ İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF INTERNATIONAL PACKING AND TRANSPORTATION USED RULES/STANDARTS IN NATURAL STONE INDUSTRY

İsmail Sedat Büyüksağış<sup>a,\*</sup>, Memduh Uz<sup>a,\*\*</sup>, Mustafa Gürsoy<sup>c,\*\*\*</sup>

<sup>a</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, TÜRKİYE

**Geliş Tarihi / Received** : 2 Mayıs / May 2018  
**Kabul Tarihi / Accepted** : 8 Ağustos / August 2018

### Anahtar Sözcükler:

Doğaltaş,  
Ambalajlama,  
Nakliye,  
Standartlar

### ÖZ

Bu çalışmada, doğaltaş sektöründe kullanılan nihai ürünlerin popüler ölçü ve ambalaj standartları ile bunların müşteriye teslimi için nakliyesinde kullanılan taşımacılık standartları incelenmiştir. Yapılan incelemelerde sektörde ürün ölçü tolerans ve ambalajlama standartları bulunmasına rağmen, nihai ürünlerin resmi yazılı ölçü standartları bulunmamaktadır. Bu çalışmada blok, levha, plaka, fayans ve değişik ölçülerdeki ürünlerin ambalaj ve kasalarının hangi standartlar içinde yapıldığı araştırılmış ve bunların uygulamaları detaylı şekilde verilmiştir. Diğer taraftan ambalajlanmış ürünlerin karayolu, demiryolu ve denizyolu ile taşımacılığında uluslararası bazı standartlar mevcut olup bunlar da detaylıca verilmiştir.

### ABSTRACT

In this study, the size and packaging standards of final products used in the natural stone sector and the transportation standards used for transportation for customer delivery have been examined. Despite the fact that there are popular product sizes and packaging standards in the sector, there are no official size standards for stones. In this scope of work; blocks, plates, slabs, tiles and products of different sizes have been researched in which standard sizes of packages and casings are made, and their applications are given in detail. On the other hand, international standards exist for the transportation of packaged goods by road, rail and sea, and these are detailed in this study.

### Keywords:

Natural stones,  
Packing,  
Transportation,  
Standarts

\* Sorumlu yazar: mgursoy@aku.edu.tr \* <https://orcid.org/0000-0002-2894-8616>

\*\* sbsagis@aku.edu.tr \* <https://orcid.org/0000-0001-6846-4029>

\*\*\* memduh\_uz@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0001-7324-3941>

Bu bildiri 2017 yılında düzenlenen Türkiye 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı'nda yayınlanmıştır.

/ This paper was published in the 9th International Marble and Natural Stones Congress of Turkey held in 2017.

Bu makalenin tüm yayın hakları TMMOB Maden Mühendisleri Odası'na aittir © 2018 / Copyright © 2018. Published by UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey. All rights reserved.

## GİRİŞ

Doğaltaş sektöründe, ithalat ve ihracat aşamasında ürünlerin zarar görmeden tüketiciye ulaşması/teslimi için bir takım ambalajlama sürecinden geçmesi gerekmektedir. Ambalaj malzemelerinin imalatı ve ambalajlama işlemleri de belli bir standartlara göre yapılmaktadır.

Aynı şekilde doğaltaşların nakliyesi sırasında zarar görmemesi için ve en verimli taşıma kapasitesinin belirlenmesi açısından doğaltaşlar belirli nakliye kuralları kapsamında taşınmaktadır.

Çamlı (2013) doğaltaşlar için ahşap kasa malzemelerinin ISPM 15 uygulamasından sonra fiziksel testlerini yaparak, malzemede oluşan değişikliklerini gözlemlemiştir.

Bu çalışmada, doğaltaş malzemeler için ambalajlama malzemeleri - çeşitleri, ambalajlama standartları ve uluslararası nakliyelerde kullanılan konteyner, treyler ve vagonların standartları incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, sektörde çalışacak kişilerin ambalajlama ve nakliye standartlarını tanıması uygulamasını kolaylaştırmada katkıda bulunmaktır.

## 1. AMBALAJLAMA VE PAKETLEME SİSTEMLERİ

Günümüzde sanayi ürünlerinin pazarlanması sırasında, problem olarak ortaya çıkan konulardan biri ambalajlamanın yetersizliğidir. Genellikle ambalaj ve paketlemeye önemsiz bir ayrıntı gibi bakılmaktadır.

Alıcı ülkenin uzaklığı, nakliye şekli ve gideceği yerdeki yükleme-boşaltma koşulları da göz önüne alınarak, ambalaj modeli ve ambalajda kullanılacak malzeme iyi seçilmelidir. En önemli husus sadece malın fabrikadan sağlam olarak çıkması değil, varış yerine sağlam olarak ulaşmasıdır. İşlenmiş mermerlerin basit hatalar ve dikkatsizlikler sonucu geri dönmeleri ya da zaman zaman cezai uygulamalara maruz kalmaları ihracatta karşılaşılan en önemli sorunlardır. Bazen daha nakliye sırasında bu ürünler tamamen ya da kısmen kullanılamaz duruma gelebilmektedir.

Ambalajlama mermer fabrikalarında genellikle iki türlü yapılmaktadır. Bunlar paketleme ve sandıklamadır (Uz ve Büyüksağış, 2012).

### 1.1. Paketleme

Daha çok mermer karo ve fayansların ambalajlamasında kullanılır, strafor veya oluklu mukavva karton malzemedir yapılır. Mermer karo fayansların paketlenmesi için mermer fabrikalarının bu iş için hazırlanmış, tozdan arındırılmış bir kalite kontrol ve paketleme biriminin olması gereklidir.

İşletmelerde seleksiyon hattı adı verilen bu birimde imalatı bitmiş mermer fayanslar renk, desen, çatlaklık ve parlaklık kalite kontrolünden geçirildikten sonra önceden hazırlanmış paketlere aralarına naylon film tabakası konularak yerleştirilir. Foto 1'de bu işlem için kullanılan strafor ve kartondan bazı paketleme malzemeleri görülmektedir.



Foto 1. Paketleme malzemeleri

### 1.2. Sandıklama

2-3 cm kalınlığındaki levha-plakaların ve karo fayansların ambalajlamasında ahşap sandıklar kullanılır. Levha ve plaka sandıkları gevrek olmayan sağlam yapılı ağaçlardan standart ölçülerde çıkarılarak elde edilir (Foto 2).



Foto 2. Levha ve plaka kasaları

## 2. AMBALAJLAMA

### 2.1. Fayanslarda Kasa Ambalajlama

Kalınlık ölçülerine göre uygun strafor/ karton kutuları konulur. Bu strafor/karton kutular dolduktan sonra kasalara yerleştirilir, çünkü cilalı yüzeylerin çizilmemesi istenir. İç piyasada kullanılacak fayanslar ise karton kutulara yerleştirilir (Foto 3).



Foto 3. Fayans sandıkları

Strafor/karton kutular kasaya konulmadan önce kasanın alt kısmından 1 cm yanlardan 0,5 cm pay kalmalıdır. Tam ortasından ise 3 cm destek payı ayrılmalıdır. Buralarda kullanılan malzemeler ise plastik, ahşap çita veya strafor köpükler olabilir. Daha sonra strafor kutular kasaya yerleştirilerek üst ahşap parçaları çakılır.

Köşeler ve belli başlı yerler metal bağ ile çakılır. Çakıldıktan sonra ise şerit bantlar ile çelik tokalar kullanılarak şerit bant makinesi ile bağlar takılır (Foto 4). Genelde ihraç olacak kasalarda 3 adet şerit bant kullanılır. İç piyasada ise tek şerit bağ kullanılır. Bu şerit bağlar geçirilmeden önce ise kasanın üzerinden naylon geçirilir.

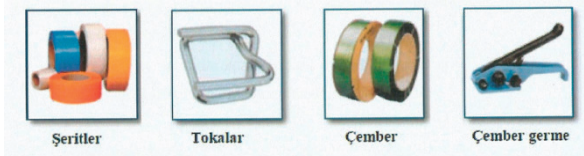


Foto 4. Kasalama yardımcı malzemeleri

## 2.2. Levhaların Ambalajlanması

Büyük boyutlu mermer levhalar 2'lik veya 3'lük olarak gelen siparişlere ve seleksiyona göre vinçler yardımıyla levha kasalarına (bundle) yerleştirilir. İki cm'lik ise 12 ila 14 adet üçlük ise 7 ila 9 adet konulabilir. Bu malzemelerin cilalı yüzeyleri aynı yöne gelecek şekilde aralarına poliepile naylon konularak yüzeyleri birbirlerine yaslanırlar. Levhalar yerleştirilirken alt kenarlarının zarar görmesini engellemek için alt kısmına 1 cm'lik ahşap

lata konulur. Bu malzemeler yerleştirildikten sonra levha kasaların üstteki yatay kalasları çakılarak sağlamlaştırılır. Sağlamaştırma işlemi çivi ve metal vidalarla sağlanır. Daha sonra stok sahalarına alınırlar (Foto 5).



Foto 5. Levha kasalama

## 2.3. Plakaların Ambalajlanması

Bu ürünler genelde iç piyasaya gider. İhracata gidenlerde ise fayans ambalajlarına benzer yöntem uygulanır ancak strafor kutulara konulmaz, doğrudan kasalanır ya da karton kutulara yerleştirilirler. Bundan sonraki işlem ise fayans ambalajlamasındaki işlemlerle aynıdır (Foto 6).



Foto 6. Plaka kasalama

## 2.4. Palet Üzeri Malzeme Ambalajlama

Genelde yurtiçi piyasada taşıma için paletler kullanılır (Foto 7). Palet üzerinde gidecek olan plakalar, döşemeler vb. ürünler genelde iki sıra, üst üste forkliftlerin maksimum kapasitesine göre





Foto 7. Palet üzerine ambalajlama

Ürünler yerleştirilirken cilalı yüzeyler aynı yöne gelecek şekilde aralarına poliepilen naylon kullanılarak dizilirler. Bu işlem bittikten sonra paletin üzerine 2 adet şerit plastik bağ kullanılarak çelik tokalarla çelik sıkma pensesi ile bağlanır. Dizilen malzemeler paletlerin kenarlarında 25-30 cm dışa çıkabilir. Tüm bu işlemler yapıldıktan sonra stok sahalarına alınırlar.

## 2.5. Poşetleme (Shrink)

Ambalajlanmış olan kasaların en son işlem olarak üstünden naylon geçirilerek pürmüz ile ısı işlem uygulanarak naylonun eriyerek kasaya yapışması/büzüşmesi (shrink) sağlanır. Bu şekilde dış etkilere maruz kalsa dahi içindeki mamuller zarar görmez (Foto 8).



Foto 8. Poşetli ambalajlama

## 2.6. Etiketleme/Barkodlama

İhracatı yapılacak olan mermerlerin ambalajlandıktan sonra görülecek herhangi bir yüzeyine firmanın veya ihracatı olacak firmanın kendisine ait etiket/barkod bulunması gerekmektedir (Foto 9).

Bu etikette;

Taşın cinsi, Ölçüleri, Adeti, Miktarı ( $m^3, m^2, m^{tül}$ ), Bürüt ağırlığı, Net ağırlığı, Kontrol eden kişinin adı soyadı, Tarihi vb. bilgiler Türkçe/İngilizce yer almalıdır.

Bunların asıl amacı; stoklanmış malzemelerin stok sahasında daha çabuk bulunması, hangi cins taşın veya hangi siparişin nerede olduğunun kolaylıkla bulunmasına yardımcı olmaktır.

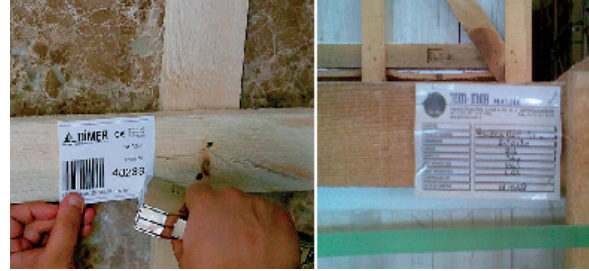


Foto 9. Etiketleme/barkodlama örnekleri

## 3. AHŞAP KORUMA STANDARTLARI

Kullanılan ambalaj malzemeleri, ISPM 15 (ahşap ve bitki koruma) standartlarına uygun olmalıdır. Amaç ahşap malzemeler içinde zararlı haşere türü canlıların olmasını önlemektir. Bunun için yapılan işlemler aşağıda açıklanmıştır (ISPM 15, 2009).

### 3.1. Isıl İşlem

Ahşap ambalaj malzemesinin ısı işleminden geçirilmiş sayılması için, ahşabın iç (öz) ısısının min.  $56^{\circ}C$  de en az 30 dakika boyunca bekletilmesi gerekmektedir (Foto 10). Yukarıda belirtilen ısı değeri ahşap malzemelerde görülen ve larvası ısıya karşı en dayanıklı böcek olan Sirex böceği larvasının öldürülebildiği değerdir. Ahşabın bu koşullarda bekletilmesi, zararlı mantar ve böceklerden temizlendiğini göstermektedir. ISPM 15 standartlarında da ulaşılması gereken sonuç budur. Böylece zararlı böcek ve mantarlar ahşap ambalaj maddeleri ile bir ülkeden diğer ülkelere yayılmayacak ve böyle ormanlarda meydana gelebilecek zararlı böcek ve mantarların meydana getirebileceği zararlar azaltılmış olacaktır.



Foto 10. Fırınlama işlemi

### 3.2. Fumigasyon

Kimyasal olarak “metil bromür” kullanılarak 16 saat süreyle malzemelerin özel odalarda fumige edilmesidir (Foto 11).



Foto 11. Fumigasyon işlemi

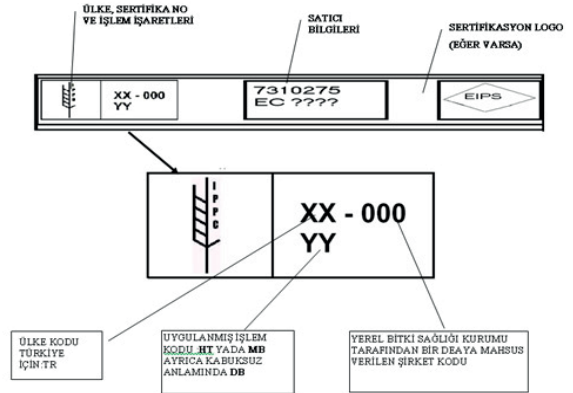
Her iki metot da ayrı ayrı ya da birlikte kullanılabilir. Hangisinin uygulanacağı seçiminde asıl kriter maliyettir. Her ahşap ambalaj tedarikçisi ve bunu kullananlar ahşabın tamamen garantili ve ISPM 15 e uygun olduğunu kanıtlamak zorundadır. Uygun olmayan ahşap ambalaj kullanılmış ürünler gönderilen üye ülkeler tarafından geri çevrilecektir.

### 3.3. Ahşaplar Üzerinde Bulundurulması Gereken Logo ve İşaretler

İhracatı yapılacak olan fayans, plaka, levha vb. ürünlerin ambalajlanmadan önce bu ahşapların üzerinde;

- Ülke, sertifika no ve işlem işaretleri
- Satıcı bilgileri
- Sertifika logosu
- Ülke kodu
- Uygulanmış işlem kodu

-Yerel bitki sağlığı kurumunun vermiş olduğu şirket kodu bulunmalıdır (Şekil 1 ve Foto 12).



Şekil 1. ISPM 15'e göre işaretleme

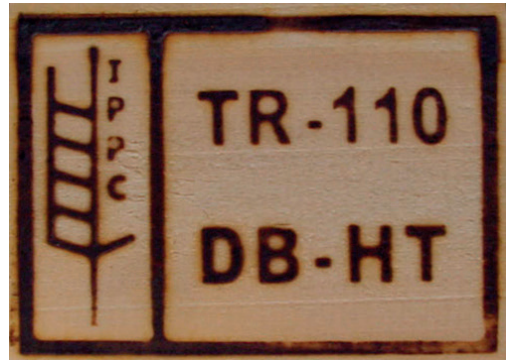


Foto 12. ISPM 15 işaretleme örneği

### 4. DOĞALTAŞ ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN STANDART KASA ÖLÇÜLERİ

Doğal taş sektöründe kullanılan kasa çeşitleri herhangi bir resmi standarda bağlı değildir. Bloklar kasalamadan da ihraç edilebilirler. Ölçü standartlarının resmi olarak yer aldığı bir standart bu-

lunmamakla birlikte ambalajlamanın hangi hassasiyete göre yapılacağı TSE-EN 1468:2011 de verilmektedir. Bu standarda göre; levhalar ambalajlanmadan önce temiz olmak zorundadır. Buna göre tedarikçi ıslak ve kuru koşullarda ambalaj malzemelerinin kirlenmesine karşı güvenlik tedbiri almak zorundadır. Lekeli ambalaj ve bantlar kullanılmayacaktır. Hassas cilalı yüzeyler uygun yöntemlerle (plastik folyo vb) korunacaktır. Aşındırıcı özellikteki ambalajlar kullanılamazlar.

Standart konteyner iç ölçüleri üzerinden kasaların dıştan dışa, dış ölçüleri belirlenir. Çizelge 1'deki fayans ve plaka kasa ölçülerinde görüldüğü gibi, dış ölçülere göre kasanın hacmi ve kapasitesi hesaplanır. Bu kasalar üretilen ürünlerin ölçülerine, ihracatı yapılan firmanın isteğine veya üretici isteğine göre de bazı değişiklikler gösterebilmektedir.

Çizelge 1. Çeşitli kasaların ölçü tablosu

Kasa Tipi	Kasa ölçüleri				Kasa İçeriği		
	En (cm)	Boy (cm)	Yükseklik (cm)	Adet (Tane)	Net Ağırlık (kg)	Brüt Ağırlık (kg)	Miktar (m <sup>3</sup> )
1	65	102	35	85	531,21	569,16	15,81
2	85	102	43	166	916,94	982,44	27,29
3	95	102	50	166	1164,9	1248,12	34,67
4	65	102	65	400	1041,8	1116,3	37,21
5	95	102	50	200	1403,2	1503,36	41,76
6	65	102	65	270	1250,3	1340	37,21
7	85	102	43	170	913,92	979,2	27,2
8	64	126	66	55	1108,8	1188	19,8
9	65	102	65	100	1008	1080	18
10	95	102	50	190	1333,2	1428,5	39,68
11	85	102	63	Muhtelif	Muhtelif	Muhtelif	Muhtelif
12	85	102	43	Muhtelif	Muhtelif	Muhtelif	Muhtelif

Burada;

1. 30,5x61x1,2 cm'lik fayans kasaları
2. 40,6x40,6x1,2 cm'lik fayans kasaları
3. 45,7x45,7x1,2 cm'lik dökme fayans kasaları
4. 30,5x30,5x1 cm'lik fayans kasaları
5. 45,7x45,7x1,2 cm'lik fayans kasaları
6. 30,5x61x1,2 cm'lik fayans kasaları
7. 40x40x1,2 cm'lik fayans kasaları

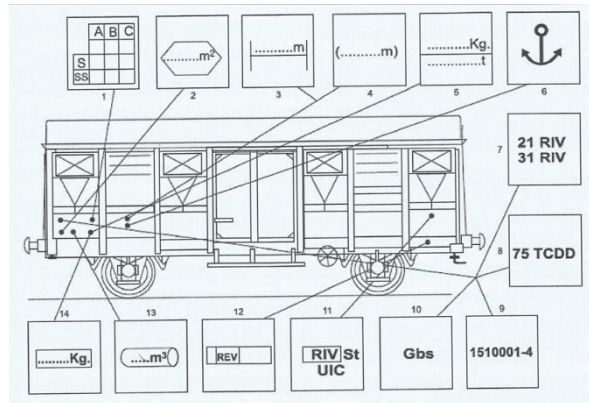
8. 60x60x2 cm'lik plaka kasaları
9. 30x60x2 cm'lik plaka kasaları
10. 45,7x45,7x1,2 cm'lik karton kasası kasa ölçüleri ve kapasite verileri
11. Set Kasası kasa ölçüleri ve kapasite verileri
12. BS Kasası kasa ölçüleri ve kapasite verileri

## 5. İHRACATTA KULLANILAN VAGON ÇEŞİTLERİ

Demiryolu ile yapılacak taşımalarda, eşyanın yükleme yerine getirilmesi ve vagona yüklenmesi mal sahibine (göndericiye) aittir. Varış yerinde yükün boşaltılması alıcı tarafından yapılır.

Ülkemizden Avrupa ülkelerine ve bu ülkelerden Türkiye'ye, ayrıca Suriye, Irak, İran, Türk Cumhuriyetleri ve Bağımsız Devletler Topluluğu ile bu ülkeleri transit geçerek, diğer üçüncü ülkelere karşılıklı yük taşımaları TCDD ile yapılabilmektedir.

İhracatta kullanılan vagonlara ait bazı detay bilgileri aşağıda verilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Vagon üzerindeki yazı ve işaretler

1. Bu tabloda belirtilen yükleme limitleri hat sınıflarına (dingil basıncı) göre vagona yapılabilecek yükleme miktarlarını gösterir, TCDD Hatları Genel sınıfı C2 yani 20 ton olup, bazı kesimlerimiz D2 yani 22,5 tondur. Vagonlar taşımanın yapılacağı güzergah üzerindeki en düşük dingil basıncı dikkate alınarak yüklenirler. Vagonlara 22,5 ton yükleme yapılabilmesi için (vagon 22,5 ton dingil basıncına uygun imal edildiğini gösteren) yükleme tablosunda D sınıfı hatlar için yükleme limitinin yazılmış olması gereklidir. Eğer vagon üzerinde D sınıfı hatlar için yükleme limiti yazılmamış

ise o vagona 22,5 ton dingil basıncına göre yüklemeye yapılamaz.

2. Bu altıgen biçimli işaretin içerisindeki rakam, vagonun taban alan ölçüsünü verir.

3. Vagonun yüklemeye uzunluğunu gösterir.

4. Vagonun tamponlar arası uzunluğunu gösterir.

5. Bu dikdörtgen şeklindeki işaretin üst tarafında belirtilen ağırlık (kg) cinsinden vagonun darasını, alt taraftaki rakam (t) ton cinsinden el fren kuvvetini gösterir.

6. Vagonun feribotla taşınabileceğini gösterir.

7. Vagonun, demiryolu veya şahıs vagonu olup olmadığını, uluslararası standartlara uygunluğunu ve dingil sayısını gösterir.

8. Vagonun sahip idaresini ya da üçüncü şahıs vagonu ise o vagonu tescil eden UIC (Uluslararası Demiryolları Birliği) üyesi demiryolu idaresini gösterir.

9. Vagonun inşaa tarzı dikkate alınarak tipine uygun Uluslararası standartlara göre verilen numarasını, o vagonun imalat sıra numarasını gösterir.

10. Vagonun inşaa tarzı dikkate alınarak tipine uygun uluslararası standartlara göre tipini gösteren işarettir.

### 5.1. Yük Vagonlarının Tipleri ve Kullanım Sahaları

Yük vagonlarının tipleri ve kullanım sahalarını gösteren Çizelge 2'de belirtilmiştir.

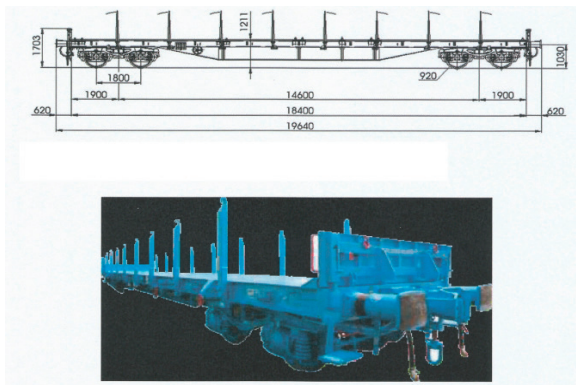


Foto 13. S tipi Vagon detayları

Doğal taşların konteynerlerle ihracatında kullanılan vagon çeşitlerinde aranan standart TS-EN-12663-2:2010'dir. Bu standarda göre doğaltaşların nakliyesinde kullanılan S tipi vagonların özellikleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2. Yük vagonlarının tipleri ve kullanım sahası

Tipi	Vagon İnşaa tarzı	Kullanım Özellikleri
G	Kapalı	Her türlü ev eşyası, gıda maddesi, torbalı çimento, gübre, canlı hayvan vb. taşımalar yapılır.
H	Kayar yan duvarlı kapalı	Paletli eşya vb. taşımalar yapılır.
E	Yüksek Kenarlı	Konteyner, kömür, her türlü maden cevheri, tuğla, kiremit, demir, boru, kum vb. taşımalar yapılır.
K,R	Platform	Taşıt, iş ve tarım makineleri, beton, demir, ağaç, direk vb. taşımalar yapılır.
	Çok amaçlı	Üzeri körüklü tente ile kapatılan, platform tipi vagon ile paletli taşımalar yapılır.
S	Platform	Konteyner, tank, ağır iş makineleri, tır vb. taşımalar yapılır.
F	Yüksek kenarlı	Kömür, her türlü maden cevheri taşımaları yapılır. Vagon üstten doldurulur ve yandan otomatik boşaltma sistemiyle boşaltılır.
Ug	Özel tip	Dökme hububat taşıması yapılır. Vagon üstten doldurulup alttan boşaltılır.
Z	Samiçli	Akaryakıt taşımaları yapılır.
Uaa	Ağır yük	Trafo, jeneratör reaktör gibi ağır ve havaleli yükler taşınır. 120, 180 ve 250 ton.

### 5.2. S Tipi Platform Vagon

Konteyner nakliyesinde genelde S tipi platform vagonlar kullanılır ve bunların özellikleri aşağıda verilmiştir (Foto 13 - Çizelge 3).

Çizelge 3. S tipi platform vagonunun kapasite verileri

Tip	Sgs	Sgss	Ss	Saps
Yüklemeye Kapasitesi (t)	55	67	58	80
Darası (t)	25	23	22	27
Yüklemeye Hacmi (m³)	-	-	-	-
Yüklemeye Alanı (m²)	48,64	52,4	35,6	39,38
Yüklemeye Boyu (m)	18,5	18,4	11,3	12,5
Yüklemeye Eni (m)	2,64	2,85	2,70	3,15
Yan Duvar Yüksekliği (m)	-	-	-	-
Kapı Ölçüleri (mm)	-	-	-	-
Taban Malzemesi	Tahta+Sac	Tahta+Sac	Tahta+Sac	Tahta+Sac

## 6. İHRACATTA KULLANILAN KONTEYNER ÇEŞİTLERİ

Aslında birçok standart konteyner çeşidi olmasına rağmen, bu bölümde sadece doğaltaş ihracatında sıklıkla kullanılan konteynerlerden bahsedilecektir.

### 6.1. Standart Konteyner

İhracatta kullanılan konteynerler TS-ISO 668 standardına uygun olmak zorundadır. Bu standartlara göre konteynerler boyutlarına göre 20'FT, 40'FT ve 40'HC olmak üzere üç çeşide ayrılmaktadır.

#### 6.1.1. 20' FT Standart Konteyner

20'FT standart konteyner her türlü kuru yükün taşınmasında kullanılabilir (Foto 14). Bunun yanı sıra, genel olarak hacmi küçük ancak ağır tonaj malların sevkiyatında yoğun olarak talep edilmektedir.



Boyutlar	En (m)	Boy (m)	Yükseklik (m)
Dıştan Ölçüler	2,438	6,060	2,590
İçten Ölçüler	2,352	5,900	2,390
Kapı Ölçüleri	2,340	-	2,283

Hacim (m <sup>3</sup> )	Yük (ton)	Dara (ton)
33,00	28,150	2,330

Foto 14. 20'FT standart konteyner ölçüleri

Blok mermer, kesilmiş paletli mermer ve benzeri madenler limanlardan yoğun olarak ihraç edilen ürünlerdir ve lojistik açısından bu ürünler için 20'FT konteyner uygun olmaktadır. Bunun nedeni, konteynerin fiziksel olarak küçük olması ve küçük hacimli ancak ağır tonajlı yüklerin konteynerde deformasyona yol açmamasıdır. Genel olarak 20'FT konteynerin yükleme limiti 28 ton civarında olup iç hacmi 33 m<sup>3</sup>'tür. Uygulamada kolaylık sağlanması nedeniyle sadece 20'FT konteynerlerin taban kısmında forklift bıçaklarının girebileceği açıklıklar bulunmaktadır.

#### 6.1.2. 40'FT Standart Konteyner

40'FT standart konteynerler de genel olarak tüm kuru yükleri taşımak için kullanılabilir.

(Foto 15). Bunun yanı sıra düşük tonajlı ancak hacmi büyük olan mal cinsleri için tercih edilmektedir.



Boyutlar	En (m)	Boy (m)	Yükseklik (m)
Dıştan Ölçüler	2,438	12,192	2,590
İçten Ölçüler	2,352	12,030	2,390
Kapı Ölçüleri	2,340	-	2,275

Hacim (m <sup>3</sup> )	Yük (ton)	Dara (ton)
67,70	28,700	3,800

Foto 15. 40'FT standart konteyner ölçüleri

#### 6.1.3. 40'FT High Cube Konteyner

40'FT HC konteyner boyut olarak 40'FT standart konteynerden benzerdir. Ancak HC konteyner diğerlerinden 27 cm daha yüksektir. HC konteynerdeki 27 cm'lik yükseklik farkı hacim olarak ise 8,3 m<sup>3</sup> daha fazla yer sağlamaktadır. HC konteyner hacim olarak 40'FT konteynerden daha geniş konteynerlere yüklenmesi uygun olan kargolar için kullanılmaktadır. Yükleme operasyonları esnasında diğerlerinden ayırt edilmesi açısından tavan bölümünün köşelerinde sarı-siyah şeritler ile uyarı ibaresi yapılmıştır. Bunu yanı sıra konteyner üzerinde İngilizce ifadeler ile "Dikkat! Yüksek Treyle" uyarısı bulunmaktadır.

### 6.2. Open Top (Üstü Açılır) Konteynerler

Open top (açık üstlü) konteynerlerin standart konteynerlerden farkı, tavan bölümünün kapalı olmasıdır (Foto 16). Konteyner tavanı yükleme yapıldıktan sonra yan duvarlarda bulunan kulplara geçirilen iplerle sabitlenen bir branda ile kapatılarak iç kısmının dış etkilere maruz kalması engellenmiştir. Genel olarak open top konteynerler yükleme esnasında kolaylık sağlayarak, standart konteynerler için uygun olmayacak yüklerin sevkiyatında kullanılmaktadır. Bu yüklere örnek olarak; blok mermer, makine, çeşitli özel proje yükleri ve ağır sanayi ürünleri verilebilir. Open top konteynerlerin sağladığı önemli avantajlardan biri de standart konteynerden yüksekliği nedeniyle uygun olmayan yüklerin sevk edilebilmesidir. Uygulamada bu tür yüklere "tasmalı yükleme" denilmektedir. Şüphesiz tasmalı yüklemeler gemi üzerinde yer kaybına neden olacağından armatör tarafından farklı şekilde fiyatlandırılıp tasma nispetinde ilave masraflar talep edilecektir.

Boyutlar	En (m)	Boy (m)	Yükseklik (m)
Dıştan Ölçüler	2,438	6,060	2,590
İçten Ölçüler	2,340	5,890	2,360
Kapı Ölçüleri	2,320	-	2,250

Hacim (m <sup>3</sup> )	Yük (ton)	Dara (ton)
32,600	21,700	2,300

Foto 16. 20'FT open top konteyner ölçüleri

### 6.2.1. 20'FT Open Top Konteyner

20'FT open top konteyner, 20'FT standart konteyner ile aynı ölçülere sahiptir. Genel olarak ağır tonajlı ve küçük hacimli yüklerin sevkiyatında talep edilmektedir. Fiziksel özellikleri nedeniyle standart konteyner için uygun olmayan bir takım malların elleçlenmesi konteynerin açık olan üst bölümü sayesinde oldukça kolaylaştırmıştır.

### 6.2.2. 40'FT Open Top Konteyner

40'FT open top konteyner de uzunluk olarak 20'OT konteynerden ayrılmaktadır.

## 7. KONTEYNER VEYA TREYLERE YÜKLEME

Kasalanmış levha, plaka ve fayans ihracat ürünleri araçlara forklift veya vinçlere takılan özel aparatlarla yükleme yapılır (Foto 17). Mermer sektöründe genellikle konteynerlerin 20'lik, 30'lık ve 40'lık olanları kullanılmaktadır (TS ISO 668, 2007).



Foto 17. Konteynerlere yükleme

30'lık ve 40'lık konteynerlerde genel hacmi büyük olan, ağırlığı az olan malzemeler konulur. Ayrıca şerit bantlarla sağlamlaştırılır. Bu işlemlerden sonra mühürleme yapılarak konteynerler treylere

yüklenir. Bazen de mamuller sadece treylere yüklenilerek üstü brandalı olarak ihraç edilir (Foto 18).



Foto 18. Treylere yükleme

## 8. KARAYOLLARINDA TAŞIMACILIK STANDARTLARI

Karayolları trafik yönetmeliği 128. Maddesine göre araçların ölçü ve ağırlıkları şu şekilde sıralanmıştır;

Madde 128- Karayolunda trafiğe çıkarılacak araçlarda yüklü ve yüksüz olarak uyulacak boyutlar ve karayolu yapısına zarar vermeden güvenle seyredebilecek ağırlıklar şunlardır;

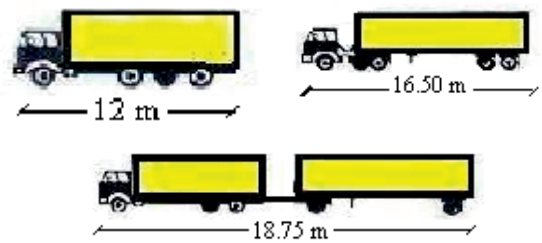
Araçların boyutları ve ağırlıkları

a-Azami genişlik: 2,55 metredir. Frigorifik araçlarda yalnız frigorifik yapı genişliği 2,60 metredir.

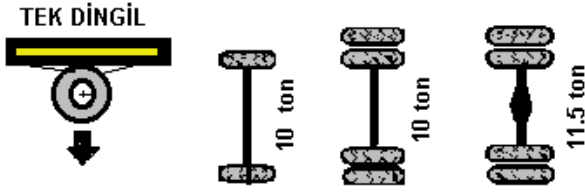
b-Azami yükseklik: 4,00 metredir.

c-Azami uzunluklar (Şekil 3):

- Otobüs dışındaki diğer motorlu araçlarda 12,00 m,
- Römorklarda 12 m,.
- Yarı römorklu araçlarda 16,5 m,
- Römorklu otobüslerde 18,75 m,
- Römorklu araçlarda 18,75 m'yi geçmez.

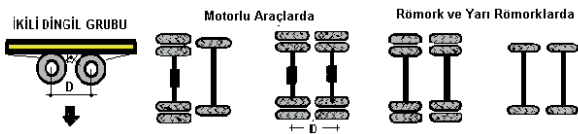


Şekil 3. Karayollarında araç tipine göre maksimum uzunluklar



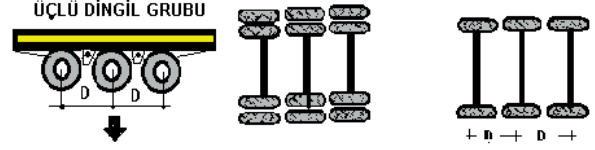
Şekil 4. Tek dingilli araçlarda taşıma kapasiteleri

- İki dingilli aks grubu ağırlığı en çok (Şekil 5),
- Motorlu araçlarda aks grubu ağırlığı
  - ✓ Dingiller arası mesafe 1 m'den az ise ( $1m < d$ ): 11,5 ton,
  - ✓ Dingiller arası mesafe 1m-1.3m arası ise ( $1m \leq d < 1,3m$ ): 16 ton,
  - ✓ Dingiller arası mesafe 1.3m-1.8m arası ise ( $1,3m \leq d < 1,8m$ ): 18 ton,
  - ✓ Dingiller arası mesafe 1,3m-1.8m arası ise: 19 ton,
- Römork ve yarı römorklarda aks grubu ağırlığı en çok:
  - ✓ Dingiller arası mesafe 1 m'den az ise ( $1m < d$ ): 11 ton,
  - ✓ Dingiller arası mesafe 1m-1.3m arası ise ( $1m \leq d < 1,3m$ ): 16 ton,
  - ✓ Dingiller arası mesafe 1.3m-1.8m arası ise ( $1,3m \leq d < 1,8m$ ): 18 ton,
  - ✓ Dingiller arası mesafe 1,8m'den büyük ise ( $1,8m \leq d$ ): 20 ton,



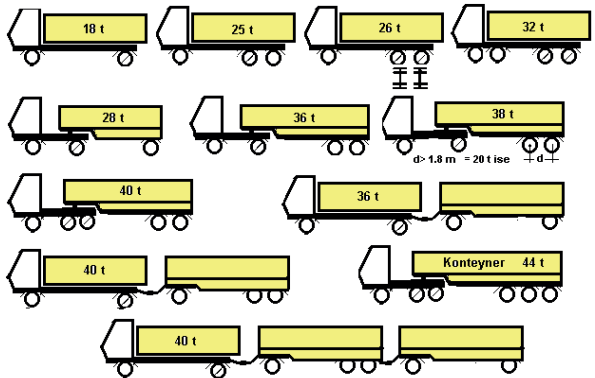
Şekil 5. Çift dingilli araçlarda mesafeler

- Üç dingilli aks grubu ağırlığı en çok (Şekil 6):
  - ✓ Dingiller arası mesafe 1 m'den az ise ( $d < 1,3m$ ): 21 ton,
  - ✓ Dingiller arası mesafe 1.3m-1.4m arası ise ( $1,3m \leq d < 1,8m$ ): 18 ton,



Şekil 6. Üç dingilli araçlarda mesafeler

- Toplam ağırlıkları en çok (Şekil 7):
  - ✓ İki dingilli motorlu araçlarda ve römorklarda : 18 ton,
  - ✓ Üç dingilli motorlu araçlarda: 25 ton,
  - ✓ Üç dingilli motorlu araçlarda: 26 ton,
  - ✓ Üç dingilli yarı römorklu araçlarla, mafsallı otobüs: 28 ton,
  - ✓ Dört dingilli motorlu araçlarda: 32 ton,
  - ✓ Dört dingilli yarı römorklu araçlarda: 36 ton,
  - ✓ Dört dingilli yarı römorklu araçlarda, yarı römork dingil grubu ağırlığı 20 ton olan araçlar: 38 ton,
  - ✓ Beş veya daha çok dingilli yarı römorklu veya römorklu katarlarda: 40 ton,
  - ✓ Konteyner taşıyan yarı römorklu araçlarda (ISO konteynerli 3 S 2/3): 44 ton olmalıdır.



Şekil 7. Karayollarında araç tipine göre taşıma kapasiteleri

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Son yıllarda doğaltaş sektörü Türkiye'nin, uluslararası pazarda en önemli sektörlerinden birisi haline gelmiştir. İhracat verileri değerlendirildiğinde doğal taş sektörünün ülkemiz ekonomisine katkı-

sı çok büyüktür. Bu çalışmada doğal taşların fabrikada hazırlanması, ambalajlanması standartları ve ihracatında göz önünde bulundurulması gerek standartlar incelenmiştir.

Ülke içi lojistikte genel olarak karayolu taşımacılığı tercih edilmektedir. Karayolu taşımacılığında, düzenli ve mümkün olduğu kadar fazla ürün taşımak için kasalama işleminin çok önemli bir süreç olduğu anlaşılmıştır.

Ebatlarına göre, üretilen doğal taş ürünlerinin en verimli olarak hangi ölçülerde kasalar ile taşınacağı belirlenmiş, bu kasaların ne kadar miktarda bir malzemeyi güvenle taşıyabileceği incelenmiştir.

Doğaltaş ürünlerinin ambalajlanması, kasalanması ve konteynerlere yüklenmesi için gerekli kapasite bilgileri verilmiştir. Pek çok firma ambalajlama işleminde standartları uygulamaya özen göstermektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda ambalajlama ve kasalama işleminde genel olarak belli bir yazılı standart tespit edilmemiştir. Bu husus müşteri talebine göre değerlendirilmektedir. Ambalajlama ve kasalama işleminde belli başlı standartlar uygulandığı takdirde tüketici için daha kaliteli ve güvenli bir hizmet oluşacağı mutlaklıdır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasındaki katkılarından dolayı Akçinli Kerestecilik firmasına, Yrd. Doç. Dr. Sevgi Çetintaş'a, Sercan Kaya'ya ve Basri Manış'a teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Büyüksağış, İ.,S., 1998. Doğaltaşlarda Kalite Kontrol ve Standardizasyon, (Yayımlanmamış Ders Notları), Afyon Kocatepe Üniversitesi.

Çamlı, S.,B., 2013. Doğal Yapı Taşları Endüstrisinde Kullanılan Paketleme Sistemleri ve Standartları, DEÜ *Yüksek Lisans Tezi*, İzmir.

Gönel, G., 2007. Deniz taşımacılığında Lojistik Sisteminin Performans Ölçümü ve Bir Uygulama, *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Ana bilim Dalı, Bursa, 221 sf.

ISPM 15, 2009, "Uluslararası Ticarete Ahşap Ambalaj Malzemelerinin Düzenlenmesi" FAO, Roma, İtalya.

MEGEP, 2008. Mermer Plaka Kesimi 1, Makine Teknolojisi, 40 sf.

Sarı, Ö., Yeşilkaya, L., 2010. Mermer ve Doğaltaş Sektöründe Ambalajlama, AKÜ Maden Müh. Böl. *Lisans tezi*, Afyonkarahisar.

Uz, M., Büyüksağış, İ.,S., 2012. Doğaltaş Sektöründe Kullanılan Uluslararası Ambalajlama Nakliye Kuralları ve Standartlarının İncelenmesi, AKÜ Maden Müh. Böl. *Lisans tezi*, Afyonkarahisar.

TCDD, 2012. Vagon Rehberi.

TS EN 1468, 2011. Doğaltaşlar-İşlenmiş Plakalar- Özellikler, TSE, Ankara.

TS ISO 668, 2007. Seri 1 Yük Konteynerleri- Sınıflandırma, Boyutlar ve Brüt Küteller, TSE, Ankara.







Orijinal Araştırma / Original Research

## TRAVERTENLERDE KAPİLER SU EMMENİN TANIMLANMASI VE SINIFLANDIRILMASI

### IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION OF CAPILLARY WATER ABSORPTION FOR TRAVERTINES

İbrahim Çobanoğlu<sup>a,\*</sup>, Sefer Beran Çelik<sup>a,\*\*</sup>

<sup>a</sup> Pamukkale Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Denizli, TÜRKİYE

**Geliş Tarihi / Received** : 22 Mayıs / May 2018

**Kabul Tarihi / Accepted** : 22 Ağustos / August 2018

#### Anahtar Sözcükler:

Kapilarite,  
Su emme,  
Doğal yapıtaşı,  
Traverten.

#### Keywords:

Capillarity,  
Water absorption,  
Natural building stone,  
Travertine.

#### ÖZ

Kapilarite kavramı özellikle atmosferik koşullar sayesinde nemden etkilenebilecek doğal yapıtaşları için önem taşımaktadır. Travertenler için kapiler su emme değeri hem iç ve hem de dış mekan kullanımlarda önem taşıyan bir parametre olarak deneysel olarak belirlenmektedir. Bu anlamda doğal olarak gözenekli bir yapıya sahip olan travertenler karbonatlı diğer doğaltaşlara göre suya daha hassas doğal malzemelerdir. Suyu temas halinde yüksek kapiler su emme potansiyeline sahip doğaltaşlar atmosferik koşullardan daha fazla etkilenmektedirler. Genel su emme kavramı ele alındığında, hem ağırlıkça su emme ve hacimce su emme ve hem de kapiler yolla su emme parametrelerinin birbirleriyle yakın ilişkide olabilecekleri düşünülmektedir. Bu parametre ayrıca CE belgelendirmeleri kapsamında hem Avrupa ülkelerinde ve hem de bu ülkelere ihraç yapan ülkelerde, belgelendirmeye esas testler içinde yer almaktadır. Bu amaçla Avrupa normundan uyarlanan TS EN 1925 deney standardı 2000 yılından beri ülkemizde de kullanılmaktadır. Bu çalışma, kapiler su emmenin gözenekli bir doğal yapıtaşı olan travertenler üzerinde elde edilmiş sonuçlarını içermektedir. Elde edilen veriler kullanılarak travertenler için geçerli olabilecek 4 kategoriden oluşan bir kapiler su emme sınıflaması da bu çalışma kapsamında önerilmiştir.

#### ABSTRACT

The concept of capillarity is particularly important for natural building stones that can be influenced by moisture, especially through atmospheric conditions. For travertine natural stones, the values of water absorption are determined empirically as an important parameter for both indoor and outdoor use. Travertines, which have a naturally porous structure, are more sensitive natural materials than the other natural carbonate stones. Natural stones with high capillary water absorption potential in contact with water are more affected than atmospheric conditions. When the concept of general water absorption is considered, it is considered that both the absorption by weight and by volume as well as the capillary water absorption parameters may be relate to each other. This parameter is also included in the tests to be documented in CE certifications both in European countries and in countries exported to these countries. For this purpose, the TS EN 1925 test standard, adapted from the European norm, has been used in our country since 2000. This study describes the results of capillary water absorption of a porous natural building stone travertine. A capillary water sorption classification consisting of 4 categories, which may be valid for travertines using the obtained data, is also proposed in this study.

\* Sorumlu yazar: [icobanoglu@pau.edu.tr](mailto:icobanoglu@pau.edu.tr) \* <https://orcid.org/0000-0002-2747-6397>

\*\* [scelik@pau.edu.tr](mailto:scelik@pau.edu.tr) \*\* <https://orcid.org/0000-0003-1850-5229>

Bu bildiri 2017 yılında düzenlenen Türkiye 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı'nda yayınlanmıştır. / This paper was published in the 9th International Marble and Natural Stones Congress of Turkey held in 2017.

Bu makalenin tüm yayın hakları TMMOB Maden Mühendisleri Odası'na aittir © 2018 / Copyright © 2018 Published by UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey. All rights reserved.

## GİRİŞ

Kapiler su emme deneyi, CE belgelendirmeleri kapsamında hem Avrupa ülkelerinde ve hem de bu ülkelere ihraç yapan ülkelerde, belgelendirmeye esas testler içinde yer alan bir deneydir. Avrupa normundan uyarlanan TS EN 1925 deney standardı 2000 yılından beri Türkiye’de de kullanılmaktadır. Deney, sabit kütleye gelinceye kadar kurutulan örneklerin bir yüzeyinin  $3\pm 1$  mm su içine daldırılarak su emdirilmesi ve kütledeki artışın zamanın fonksiyonu olarak ölçülmesi ilkesine dayanır. Deney ile elde edilen kapiler su emme katsayısı  $g/m^2.s^{0.5}$  birimi ile ifade edilecek şekilde sunulur. Bu çalışmada, deney uygulamalarında karşılaşılan zorluklar ele alınarak traverten üzerindeki uygulama sonuçları değerlendirilmiştir. Doğaltaşlar için öngörülen TS EN 1925 deney standardı gerçekte kendi içinde açıklığa kavuşturulması gereken bir kısım hususlara ihtiyaç duymaktadır. TS EN 1925 standardında; (i) “Yüksek emiş” ve “Düşük emiş” kavramları ile ilgili açıklık bulunmamaktadır. (ii) Deney süresinin hangi tür kayaçlar için ve ne şekilde belirleneceği belirtilmemiştir. (iii) Elde edilen ve  $g/m^2.s^{0.5}$  birimi ile ifade edilen parametrenin neyi ifade ettiği tanımlanmamıştır. (iv) Bu anlamda deney, hem yapılması uzun süre alan ve hem de değerlendirilmesi belirsizlikler içeren bir deney halinde uygulama bulmaktadır. Bunun yerine, yine bu deney kadar önem taşıyan ağırlıkça su emme deneyi ile korelasyonu olan bir ifadenin tanımlanması ve kullanıma sunulması uygulamalar açısından da büyük kolaylık sağlayacaktır. Bu çalışma, yukarıda adı geçen hususları ele alarak kapiler su emmenin gözenekli bir doğal yapıtaşı olan travertenler üzerinde elde edilmiş sonuçlarını içermektedir. Bu amaçla bir traverten şehri olan Denizli ilinde yer alan traverten doğal yapıtaşları kullanılarak elde edilmiş su emme değerleri yorumlanmıştır.

Literatürde, kapiler su emme çalışmalarının büyük çoğunluğunun betonlar ve sıva malzemeleri üzerinde yapılmış olduğu görülmektedir (Hall, 1981; Reinhardt ve Jooss, 1998; Turk vd, 2007; Arslan, 2001; Camoes vd, 2003; Lanzon ve Garcia-Ruiz, 2009). Doğaltaşlar üzerinde kapiler su emmenin incelendiği çeşitli çalışmalar da bulunmaktadır (Kırgız vd, 2003).

## 1. MALZEME VE METOT

Travertenler, karstik veya sıcak su kaynaklarının çevresinde, küçük nehirler ve bataklıklarda aynı zamanda bir kırık boyunca yeryüzüne çıkan karbonatlı sular ile oluşmuş, ince tabakalı ve laminalı karbonat çökelleridir (Atabey, 2003). Bünyelerindeki boşluklardan dolayı ses ve ısıya karşı izolasyon özelliği, nefes alabilen, ışığı emebilen ve hafif bir doğal malzeme olması, insan sağlığına zararlı herhangi bir madde içermemesi ve ekonomik olması bu taşı değerli yapıtaşlarından biri haline getirmektedir. Bu olumlu özelliklerine karşın, yüksek gözenekliliğe sahip olmaları,  $CaCO_3$  bakımından zengin olmaları, kimyasal ve fiziksel ayrışma koşullarında dirençlerinin düşük olmasına neden olmaktadır. Denizli havzası, doğal taş ve özellikle de traverten açısından ülkemizin en önemli bölgesidir. 1980’li yılların başında sadece birkaç ocak işletmesine sahip olan Denizli, günümüzde 50’yi aşan sayıda ocak ve çok sayıda fabrika ile traverten üretimi ve pazarlanmasında dünyada da önemli bir yere sahiptir. Bölgede yer alan antik traverten ocakları, geçmişte antik şehirlerde (Hierapolis, Laodikeia, Tripolis) bile bu taşın kullanıldığını göstermektedir. Denizli havzası traverten üretimi açısından zengin bir potansiyele sahip olmasından ötürü dünyada da önemli bir yere sahiptir. Yenice, Gölemezli, Karahayıt, Pamukkale, Ballık, Yeniköy, Irlıganlı, Kocabaş, Aşağı Dağdere, Emirazizli, Ovacık ve Karateke bölgeleri belli başlı traverten üretim sahalarıdır (Şekil 1).



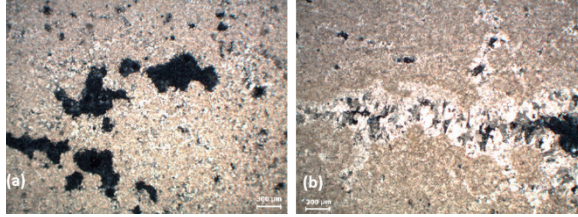
Şekil 1. Örneklemeye yapılan Kaklık bölgesi traverten havzasının genel görünümü.

### 1.1. Petrografik Özellikler

Yapılan ince kesit incelemeleri, travertenlerin mikrit ve mikrosparit çimentolu olduğunu ortaya

koymuştur. Boşluklu yapı kayaç genelinde hakim olup bir çoğu bağlantısız boşluklar şeklindedir.

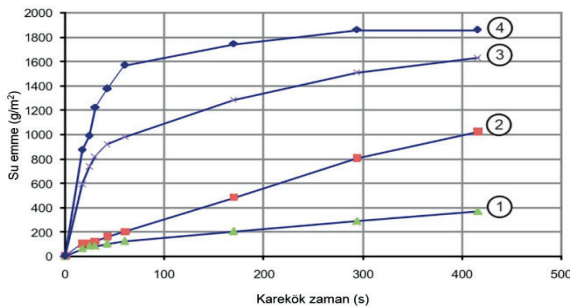
Boşlukların içinde bazen hiçbir mineral gelişimi görülmezken (Şekil 2a) bazen de ikincil olarak gelişmiş ışınal kalsit minerallerinin olduğu görülmektedir (Şekil 2b). Boşlukların kalsit mineralleri ile doldurulduğu durumda kayaçta boşluklu yapının azaldığı belirlenmiştir. Boşluk geometrileri çoğu kez düzensizdir.



Şekil 2. Traverten örneklerine ait ince kesit fotoğrafları: Mikrosparit çimento ve içi boş gözeneklilik (a), boşluklarda ikincil kalsit oluşumları (b).

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Kapiler su emme deneyi ile ilgili standart (TS EN 1925, 2000) kenar uzunluğu  $70 \pm 5$  mm veya  $50 \pm 5$  mm olan küp veya  $70 \pm 5$  mm veya  $50 \pm 5$  mm çapında ve çapı boyuna eşit silindirik şekilli örneklerin kullanılmasını önermektedir. Deneylerde kapiler su emme zamanı için örneklerin kapiler doygunluğa eriştiği zaman esas alınmıştır. Zira numune doygun hale gelmeden deneye son verilmesi durumunda doygun koşula ait deney eğrisi elde edilememektedir (Şekil 3'de 3 ve 4 nolu eğriler). Şekil 2'deki 1 ve 2 nolu eğriler ise yetersiz deney süresi nedeniyle elde edilmiş eğrileri göstermektedir. Bu eğriler için kapiler su emmenin doğru bir şekilde tanımlanması mümkün olmamaktadır.



Şekil 3. Kapiler su emme deneyleri ile elde edilen farklı türdeki test grafikleri.

Bu çalışmada 212 adet  $7.0 \times 7.0 \times 7.0$  cm boyutlarında küp şekilli numune kullanılmıştır. Örnekler üzerinde aynı zamanda birim hacim ağırlığı, ağırlıkça ve hacimce su emme deneyleri de gerçekleştirilmiştir.

TS EN 1925 (2000) standardı kapiler su emme deneyi için  $\text{g/m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}$  birimini kullanmaktadır. Ancak deney parametresi çeşitli araştırmacılar tarafından  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}$  ve  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$  şeklinde de tanımlanmaktadır (Yıldız vd, 2010, García-del-Cura, 2012, Vázquez vd, 2013). Bu çalışma, kapiler su emme (KSE) katsayısı değerinin  $\text{g/m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}$  birimi yerine % olarak da tanımlanabileceğini de ortaya koymuştur.

### 2.1. Deney Prosedürü

Kapiler su emmenin belirlenmesi için, alanı  $\text{m}^2$  cinsinden ifade edilen küp şekilli ( $7.0 \times 7.0 \times 7.0$  cm) deney numuneleri, tabanı  $3 \pm 1$  mm yüksekliğinde su dolu bir tank içine yerleştirilir. Deney boyunca gerektiği kadar su eklenerek tanktaki su seviyesinin sabit kalması sağlanır. Numunelerin nemini buharlaşma yoluyla kaybetmemeleri amacıyla tankın kapağı kapatılır. Çeşitli zaman aralıklarında, her bir numune sudan çıkartılır, kuru bölümlerinden hafifçe tutularak nemli bir bez kullanılarak bütün su damlacıkları yüzey üzerinden uzaklaştırılır ve 0.01 g yaklaşımla tartılır (Şekil 4a ve b). Sonra yeniden tanka yerleştirilir. Deneyin başlangıcından itibaren her bir tartım arasında geçen zaman kaydedilir (TS EN 1925, 2000).

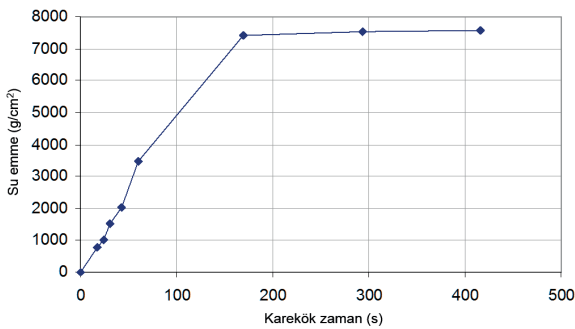


Şekil 4a. Kapiler su emme deneyi sırasında tabandan su almış örneklerin görünümü.



Şekil 4b. Kapiler su emme deneyi sırasında tabandan su almış örneklerin görünüşleri.

İlgili standarda göre, zaman seçimi kayaç tipine bağlı olarak değiştirmektedir. Oldukça yüksek emişli bir kayaç için uygun süreler 1, 3, 5, 10, 15, 30, 60, 480 ve 1440 dakika ve düşük emişli bir kayaç için ise 30, 60, 180, 480, 1440, 2880 ve 4320 dakika olarak alınmaktadır. Bu süreler % 5 yaklaşımla ölçülmekte ve değerlendirmeler için minimum 7 ölçüm gerekmektedir. Ardışık iki tartım arasındaki fark, numunenin emdiği su kütlelerinin % 1'inden az olduğunda deneye son verilir. Emilen suyun gram cinsinden kütlesi, numunenin m<sup>2</sup> cinsinden taban alanına bölünerek, saniye cinsinden sürenin kareköküne karşı çizilmiş bir grafik olarak gösterilir. Genellikle grafikler Şekil 5'dekine benzerdir. Tipik bir deney grafiğinin genel olarak iki doğruyla gösterilebildiği görülür.



Şekil 5. Kılcal etkiyle su emmenin tespit edildiği bir deneyde, kılcal su emmenin zamanın karekökünün fonksiyonu olarak gösterilmesi.

Grafiğin birinci bölümündeki ölçülmüş noktalar ve bu birinci bölümün regresyon doğrusu arasındaki korelasyon katsayısı sırasıyla grafiğin birinci bölümünde en az 5 ölçüm alındığında 0.90'dan

veya sadece 4 ölçüm alındığında 0.95'ten büyükse, kılcal etkiye bağlı su emme katsayısı C1 veya C2 (g/m<sup>2</sup>.s<sup>0.5</sup>) sırasıyla regresyon doğrusunun eğiminden bulunur.

Su emme katsayısı bu doğru üzerindeki herhangi bir noktadaki yatay ve düşey eksen değerlerinin oranı olarak Eşitlik (1) ile hesaplanır;

$$C_{1,2} = \frac{m_i - m_d}{A\sqrt{t_i}} \text{ (g/m}^2\text{.s}^{0.5}\text{)} \quad (1)$$

Bu bağıntıda; m<sub>d</sub>: Kuru deney numunesinin kütlesi, g, m<sub>i</sub>: Deney numunesinin deneydeki su emmiş kütlesi, g, A: Suya batırılmış yüzeyin alanı, m<sup>2</sup>, t<sub>i</sub>: Deney başlangıcından ardışık m<sub>i</sub> kütlelerinin ölçüldüğü süreler, s, C1: Kayaç anizotropi düzlemlerine dik kılcal etkiye bağlı su emme katsayısı, g/m<sup>2</sup>.s<sup>0.5</sup>, C2: Kayaç anizotropi düzlemlerine paralel kılcal etkiye bağlı su emme katsayısı, g/m<sup>2</sup>.s<sup>0.5</sup> değerleridir.

### 3. BULGULAR

Kapiler su emme katsayısının kapiler su emme yüzdesi, ağırlıkça su emme ve görünür porozite (hacimce su emme) ile olan ilişkilerinin sorgulanması amacıyla tekli regresyon analizleri yapılmıştır. Yapılan tekli regresyon analizleri, kapiler su emmenin, diğer su emme parametreleri olan ağırlıkça ve hacimce su emme parametreleri ile doğrusal bir ilişkisinin var olduğu görülmüştür.

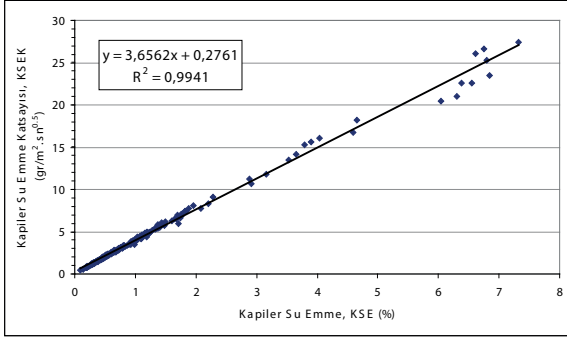
#### 3.1. Tekli Regresyon Analizleri

Tekli regresyon analizleri ile kapiler su emmenin, ağırlıkça kapiler su emme yüzdesi, görünür porozite ve ağırlıkça su emme ilişkileri tanımlanmıştır.

Su emmenin bir diğer ifade şekli ağırlıkça emmenin yüzde olarak tanımlanmasıdır. Bu kullanım su emmenin hesap mantığına daha fazla uygundur. Zira hem atmosfer basıncında su emme ve hem de hacimce su emme değerleri % olarak tanımlanan ifadelerdir. Kapiler su emmenin bir katsayısı (KSEK) ile tanımlanması herhangi bir kolaylık sağlamamakta, tam tersine işlem karışıklığı getirmektedir. Ayrıca her iki parametre arasında doğrusal bir ilişkinin var olduğu bu çalışma ile de belirlenmiştir (Şekil 6). Elde edilen ilişki Eşitlik 2 ile ifade edilmiştir.

$$\text{KSEK (g/m}^2\cdot\text{s}^{0.5}) = 3.65 \cdot \text{KSE (\%)} + 0.27 \quad (2)$$

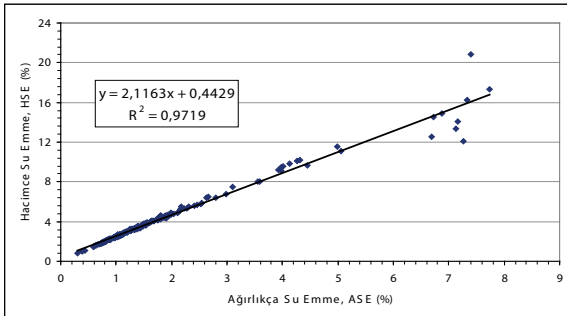
Bu çalışmada ele alınan kapiler su emme değerleri ağırlıkça yüzde şeklinde tanımlanmış su emme değerlerini ifade etmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Kapiler su emme katsayısı ( $\text{g/m}^2\cdot\text{s}^{0.5}$ ) – kapiler su emme yüzdesi (%) ilişkisi.

Deney prosedürünün zaman alıcı olması nedeniyle kapiler su emmenin (KSE) atmosfer basıncında su emme (ASE) ve hacimce su emme (HSE, n) parametreleri ile olan ilişkileri ortaya konulmuştur. Ağırlıkça ve hacimce su emme parametreleri arasında doğrusal ve oldukça anlamlı bir ilişli belirlenmiş ve aşağıdaki Eşitlik (3) ile tanımlanmıştır (Şekil 7).

$$\text{HSE} = 2.1163 \text{ ASE} + 0.4429 \quad (3)$$



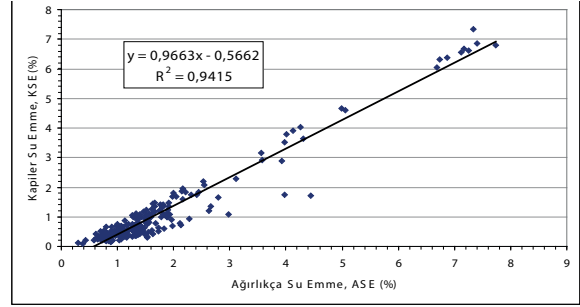
Şekil 7. Travertenler için tanımlanmış ağırlıkça ve hacimce su emme ilişkisi.

Kapiler su emme değerlerinin ağırlıkça veya hacimce su emme değerlerinden tahmin edilebilirliğinin belirlenmesi için ilişkiler incelenmiştir. Oldukça gözenekli bir doğaltaş türü olan travertenler için geçerli olacak bu ilişkilerin aynı örnek üzerinde elde edilmiş parametreler kullanılarak oluşturulması geçerliliklerinin de

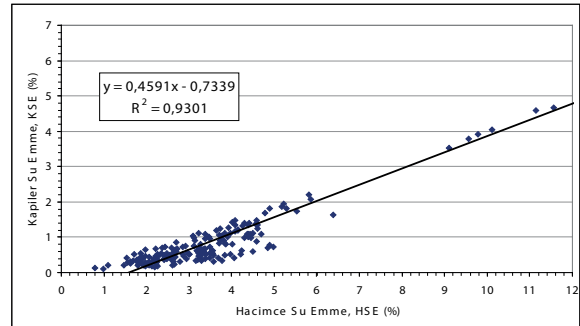
yüksek olmasını sağlamıştır. Şekil 8, ağırlıkça su emme – kapiler su emme, Şekil 9 ise hacimce su emme – kapiler su emme ilişkilerini ortaya koymaktadır 4 ve 5 Bu ilişkiler aşağıda tanımlanmıştır.

$$\text{KSE} = 0.9663 \text{ ASE} - 0.5662 \quad (4)$$

$$\text{KSE} = 0.4591 \text{ HSE} - 0.7339 \quad (5)$$



Şekil 8. Kapiler su emme – ağırlıkça su emme ilişkisi.



Şekil 9. Kapiler su emme hacimce su emme ilişkisi.

### 3.2. Kapiler Su Emmenin Tanımlanması ve Sınıflandırılması

EN 1925 (2000) standardı görünür porozitesi  $< \% 1$  olan doğaltaşlar için kapiler su emme deneyini gerekli görmemektedir. Literatürde porozite çeşitlerine ve değerlerine bağlı olarak yapılmış çeşitli sınıflamalar bulunmaktadır. Lucia (1983) karbonat kayaların petrofiziksel özelliklerine göre sınıflandırmıştır. Moos-Quervain (1948) ve Anon (1979) ise kayaçları porozite değerlerine göre sınıflamaktadır. Anon (1979) sınıflaması halen yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Çalışmanın bu bölümünde Anon (1979) porozite sınıflaması esas alınarak elde edilen ilişkiler yardımı ile doğaltaşların kapiler su emme değerleri ile ilgili bir sınıflama ortaya konulmuştur. Sınıflamanın oluşturulmasında porozitenin kapiler

su emme katsayısı ve kapiler su emme yüzdesi parametreleri ile ilişkiler tanımlanmıştır. Önerilmiş olan sınıflama Çizelge 1’de görülmektedir.

Deneysel olarak belirlenen kapiler su emme değerleri ( $g/m^2 \cdot s^{0.5}$ , %) ortaya konulan ilişkiler kullanılarak tahmin edilmiş, uyumlulukları grafik olarak tanımlanmıştır. Veri grubu geneli içinde dağılım oldukça doğrusala yakındır.

Önerilen tablonun geçerliliği incelenen travertenler için porozite ortalama değeri (4.19 %) alınarak sınımlanmıştır. Sonuçlar Çizelge 2’de gösterilmiştir. Ortalama değer ele alındığında travertenlerin düşük porozite ve kapiler su emme değerlerine sahip oldukları görülmüştür.

Çizelge 1. Travertenler için önerilmiş olan kapiler su emme sınıflaması.

Anon (1979) sınıfı			Önerilen KSE sınıfı		
Sınıf	Porozite (%)	Tanım	KSE ( $gr/m^2 \cdot s^{0.5}$ )	KSE (%)	Tanım
1	> 30	Çok yüksek	> 68	> 13	Çok yüksek
2	30-15	Yüksek	68-22	13-6	Yüksek
3	15-5	Orta	22-5	6-2	Orta
4	5-1	Düşük	< 5	< 2	Düşük
5	< 1	Çok düşük	*	*	*

\* İlgili deney standardına göre, < %1 gözenekliliğe sahip kayalarda kapiler su emme deneyi yapılmamaktadır.

EN 1925 (2000) standardında kapiler su emme deneyi sırasında su emmenin zamana bağlı değişimi de ele alınmaktadır. Yüksek emişli kayalar için 1, 3, 5, 10, 15, 30, 60, 480 ve 1440 dakika değerlerinin, düşük emişli kayalar için ise 30, 60, 180, 480, 1440, 2880 ve 4320 dakika değerlerinin okuma zamanlamaları için uygun olduğu belirtilmiştir. Ancak hangi kaya grubunun “düşük” hangisinin ise “yüksek” emiş grubunda olduğu ifade edilmemiştir. Bu çalışma, düşük ve yüksek su emme kapasitesi değerlerinin tanımlanmasına da ışık tutmuştur. Buna göre porozite ve kapiler su emme katsayısı değerleri < 5 olan kayalar düşük emişli, porozitesi > 15, kapiler su emme katsayısı > 22 olan kayalar ise yüksek emişli kayalar olarak belirlenmelidir.

Çizelge 3, bu çalışma ile belirlenmiş olan ortalama değerleri içerecek şekilde literatürde var olan ve farklı araştırmacılar tarafından ortaya konulmuş olan kapiler su emme değerlerinin farklı kaya türleri için değişimlerini ifade etmektedir.

Çizelge 2. Ortalama porozite değeri için deneysel ve teorik olarak elde edilmiş kapiler su emme parametreleri.

Değerler	n (%)	KSE ( $g/m^2 \cdot s^{0.5}$ )	KSE (%)	Tanım
Deneysel	4.19	4.47	1.14	Düşük
Regresyon	---	4.26	1.18	Düşük

Çizelge 3. Farklı kaya türleri için literatürde tanımlanmış porozite ve kapiler su emme parametreleri.

Litoloji	n (%)	KSE	Birim	Kaynak
Kireçtaşı	---	3.81-11.12	kg/ $m^2 \cdot s^{0.5}$	Benavente vd. (2004)
Kireçtaşı	---	0.91-3.66	kg/ $m^2 \cdot s^{0.5}$	Benavente vd. (2004)
Konglomera	---	6.47-10.94	kg/ $m^2 \cdot h^{0.5}$	Benavente vd. (2007)
Kalsit kumtaşı	---	2.10	kg/ $m^2 \cdot h^{0.5}$	Benavente vd. (2007)
Dolomit kumtaşı	---	8.40	kg/ $m^2 \cdot h^{0.5}$	Benavente vd. (2007)
Mermer	0.21	---	---	Sarıışık vd. (2010)
Traverten	5.00	---	---	Sarıışık vd. (2010)
Andezitik tüf	---	5.06	kg/ $m^2 \cdot s^{0.5}$	Yıldız vd. (2010)
Marn	---	1.72	kg/ $m^2 \cdot s^{0.5}$	Yıldız vd. (2010)
Jura Kireçtaşı	0.23	---	g/ $m^2 \cdot s^{0.5}$	Tomasic vd. (2011)
Kretase Kireçtaşı	2.15	---	g/ $m^2 \cdot s^{0.5}$	Tomasic vd. (2011)
Traverten	---	3.69	g/ $m^2 \cdot s^{0.5}$	García-del-Cura (2012)
Tufa	---	227.99	g/ $m^2 \cdot s^{0.5}$	García-del-Cura (2012)
Kumtaşı	19.50	31.0	g/ $m^2 \cdot s^{0.5}$	Vázquez vd. (2013)
Dolomit	11.00	3.7	g/ $m^2 \cdot s^{0.5}$	Vázquez vd. (2013)
Kireçtaşı	28.40	166.0	g/ $m^2 \cdot s^{0.5}$	Vázquez vd. (2013)
Traverten	14.30	4.4	g/ $m^2 \cdot s^{0.5}$	Vázquez vd. (2013)
Traverten	1.77	4.47	g/ $m^2 \cdot s^{0.5}$	Bu çalışma*

\*Ortalama değerleri ifade etmektedir.

## **SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

Doğaltaşlardaki kalite belirlemeye yönelik deneylerin kullanımı gün giderek yaygınlaşmaktadır. Bu çalışma, uzun, zaman alıcı ve değerlendirme güçlükleri olan bir deney olan kapiler su emmenin doğrudan ilgili parametrelerden ağırlıkça su emme (ASE) ve hacimce su emme (HSE) değerleriyle tahmin edilebilme durumunu araştırmıştır. Çalışmalar traverten doğaltaşları için geçerli olabilecek oldukça anlamlı ilişkilerin elde edilmesini sağlamıştır. Çalışmada Denizli havzasında halen çalışmakta olan 27 ocaktan elde edilmiş toplam 212 adet deney numunesi kullanılmıştır. Regresyon analizleri ile elde edilen sonuçlar kapiler su emmenin ASE ve KSE değerleri ile oldukça kolay bir şekilde belirlenebilir olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, KSEK ( $gr/m^2.sn^{0.5}$ ) ile KSE (%) değerleri arasında doğrusal ve tutarlı bir ilişki belirlenmiştir. Bu yüzden KSEK yerine KSE değerinin bulunması ve kullanılması uygulama açısından daha kolay olmaktadır. Bu çalışma sonucunda, traverten grubu gözenekli doğaltaşlar için geçerli olacak bir kapiler su emme sınıflaması ortaya konulmuştur. Benzer çalışmaların farklı doğaltaş grupları için yapılması, bilimsel anlamda da büyük katkılar sağlayacaktır.

## **TEŞEKKÜR**

Bu çalışma TÜBİTAK 107Y213 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, destekleri için ilgili kuruluşa teşekkür eder.

## **KAYNAKLAR**

Anon, 1979. Classification of Rocks and Soils for Engineering Geological Mapping. Part I – Rock and Soil Materials. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol., 19, 364–371.

Atabey, E., 2003. Tufa ve Traverten, JMO Yayını, Kasım 2003, 106 s., Ankara.

Benavente D., García-del-Cura, M.A., Fort, R., Ordóñez, S., 2004. Durability Estimation of

Porous Building Stones From Pore Structure and Strength. Engineering Geology, 74, 113-127.

Benavente, D., Cueto, N., Martínez, J.M., García-del-Cura, M.A., Canaveras, J.C., 2007. The Influence of Petrophysical Properties on the Salt Weathering of Porous Building Rocks. Environmental Geology, 52, 215-224.

García-del-Cura, M.A., Benavente, D., Martínez J.M., Cueto, N., 2012. Sedimentary Structures and Physical Properties of Travertine and Carbonate Tufa Building Stone. Construction and Building Materials, 28, 456 – 467.

Lucia, F.J., 1983. Petrophysical Parameters Estimated From Visual Description of Carbonate Rocks: A Field Classification of Carbonate Pore Space. Journal of Petroleum Technology, 35, 626–637.

Moos, A.V., De Quervain, F.De, 1948, Technische Gesteinkunde. Verlag Birkhauser, Basel.

Vázquez, P., Alonso, F.J., Esbert, R.M., Ordaz, J., 2010. Ornamental Granites: Relationships Between P-Waves Velocity, Water Capillary Absorption and the Crack Network. Construction and Building Materials, 24, 2536 – 2541.

Sarıışık, A., Sarıışık, G., Şentürk, A., 2010. Characterization of Physical and Mechanical Properties of Natural Stones Affected by Ground Water under Different Ambient Conditions. Ekoloji, 19, 88-96.

TS EN 1925, 2000. Doğal taşlar - Deney Metotları - Kılcal Etkiye Bağlı Su Emme Katsayısının Tayini, TSE Yayını, 9 s., Ankara.

Tomasic, I., Lukic, D., Pecek, N., Krsinic, A., 2011. Dynamics of Capillary Water Absorption in Natural Stone. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 70(4), 673-680.

Yıldız, M., Özşahin, E.Y., Soğancı, A.S., 2010. Balwois Conference, Republic of Macedonia ([http://balwois.com/balwois/administration/full\\_paper/ffp-2069.pdf](http://balwois.com/balwois/administration/full_paper/ffp-2069.pdf))







Orijinal Araştırma / Original Research

## KARBONAT KÖKENLİ BAZI DOĞAL TAŞLARIN YÜZEY ÖZELLİKLERİNE BAĞLI OLARAK GÜNEŞ IŞIĞINI YANSITMA İNDEKS DEĞERLERİNDEKİ DEĞİŞİMİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE SOLAR REFLECTION INDEX VALUES CHANGES OF SOME CARBONATE BASED NATURAL STONES DEPEND ON THE SURFACE PROPERTIES

Raşit Altındağ<sup>a,\*</sup>, İbrahim Uğur<sup>a,\*\*</sup>, Nazmi Şengün<sup>a,\*\*\*</sup>, Deniz Akbay<sup>a,\*\*\*\*</sup>, Servet Demirdağ<sup>a,\*\*\*\*\*</sup>, Ahmet Coşkun<sup>b,\*\*\*\*\*</sup>, Murat Sert<sup>c,\*\*\*\*\*</sup>,

<sup>a</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, TÜRKİYE

<sup>c</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, TÜRKİYE

**Geliş Tarihi / Received** : 22 Mayıs / May 2018

**Kabul Tarihi / Accepted** : 22 Ağustos / August 2018

### Anahtar Sözcükler:

Doğal taş,  
Renk,  
Doku,  
Güneş ışığını yansıtma indeksi,  
Yüzey işleme,  
Enerji verimliliği,  
Fiziksel bozundurma.

### Keywords:

Natural stone,  
Color,  
Texture,  
Solar reflectance index,  
Surface treatment,  
Energy efficiency,  
Physical weathering.

### ÖZ

Günümüzde farklı renk ve doku özelliklerine sahip doğal taşlar, gerek dış cephe ve yer, gerekse iç mekân kaplamalarında, çeşitli kalınlıklarda ve yüzeyleri farklı şekillerde işlenmiş (cilalı, honlu ve kumlmalı) olarak yaygın şekilde kullanım alanı bulmaktadır. Özellikle dış cephelerde, güneş ışığının ortama yansıtılması ve soğurulması, mimari yapının iklimsel koşulları (mevsimsel sıcaklık ortalaması, güneşli gün sayısı, ortalama en yüksek sıcaklık, ortalama güneşlenme süresi vb.) baz alındığında, enerji verimliliği ve ısıl konfor açısından oldukça önemli sonuçlar doğurabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, gerek yurt içi ve gerekse yurt dışında yüksek ticari öneme sahip farklı renk, doku ve yüzey (cilalı, honlu ve kumlmalı) özelliklerine sahip 5 farklı karbonat kökenli (kireçtaşı, re-kristalize mermer, traverten) doğal taş türüne ait numuneler kullanılmıştır. Kuru ve doymun durumda güneş ışığı yansıtma ve ısı yayılım değerleri ölçülerek, güneş ışığını yansıtma indeksi değerleri hesaplanmıştır. Kuru ve doymun durum için hesaplanan güneş ışığını yansıtma indeksi değerinin, yüzey özelliklerindeki değişime bağlı olarak önemli derecede değişimler gösterdiği gözlenmiştir.

### ABSTRACT

Currently, natural stones having different colour and texture properties are widely used as both exterior and interior surface and floor coverings at various thicknesses and in different surface processed shapes (polished, honed and sanded). Especially on the outer facades, the reflection and absorption of the sunlight to the environment can have considerable consequences in terms of energy efficiency and thermal comfort based on the climatic conditions of the architectural structure (seasonal temperature average, number of sunny days, average maximum temperature, average sunshine duration etc.).

Within the scope of this study, samples of 5 different carbonate based (limestone, re-crystallized marble, travertine) natural stone types with different colour, texture and surface properties (polished, honed and sanded) with high commercial importance were used. In dry and saturated conditions, sunlight reflectance and heat emission values were measured and solar reflection index values were calculated. It has been observed that the solar reflection index values, calculated for dry and saturated conditions varies considerably depending on the changes in surface properties.

\* Sorumlu yazar: rasitalinda@adu.edu.tr \* <https://orcid.org/https://orcid.org/0000-0002-5397-7312>

\*\* ribrahimugur@adu.edu.tr \* <https://orcid.org/https://orcid.org/0000-0002-1872-9516>

\*\*\* nazmisengun@adu.edu.tr \* <https://orcid.org/https://orcid.org/0000-0003-0407-7198>

\*\*\*\* denizakbay@adu.edu.tr \* <https://orcid.org/https://orcid.org/0000-0002-7794-5278>

\*\*\*\*\* servetdemirdag@adu.edu.tr \* <https://orcid.org/https://orcid.org/0000-0001-7838-388X>

\*\*\*\*\* ahmetcoskun@adu.edu.tr \* <https://orcid.org/https://orcid.org/0000-0002-3351-4898>

\*\*\*\*\* msert@aku.edu.tr \* <https://orcid.org/https://orcid.org/0000-0001-6595-1681>

Bu bildiri 2017 yılında düzenlenen Türkiye 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı'nda yayınlanmıştır. /

This paper was published in the 9th International Marble and Natural Stones Congress of Turkey held in 2017.

Bu makalenin tüm yayın hakları TMMOB Maden Mühendisleri Odası'na aittir © 2018 / Copyright © 2018 Published by UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey. All rights reserved.

## GİRİŞ

Hızla gelişen teknolojiye paralel olarak, enerji verimliliği, birçok sektör ve alanda karşımıza çıkmakta ve enerji maliyetleri her geçen gün artış göstermektedir. Genellikle binalarda dış cephe kaplama malzemesi olarak kullanılan doğal taş plakalarının estetik görünümünün yanında enerji verimliliğine katkısı da bulunabilmektedir (Shi ve Zhang, 2011).

Güneş ışığını yansıtma indeks (solar reflection index, SRI) değeri binalarda kullanılan kaplama malzemelerinin enerji verimliliğinin değerlendirilmesinde önemli bir parametre olarak kullanılmaktadır. Farklı renk, doku ve yüzey özellikleri güneş ışığını yansıtma ve soğurma karakteristiklerine bağlı olarak inşa edilen bir yapının çevresinde oluşturduğu en önemli etkilerden birisi ortam sıcaklığının arttığı bölgelerde ısı adası oluşumudur (Kültür ve Türkeri, 2012). Isı adaları yüzeylerin neredeyse tamamının sentetik yapıda olduğu şehirselle yaşam alanlarında daha yaygın olarak görülmektedir. Özellikle güneş kaynaklı ışımayı yansıtma özelliği oldukça düşük düzeyde olan çatı ve beton yüzeyler güneşin neden olduğu ısıyı büyük oranda yutarak ısı adalarının oluşumuna katkıda bulunurlar. Yapı tarafından yutulan ısı konveksiyon yoluyla tekrar ortam havasına geri döndüğünde, artan sıcaklığa bağlı olarak havanın kalitesi, doğal kaynaklar ve ekosistem üzerinde olumsuz bir etki oluşturabilmektedir.

Literatür incelendiğinde bu alanda farklı çalışmaların olduğu görülmektedir. Levinson vd., (2010), SRI değerlerinin kaplama yüzeyinin yönü, güneşin pozisyonu ve atmosferik şartlarına bağlı olduğunu belirtmektedirler. Ma vd., (2001), güneş ışığından daha fazla yararlanabilmek amacıyla renk değiştiren kaplamalar üzerinde güneş ışığı yansıtma ölçümleri yapmışlar ve kırmızı ve mor renklerin arasındaki kaplamaların beyaz renge göre daha çok güneş ışığını absorbe ettiğini belirtmişlerdir. Sleiman vd., (2011) ABD'nin sıcak bölgelerinde binaların çatılarının yüksek güneş ışığını yansıtıcı özellikli malzemelerle kaplanmasıyla yaşam alanlarındaki iklimlendirme talebinin azalacağı sonucuna varmışlar, böylelikle şehirlerin ısı adalarında da kayda değer bir azalış olacağını ve bunun sonucu olarak küresel ısınmanın azalacağını belirtmişlerdir. Boriboonsomsin ve Reza (2007), çalışmalarında bölgelerdeki ısı adalarının etkilerinin azaltılması için yüksek güneş ışığını yansıtma değerlerine sahip kaldırım-

ların tasarlanması gerektiğini tespit etmişlerdir. Yüksek yansıtma değerinin elde edilebilmesi için alternatif olarak beyazlığın artırılması gerektiğini savunmuşlardır. Berdahl ve Bretz (1997), çatı kaplamalarının güneş ışığını yansıtma değerleri kullanılan malzeme çeşitliliğine, yüzey pürüzlülüğü ve yabancı madde miktarına bağlı olarak değişimini incelemişler ve güneş ışığını yansıtma değerleri ile yüzey sıcaklıkları arasında kuvvetli bir korelasyon olduğunu ifade etmişlerdir. Alchapar vd., (2013), tarafından yapılan çalışmada, kentsel sıcaklıkların (ısı adaları) azaltılması amacıyla sık kullanılan yaya kaldırım kompozisyonları şekil ve renklerine bağlı olarak SRI değerlerini ve ısı davranışlarını ölçerek, zamana bağlı kirlenmenin SRI ve ısı davranışlarına etkilerini incelemişlerdir.

Bu çalışmada, farklı renk, doku ve yüzey (cilalı, honlu ve kumlamalı) özelliklerine sahip 5 farklı karbonat kökenli (kireçtaşı, re-kristalize mermer, traverten) doğal taş türüne ait numunelerin, kuru ve doymun durumda güneş ışığı yansıma ve ısı yayılım değerleri ölçülerek, güneş ışığını yansıtma indeks değerleri hesaplanmıştır. Kuru ve doymun durum için hesaplanan güneş ışığını yansıtma indeks değerinin, yüzey özelliklerine bağlı olarak değişimi incelenmiştir.

## 1. GÜNEŞ IŞIĞINI YANSITMA İNDEKS DEĞERİ (SRI)

SRI değeri, bir malzemenin güneşten yayılan enerjiyi yansıtma kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Isıl yayılım ise bir yapının ısıyı serbest bırakma kabiliyeti olarak tanımlanabilmektedir. Güneş ışığı yansıtma değeri ve ısı yayılım değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Isıl yayılım değerinin büyüklüğü emilen enerjinin daha çok serbest kaldığını ifade etmektedir. Güneş ışığı yansıma indeks değeri açık yüzeyler için 100'e yakın, koyu yüzeyler için ise 0'a yakın değerler almaktadır.

Malzemenin SRI değerinin artması ortamda ısı adası oluşumunun azalmasına neden olmaktadır. Yüksek SRI değerleri göreceli olarak daha serin malzemeleri temsil etmektedir. Numunelerin Güneş Işığını Yansıtma İndeks (Solar Reflection Index, SRI) değerlerinin belirlenmesi için Güneş Işığı Yansıma değeri (b) (ASTM C1519) ve Isıl Yayılım (e) (ASTM C1371) değerlerinin ölçülmesi gerekir. Güneş ışığı yansıtma ve ısı yayılım ölçüm değerlerinin Eşitlik 1-3'de yerine konmasıyla o

numunenin SRI değeri hesaplanabilmektedir (ASTM E1980-11).

$$\alpha = 1 - \beta \dots \dots \dots (1)$$

$$X = \left( \frac{\alpha - 0.029\epsilon}{9.5205\epsilon + h} \right) \dots \dots \dots (2)$$

$$SRI = 123.97 - 141.35x + 9.655x^2 \dots \dots \dots (3)$$

ASTM E1980-11 standardında önerilen düşük, orta ve yüksek rüzgar koşulları göz önünde bulundurularak taşınım katsayısı (h) değeri 5, 12 ve 30 Wm-2K-1 olarak ayrı ayrı dikkate alınarak her bir h durumu için tüm koşullarda ölçümleri yapılan numunelerin SRI değerleri hesaplanmaktadır.

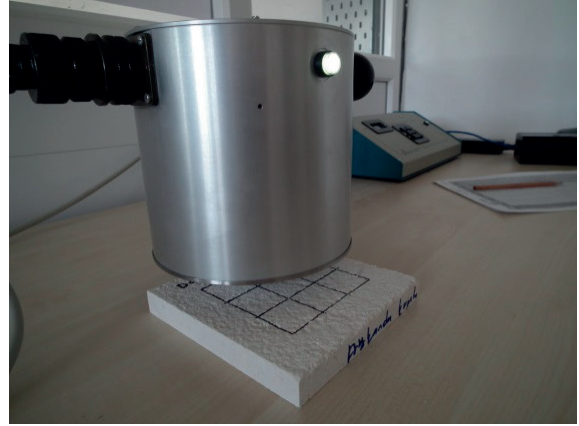


Foto 1. Güneş ışığı yansıtma değeri ölçümü

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Çalışmada Kullanılan Doğal Taşlar

Çalışma kapsamında, gerek yurt içi ve gerekse yurt dışında yüksek ticari öneme sahip farklı renk, doku ve yüzey (cilalı, honlu ve kumlamalı) özelliklerine sahip 5 farklı karbonat kökenli doğal taş türüne ait numuneler kullanılmıştır (Çizelge 1). Ayrıca, 15x15x2 cm boyutuna getirilmiş olan doğal taş plakalarının yüzeyleri üzerinde Güneş Işığı Yansıtma değerleri (b) ve Isıl Yayılim (e) değerlerinin ölçümü için gerekli 5 cm kenar uzunluğunda 9 adet kareli oluşturulmuştur (Foto 1-2).

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan doğal taşlar

Num. Kodu	Köken	Kayaç Türü	Renk	Doku
M1	Sed.	Traverten	Orta Kahverengi Sarımsı	Mikrokristalin Sparitik
M2	Sed.	Killi-Kireçtaşı	Gri Sarımsı	Mikritik
M3	Sed.	Kireçtaşı	Gri ÇokAçık	Sparitik
M4	Sed.	Dolomit	Gri Beyaz- AçıkGri	Granoblastik
M5	Met.	Mermer		

Sed: Sedimanter; Met: Metamorfik

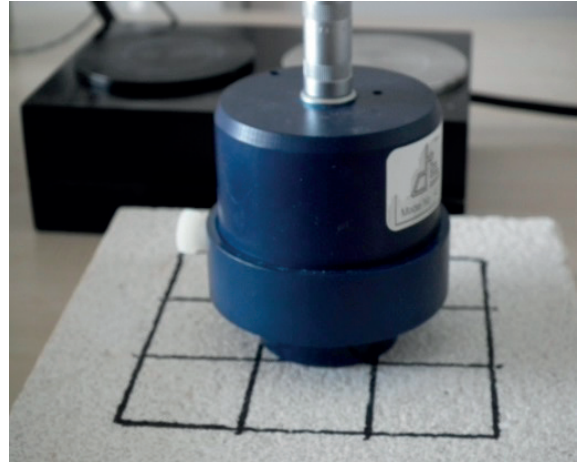


Foto 2. Isıl yayılım değeri ölçümü

### 2.2. SRI Değerlerinin Belirlenmesi

Numunelerin Güneş Işığını Yansıtma İndeks (Solar Reflection Index, SRI) değerlerinin belirlenmesi amacıyla Güneş Işığı Yansıtma değerleri (b) ve Isıl Yayılim (e) değerleri Şekil 1-2'de verilen cihazlar kullanılarak ölçülmüş ve sonuçlar Çizelge 2'de sunulmuştur. Çalışma kapsamında numunelerin kuru ve suya doymun durumda ölçümleri yapılmıştır. Güneş Işığını Yansıtma İndeks (SRI) değerleri Eşitlik 1-3 kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan doğal taşların ölçülen Güneş Işığı Yansımaya ve Isıl Yayılmaya değerleri

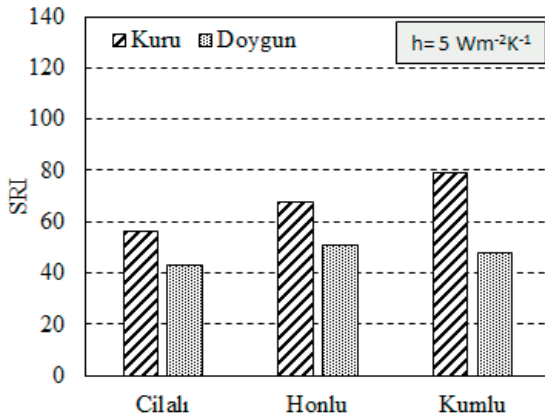
Num. Kodu	Koşul	Güneş Işığı Yansımaya değerleri ( $\beta$ ) (ASTM C1549)			Isıl Yayılmaya ( $\epsilon$ ) (ASTM C1371)		
		Cilalı	Honlu	Kumlu	Cilalı	Honlu	Kumlu
		M1	0.860 ± 0.003	0.875 ± 0.005	0.882 ± 0.007	0.502 ± 0.076	0.578 ± 0.050
M2	0.843 ± 0.004	0.846 ± 0.004	0.862 ± 0.002	0.907 ± 0.005	0.905 ± 0.003	0.911 ± 0.003	
M3	Kuru	0.834 ± 0.005	0.851 ± 0.002	0.870 ± 0.001	0.770 ± 0.024	0.811 ± 0.038	0.855 ± 0.015
M4		0.848 ± 0.002	0.861 ± 0.001	0.871 ± 0.003	0.684 ± 0.052	0.691 ± 0.036	0.770 ± 0.026
M5		0.851 ± 0.002	0.860 ± 0.001	0.878 ± 0.003	0.469 ± 0.024	0.505 ± 0.049	0.664 ± 0.031
M1	Doygun	0.900 ± 0.003	0.908 ± 0.005	0.947 ± 0.004	0.389 ± 0.052	0.443 ± 0.054	0.404 ± 0.056
M2		0.913 ± 0.004	0.922 ± 0.002	0.954 ± 0.004	0.711 ± 0.004	0.702 ± 0.005	0.704 ± 0.005
M3		0.934 ± 0.005	0.932 ± 0.005	0.974 ± 0.003	0.698 ± 0.018	0.718 ± 0.018	0.708 ± 0.010
M4		0.897 ± 0.006	0.927 ± 0.005	0.964 ± 0.007	0.490 ± 0.044	0.496 ± 0.030	0.553 ± 0.022
M5		0.880 ± 0.001	0.896 ± 0.005	0.940 ± 0.004	0.384 ± 0.013	0.402 ± 0.022	0.453 ± 0.026

Çizelge 3. Çalışmada kullanılan doğal taşların hesaplanan SRI değerleri

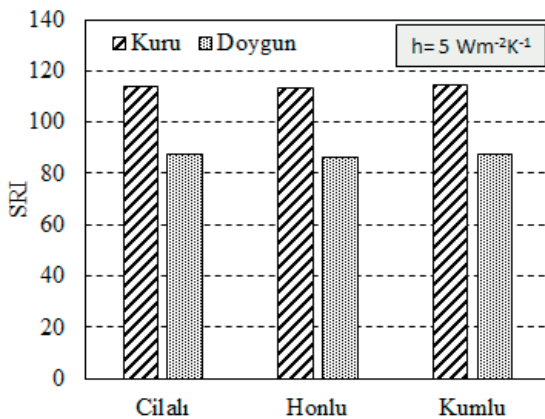
Num. Kodu	Yüzey Koşulu	Güneş Işığını Yansıtma İndeks (SRI) Değeri					
		Taşınım katsayısı (h) (Kuru Durum)			Taşınım katsayısı (h) (Doygun Durum)		
		5Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>	12Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>	30Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>	5Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>	12Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>	30Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
M1	Cilalı	56.4	57.4	58.3	43.3	43.8	44.2
M2		113.7	113.9	114.1	87.3	87.4	87.5
M3		93.5	94.1	94.7	86.0	86.0	85.9
M4		81.5	82.2	82.9	56.7	57.1	57.5
M5		51.4	52.6	53.7	41.5	42.3	43.1
M1	Honlu	67.5	68.2	68.7	50.9	51.2	51.4
M2		113.5	113.7	113.9	86.3	86.3	86.3
M3		99.9	100.3	100.6	88.8	88.7	88.7
M4		82.8	83.5	84.0	58.9	58.9	58.8
M5		56.7	57.7	58.6	44.8	45.3	45.8
M1	Kumlu	79.0	79.4	79.8	47.9	47.6	47.2
M2		114.6	114.7	114.9	87.5	87.3	87.0
M3		106.5	106.8	107.0	88.6	88.2	87.8
M4		94.4	94.7	95.1	67.9	67.4	66.9
M5		79.6	80.1	80.5	53.8	53.6	53.4

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

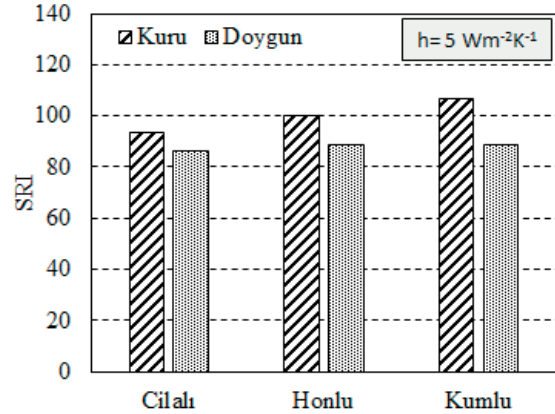
Karbonat kökenli 5 farklı (M1, M2, M3, M4, M5) doğal taş türüne ait, cilalı, honlu ve kumlu yüzeyler üzerinde, numunelerin kuru ve suya doygun olma durumlarına göre yapılan Güneş Işığı Yansıma (b) ve Isıl Yayılım (e) ölçümleri (Çizelge 2) sonucunda hesaplanan SRI değerleri (Çizelge 3) incelendiğinde, baz alınan sabit taşınım katsayısına ( $h=5$ ) göre, M2 kodlu doğal taş örneğinin su içeriği ve yüzey pürüzlülüğünden neredeyse hiç etkilenmediği (Şekil 4) görülmektedir. Bunun nedeni zaten oldukça yüksek seviyede bir SRI değerine sahip olan kayacın bu parametrelerden etkilenme yüzdesinin daha düşük seviyede kalmasıdır. Buna karşın M1, M3, M4 ve M5 kodlu örneklerde pürüzlülük derecesi arttıkça SRI değerlerinde önemli ölçüde bir artış gözlenmiş, kuru ve kumlu yüzeylerde en yüksek SRI değerlerinin elde edilmiştir (Şekil 1-5). SRI değerlerinde görülen artışın, özellikle kuru durumda, doğal taş yüzeylerinde artan pürüzlülükle birlikte meydana gelen daha açık tondaki renksel değişimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.



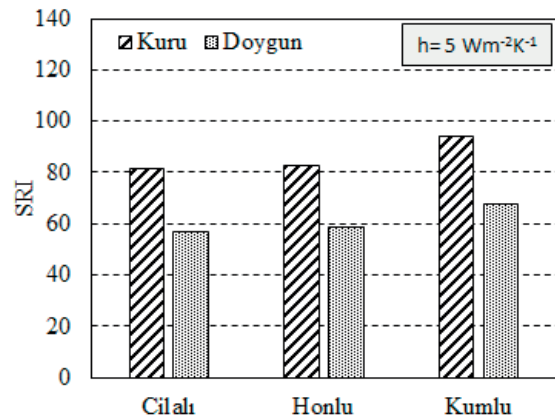
Şekil 1. M1 kodlu doğal taşta ait SRI sonuçları



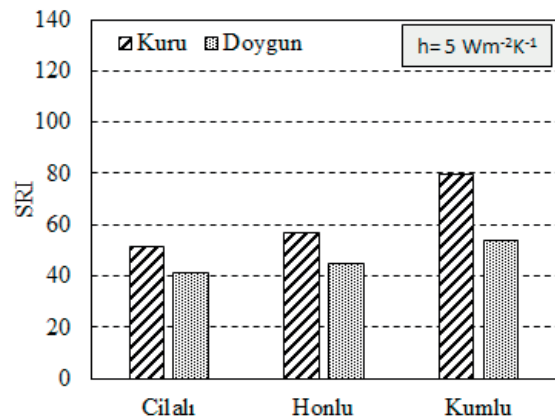
Şekil 2. M2 kodlu doğal taşta ait SRI sonuçları



Şekil 3. M3 kodlu doğal taşta ait SRI sonuçları



Şekil 4. M4 kodlu doğal taşta ait SRI sonuçları



Şekil 5. M5 kodlu doğal taşta ait SRI sonuçları

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yukarıda elde edilen bulgular ışığında, çalışmada kullanılan tüm doğal taş türleri, farklı su içeriğinde ve yüzey koşullarında hesaplanan SRI değerleri açısından incelendiğinde, güneşten yayılan

enerjiyi belirli ölçüde yansıtma kabiliyetine sahip oldukları ve özellikle M2 kodlu doğal taş türü için diğerlerine nazaran daha serin bir yüzeye sahip olabileceği sonucuna varılmıştır. Diğer doğal taş türleri için ise genellikle kaba işlenmiş ve kuru yüzeyler tercih edildiğinde oldukça tatmin edici sonuçlar doğuracağı, artan SRI değerlerinin ise, doğal taş kullanımında çok büyük yüzey alanları söz konusu olduğunda, buldukları ortamlarda oluşabilecek ısı adalarının azalmasına da önemli derecede katkı sağlayabilecekleri sonucuna ulaşılmıştır.

Ayrıca yeşil bina değerlendirme sistemi ve çevresel sürdürülebilir yapı için uygun standartları oluşturmak üzere, ABD Yeşil Bina Konseyi (U.S. Green Building Council, 2007) tarafından geliştirilen “Enerji ve Çevre Tasarımında Öncülük” (The Leadership in Energy and Environmental Design, LEED) sertifikasyonu kapsamında, binalarda kaplama olarak kullanılacak doğal taşların SRI değerinin 29’un üzerinde olması gerektiği önerilmektedir. Bu çalışmada incelenen 5 farklı doğal taş için hesaplanan SRI değerlerinin, 29’un üzerinde olduğu ve bu öneriyi sağladıkları belirlenmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK-1001 “Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı” kapsamında 114M569 No’lu Proje tarafından desteklenmiştir. Kuruma katkıları için teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Alchapar, N.L.,Correa, E.N., Canton, M.A., (2013), Solar Reflectance Index of Pedestrian Pavements and Their Response to Aging, Journal of Clean Energy Technologies, 1 (4), 281-285.

ASTM C1371, (2015), American Society For Testing and Materials, Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature Using Portable Emissometers.

ASTM C1549, (2009), American Society For

Testing and Materials, Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer.

ASTM E1980 - 11 (2001), American Society for Testing and Materials, Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces.

Berdahl P.,Bretz S.E., (1997), Preliminary Survey of The Solar Reflectance of Cool Roofing Materials, Energy and Buildings, 25, 149-158.

Boriboonsomsin K.,Reza F., (2007), Mix Design And Benefit Evaluation of High Solar Reflectance Concrete For Pavements, Transportation Research Board of the National Academies, 11–20.

Kültür, S. Türkeri, N.,(2012), Assessment of Longterm Solar Reflectance Performance of Roof Coverings Measured In Laboratory and In Field, Building and Environment, 48, 164-172.

Levinson, R.,Akbari, H., Berdahl, P.,(2010), Measuring Solar reflectance—Part II: Review of Practical Methods, Solar Energy, 84, 1745–1759.

Ma, Y.,Zhu, B., Wu, K., (2001), Preparation ünd Solar Reflectance Spectra of Chameleon Type Building Coatings, Solar Energy, 70 (5), 417–422.

Shi Z, Zhang X., (2011), Analyzing the Effect of the Long Wave Emissivity and Solar Reflectance of Building Envelopes on Energy-Saving In Buildings In Various Climates, Solar Energy, 85:28-37.

Sleiman, M.,Kirchstettera, T.W., Berdahl, P., Gilbert, H.E., Quelen, S., Marlot, L., Preblea, C.V., Chen, S., Montalbano, A., Rosseler, O., Akbari, H., Levinson, R., Destailats, H., (2011), Soiling of Building Envelope Surfaces ünd Its Effect on Solar Reflectance – Part II: Development of an Accelerated Aging Method for Roofing Materials, Solar Energy Materials and Solar Cells, 122, 271-281.

U.S.Green Building Council, (2007), 5 September 2007, www.usgbc.org.



Orijinal Araştırma / Original Research

## DOĞALTAŞ ÜRETİMİ VE SU İLİŞKİSİ

### NATURAL STONE PRODUCTION AND WATER INTERACTION

Mahmut Mutlutürk<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, TÜRKİYE

**Geliş Tarihi / Received** : 8 Mayıs / May 2018  
**Kabul Tarihi / Accepted** : 8 Ağustos / August 2018

**Anahtar Sözcükler:**  
Doğaltaş,  
Sanal su,  
Su ayak izi.

#### ÖZ

Su insan vücudu için vazgeçilmez bir bileşen olduğu gibi, insan yaşamının da önemli bir parçasını oluşturmaktadır. İnsan yaşamında beslenme amaçlı tahıl, meyve, sebze ve et gibi gıda ürünlerinin üretiminde olduğu kadar her türlü endüstriyel üretimde de suya ihtiyaç duyulmaktadır. Doğaltaş üretiminde de aramadan başlayıp mamul halde kullanıma sunuluncaya kadar değişik aşamalarda değişik miktarlarda su gerekmektedir. Mamul madde içinde yer almayan, ancak doğaltaş üretiminin değişik aşamalarında kullanılan su bu araştırmanın ana konusunu oluşturmaktadır.

Günümüzde bir ürünün üretiminden kullanımına kadar geçen süreçte ihtiyacı olan su miktarına Sanal Su adı verilmektedir. Gıda sektöründe oldukça yaygın olan bu konuda doğaltaş sektöründe herhangi bir araştırma bulunmamaktadır ve doğaltaş ocağının kullandığı su miktarının nihai ürün üzerindeki payı ise belirsizdir.

Yapılan çalışmada, doğaltaş ocağında aynada delik delme, kesme, blok boyutuna getirme aşamaları ile fabrikada plaka haline getirme, parlatma, boyutlandırma ve diğer işlemlerin uygulanması sırasında kullanılan su miktarları ölçülmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak bir birim boyutlandırılmış ve mamul hale getirilmiş doğaltaşın elde edilebilmesi için gerekli olan Sanal Su miktarı hesaplanmıştır.

#### ABSTRACT

**Keywords:**  
Natural stone,  
Virtual water,  
Water foot print.

Water is a main component of the human body as well as a part of the human life. Water is needed in the production of industrial products as well as in the production of food products such as cereals, fruits, vegetables and meat for nutrition. Water is used in various stages from the beginning to the use in the finished product steps in the natural stone production. The main subject of this investigation is used water in the end product of natural stone of several steps of production.

Today, the amount of water needed in the process from the production of a product to its use is called as Virtual Water. There is no research in the natural stone sector, which is quite common in the food sector, and the share of the amount of water used by the natural stone quarry on the final product is uncertain.

In this study, has been tried to measure the amount of water used during drilling, cutting and making marketable size in the natural stone quarry and sizing, polishing and other operations of natural stones in the factory. As a result of this study, the amount of Virtual Water required to obtain marketable sized of natural stones was calculated..

\* Sorumlu yazar: [mutlu.mahmut@hotmail.com](mailto:mutlu.mahmut@hotmail.com)

Bu bildiri 2017 yılında düzenlenen Türkiye 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı'nda yayınlanmıştır. / This paper was published in the 9th International Marble and Natural Stones Congress of Turkey held in 2017.

Bu makalenin tüm yayın hakları TMMOB Maden Mühendisleri Odası'na aittir © 2018 / Copyright © 2018 Published by UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey. All rights reserved.



## GİRİŞ

Dünya nüfusundaki artış ve bu artışa bağlı her türlü tarımsal ve endüstriyel üretim ile kullanma ve içme gibi yaşamsal ihtiyaçlar için kullanılan tatlı su gereksinimi giderek artmaktadır. Ve kullanılan su miktarı ile doğal ortamda depolanan su miktarı arasındaki dengenin bozulması, buna bağlı olarak tatlı su rezervlerimizin giderek azalması, su ile ilgili görüşlerimizi, kullanım yöntemlerimizi ve politikalarımızı yeniden gözden geçirmemiz gerektiğini ortaya çıkarmaktadır. J. A. Allan (1993), suyun sadece anlık ihtiyaçlarda kullanılan bir meta olmadığı, suyun sadece insanların içtiğinde ya da kullandığında değil diğer bütün tüketim alanlarında da su kullandığını iddia etmiş ve “Sanal Su” kavramını ortaya atmıştır. Sanal Su kavramı suyun ticaretinin direkt yollardan değil, ticari ürünler ile dolaylı yollardan yapılabileceğini, suyun gizli bir ticaretinin olduğunu ortaya koymaktadır. Bu anlamda ülkeler arasındaki küresel ticarete su politikası ve idaresi açısından yeni bir dönem yaşanmaktadır (Anaç vd., 2011: Şahin, 2016).

Sanal su ile birlikte kullanılan ve toplamda aynı miktarların ifade edildiği “Su Ayak İzi” kavramı ise Hoekstra ve Hung (2001) tarafından ortaya konmuş ve bir ürünün üretilmesinde tüketilmesinde kullanılan temiz su miktarına dikkat çekmek amacıyla taşımaktadır. Su ayak izi kavramının sanal sudan temel farkı, sistemden kullanılan su yerine doğrudan ve dolaylı kullanılan toplam su miktarını analiz etmesidir. Su ayak izi, bir hizmet, ürün, birey için kullanılan tatlı suyu “Mavi Su”, yağmur suyunu “Yeşil Su” ve kirlilik yükünün yok edilmesi için kullanılan suyu da “Gri Su” olarak sınıflandırmaktadır.

Sanal Su kavramı çerçevesinde yapılan çalışmalar nerede ise tamamen tarımsal ürünleri kapsamaktadır. Bunun temel nedeni yeryüzündeki tatlı su kaynaklarının ortalama %70 gibi oldukça büyük bir kısmının tarımsal ürünlerin üretiminde kullanılmasıdır. Endüstriyel ürünlerin üretiminde sanal su kullanımı ortalama %22, evsel kullanımda ise %8’dir (Aytemiz ve Diler, 2015). Madencilik faaliyetlerinde sanal su kullanımı %3 olarak ifade edilse de bu rakamların içinde doğaltaş üretiminin hangi ölçülerde yer aldığı konusunda ulusal ve uluslararası kaynaklarda herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Diğer taraftan, doğaltaş üretimi ile ilgili birim üretimde kullanılan su miktarı konusunda oldukça büyük bir belirsizlik bulunmaktadır.

Diğer taraftan, Su Ayak İzi kapsamında su kullanımını değerlendirdiğimizde, “Yeşil Su” yağış ve buharlaşma ile tarımsal ürünlerin üretiminde etkili olan

suyu ifade etmektedir ve tamamen tarımsal üretimi ilgilendiren bu suyun doğaltaş üretiminde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Dolayısı ile doğaltaş sektöründe tamamen temiz tatlı su “Mavi Su” kullanılmaktadır. Ancak, fabrikada yapılan üretimde kullanılan suyun büyük bir bölümü geri kazanımla tekrar kullanılmakta ve bu anlamda kullanılan su ise “Gri Su” tanımına girmektedir.

Bu çalışmada gerek ocakta üretimde gerekse fabrikada kullanılan taşın mineralojik yapısı, blok durumu ve diğer mühendislik özelliklerinin su kullanımında etken olabileceği düşüncesi ile Isparta, Burdur ve Antalya bölgesi benzer nitelikli bej renkli doğaltaşlar değerlendirme kapsamına alınmıştır. Çalışma arazi ve büro incelemeleri şeklinde iki aşamalı olarak yürütülmüştür. Arazi çalışmalarında ocaklarda kesim çalışmaları izlenmiş ve su kullanımı ölçümleri yapılmıştır. Fabrikalarda ocaklardan gelen blokların pazarlanabilir mamul hale getirilinceye kadar geçirdiği bütün aşamalar izlenmiş ve gerekli ölçümler yapılmıştır. Ocak ve fabrika sorumlu mühendislerinden de bilgiler alındıktan sonra bu bilgiler değişik firmalar ve ürettikleri mermer makinalarına ait katalog ve internet sitelerindeki bilgiler ile birlikte incelenerek ilk üretimden son kullanım yerine getirilinceye kadar kullanılan su miktar ve nitelik açısından hesaplanmaya çalışılmıştır.

## 1. DOĞALTAŞ ÜRETİMİ VE SU

### 1.1. Ocakta Blok Üretimi ve Su Kullanımı

Kademelendirilmiş bir doğaltaş ocağında yapılan işlemler sırası ile a) Delici ile yatay ve düşey deliklerin delinmesi, b) Elmas tel kesme makinesi ile mermer bloğun kesilmesi, c) Kesilen bloğun ana kütleden ayrılıp devrilmesi işlemi, d) Devrilen bloğun, daha küçük boyutlara ayrılması (sayalama) işlemi, e) Mermer blokların stoklanmasıdır (Onargan vd., 2005). Sadece bazı ocaklarda jeolojik ve ekonomik koşulların uygun olması halinde kollu kesici makinalar kullanılmaktadır ve çok yaygın kullanımı olmayan kollu kesici makinalar jeolojik koşullara göre sulu ya da susuz kesim yapmaktadır. Bu işlemler arasında yaygın su kullanımı, tel kesme ve blok boyutlarının pazarlanabilir ebatlara getirilmesi(sayalama) sırasındadır ve delik delme sırasında su kullanılmamaktadır.

Mermer bloğun kesilmesi işleminde kullanılan tel kesme makinaları değişik boyut ve özelliklerdedir. Değişik kaynaklarda, ortalama elmas tel kesme makinaları kesim hızı 5-20 m<sup>2</sup>/saat su sarfiyatı ise 100-120 litre/saat aralığında verilmektedir

ancak yaptığımız gözlemler sonucu kesimin başlaması ve sonlanması arasında arıza, ek yapma ve benzeri işlemlerden dolayı kesim için ortalama %40 daha fazla zaman harcanmaktadır. Dolayısı ile su ile ilgili hesaplamalarda kesime başlanması ve sonlanması arasında geçen sürede harcanan su miktarı dikkate alınmıştır.

Benzer durum blokların boyutlandırılması (sayalama) işlemi için de geçerlidir. Değişik kaynaklarda, ortalama sayalama makinaları kesim hızı 2-12 m<sup>2</sup>/saat su sarfiyatı ise 50-60 litre/saat aralığında verilmektedir. Sayalama işleminde su kullanımını kaynaklarda verilen rakamların 200-250 litre/saat gibi oldukça üzerinde olduğu gibi ortalama %40 bir zaman artışı da gözlenmektedir. Ancak sayalama işleminde en büyük belirsizlik bir bloğun kaç yüzeyinin kesildiğidir. En az üç yüzeyi kesildiği gibi bu sayı altı yüzeye de çıkmaktadır.

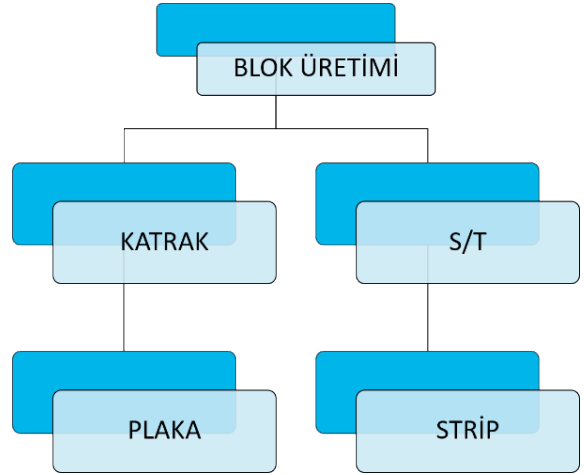
Birim pazarlanabilir blok üretimi için harcanan su miktarı hesaplamalarında, Ocakta üretim yapılan aynada ana kütlede ayrılmış devrilen bloğun tamamından pazarlanabilir nitelikte blok elde edilememektedir. Bir miktar kayıp bloğun devrilmesi sırasında, bir kısım kayıp da sayalama sırasında olmaktadır. Bloğun devrilmesi sırasındaki kayıpların ortalama %70, sayalama sırasında ise %35 civarında olduğu gözlenmiştir. Ayrıca kusurlu olan ve kaliteye bağlı seçimle taşların ayrılması ile ayrı bir kayıp da yaşanmaktadır, ancak her koşulda kesim yapıldığı, su harcandığı dikkate alınmıştır.

Değişik ocaklarda yaptığımız gözlem, ölçüm ve firmalara ait kataloglarda yer alan bilgileri kullanarak yaptığımız hesaplamalara göre kaliteye bağlı seçimden bağımsız 1 m<sup>3</sup> pazarlanabilir blok üretimi için harcanan su miktarı 630 litredir. Bu değer moloz adı verilen ve katrakta kesilmeyip S/T ile işlenen daha küçük boyutlu olan 1 m<sup>3</sup> bloklar için harcanan su miktarı 380 litredir.

## 1.2. Fabrikada Plaka-Ebatlı Üretim ve Su Kullanımı

Fabrikada plaka ve ebatlı üretimin ilk basamağı ocaktan gelen blokların boyutlarına göre katrak ya da S/T adı verilen makineler ile ihtiyaca yönelik olarak değişik ebatlarda plaka ya da strip şeklinde kesilmesidir (Şekil 1). Bu ilk kesim işleminden sonra doğaltaşın pazarlanabilir özellikte piyasaya arz edilmesi değişik şekillerde olmaktadır. İlk olarak doğaltaşın yapısından kaynaklanan epoksi gerektiren ve epoksi gerektirmeyen ayrımının yapılmasıdır. Özellikle bej renkli doğaltaşlar

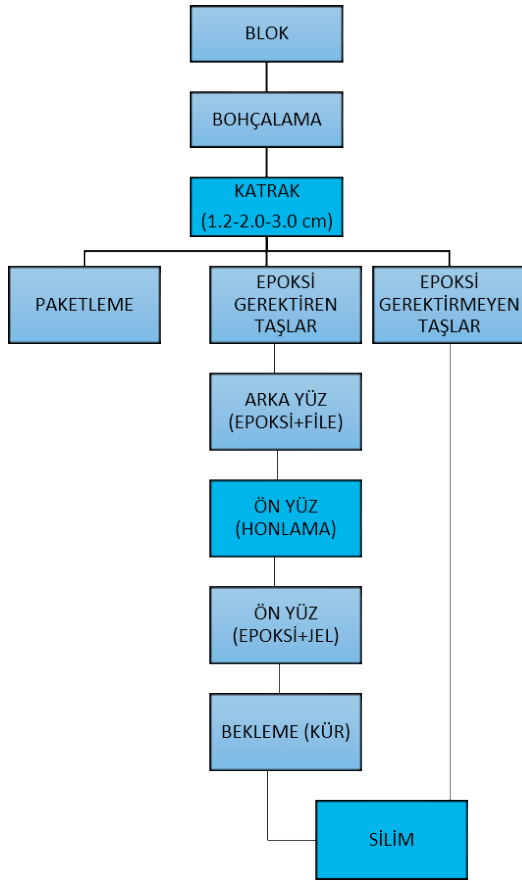
(Burdur, Isparta gibi) kırıklı yapılarından dolayı file ve epoksi gibi sağlamlaştırma işlemleri gerektirmektedir. Kristal yapıları daha sağlam olan doğaltaşlar (Muğla, Uşak, Afyon gibi) epoksi işlemi gerektirmeden de pazarlanabilmektedir. Hangi grupta olursa olsun Katrak ya da S/T'den çıkan plaka ve stripler olduğu şekli ile pazarlanabildiği gibi değişik uygulamalar yapılarak, değişik ebatlara getirilerek de pazarlanabilmektedir. Genel fabrika aşamaları Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'de verilmiştir ve şekillerde su kullanım aşamaları mavi renkli gösterilmiştir.



Şekil 1. Ocaktan gelen blokların fabrika üretim aşamaları

Fabrika işlem aşamalarına baktığımızda su kullanılan katrak ve S/T makinaları dışında honlama makinaları, plaka ve fayans silim makinaları, yarma makinaları, köprü kesme ve ebatlama makinaları ile alternatif yüzey işlemleri yapan makinaları karşımıza çıkmaktadır. Bütün makinaların hızları ve su tüketimleri üreten firma ve modele göre farklılık göstermektedir. Ayrıca aynı makinanın farklı fiziksel özellikteki taşlar için uyguladığı hızlar farklı olmaktadır. Ancak su miktarının nerede ise taşın boyutlarından ve özelliklerinden bağımsız olarak her zaman yaklaşık aynı miktarlarda kullanıldığı gözlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında Isparta, Burdur ve Antalya bölgesinde faaliyet gösteren fabrikalarda yapılan gözlem ve ölçümler ile üretici firmalara ait katalog verileri kullanılarak hesaplanan makinalara ait ortalama su kullanım değerleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 2. Fabrikada plaka işlem 1. Aşama

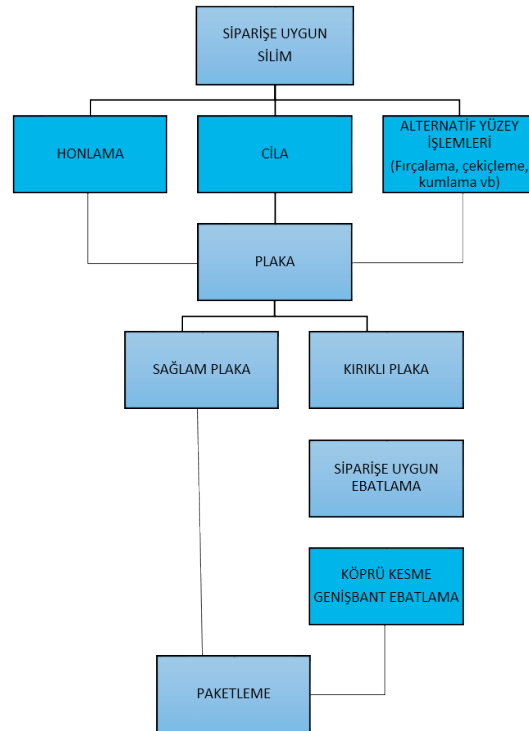
**Katrak;** Ocaktan ebatlanmış halde gelen blokların kesildiği çoklu kesiciler olan katraklar, 2 ve 3 cm kalınlığında plaka kesmektedir. Çok yaygın olmasa da son zamanlarda 1.2 cm kalınlığında kesim de yapılmaktadır. Genel kesim hızları 120-300 mm/dakika olan bu makinelerde blokların başlangıç ve son kısımları ile arada kalan kısımlarının kesiminde farklı hızlar kullanılmaktadır. Su kullanımı 800-1000 lt/dakika arasındadır ve uygulamada taşın ebatlarından bağımsız her zaman ortalama aynı miktar su kullanılmaktadır. 2 cm lik taşlar için ortalama 2.133 litre/m<sup>2</sup>, 3 cm lik taşlar için ortalama 3.048 litre/m<sup>2</sup> su kullanılmaktadır. Bu değer bir fabrika için ortalama 2.650 litre/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir.

**S/T;** Genellikle net ölçüler taşımayan ve moloz olarak adlandırılan bloklar S/T makineleri ile kesilir. Fayans hatlarında kullanılan bu makinelerde bölge taşlarının özelliklerine bağlı olarak çapları 100-180 cm arasında değişen bir dikey ve daha küçük çaplı bir yatay testere kullanılır. Bloklardan 3.4-5.0-7.0 cm kalınlıklarda strip adı verilen serbest boya sahip kesim yapılır. Ortalama 150-200

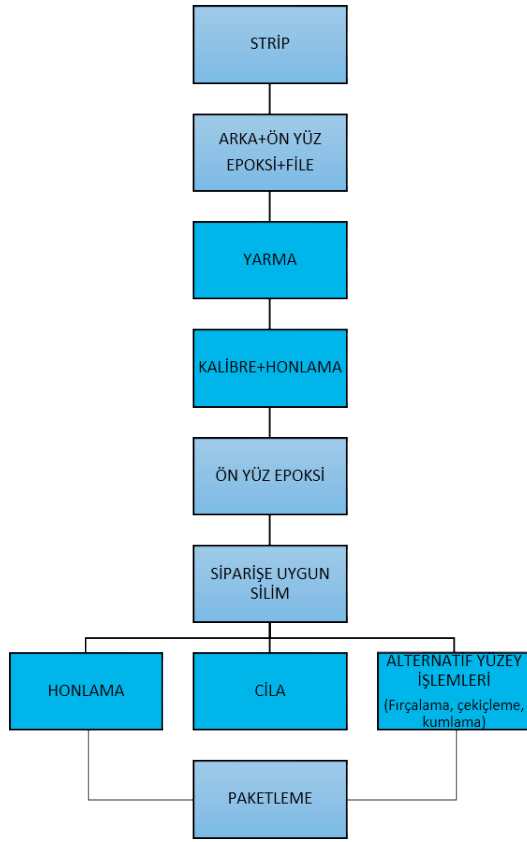
litre/dakika su kullanılan bu makinelerin ortalama kesim hızı 8.1-8.8 m<sup>2</sup>/saattir. Verimleri oldukça düşük olan S/T'lerin taş kalınlığından bağımsız ortalama su tüketimi 875 litre/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür.

**Kalibre, honama, cila, plaka ve fayans silim;** Silim hatları plaka ve ya daha küçük ebatlı taşlarda yüzey işlemlerinin yapıldığı makinelerdir. Kalibre ile kalınlıklardaki hatalar giderilmekte, honlama ile kaba silim yapmakta, cila işleminde ise yüzey nerede ise pürüzsüz hale getirilmektedir. Makinalar arasındaki fark kullanılan aşındırıcı özelliği ve sayısından kaynaklanmaktadır. Bu makinelerin su tüketimi aşındırıcı sayısına bağlı olarak 120-620 litre/dakika arasında değişmektedir. Plaka hatlarında ortalama su tüketimi honlamada 1.500 litre/m<sup>2</sup>, cilada ise 2.200 litre/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Fayans hattında ortalama su tüketimi ise honlamada 1.100 litre/m<sup>2</sup>, cilada 1.500 litre/m<sup>2</sup> dir.

**Yarma;** S/T makinelerinden gelen farklı kalınlığındaki stripler, yarma makinelerinde ikiye ayrılarak daha düşük kalınlıklara getirilirler. Bu işlemden önce ve sonra taş sağlamaştırılır, ayrıca kalibre işlemi ile de kalınlık daha düzgün hale getirilir. Yarma makinasında ortalama su tüketimi 480 litre/m<sup>2</sup> ölçülmüştür.



Şekil 3. Fabrikada plaka işlem 2. aşama



Şekil 4. Fabrikada strip işlem aşamaları

**Köprü kesme ve ebatlama;** Köprü kesme makinaları plakaları değişik amaçlar için ebatlandırmada kullanılan makinalardır. Blokların ocakta sayılanması sırasında istenilen ebatlarda kesmesi bu makinaların yükünü önemli ölçüde azaltmaktadır. Köprü kesme makinalarının ortalama kesim hızları 200-900 mm/dakika su tüketimleri de 150-250 litre/dakika arasında değişmektedir. Yaptığımız gözlemler köprü kesme makinalarının ortalama su tüketiminin 280 litre/m<sup>2</sup> olduğunu göstermektedir.

Ebatlama, fayans hatlarında kullanılan ve birden fazla kesicinin kullanıldığı "çoklu ebatlama" olarak bilinen makinalarda yapılmaktadır. Bu makinalarda aynı anda birden fazla kesici kullanılarak istenilen ebatlarda iki aşamalı enden ve boydan ayrı ayrı kesim yapılabilmektedir. 30x60, 60x60 cm gibi ebatlarda kesimlerin yapıldığı bu makinaların ortalama kesim hızları 200-900 mm/dakika su tüketimleri de 60-200 litre/dakika arasında değişmektedir. Çoklu ebatlama makinalarında su tüketimlerinin değişken olduğu gözlenmiştir, ancak çoklu kesme makinalarının ebat ve bıçak sayısının

dan bağımsız ortalama su tüketiminin 110 litre/m<sup>2</sup> olduğu hesaplanmıştır.

**Alternatif yüzey işlemleri;** Fabrikalarda alternatif yüzey işlemleri, fırçalama (yüzey eskitme), kumlama (yüzeyi ince pürüzlü hale getirme), çekikleme (yüzeyi kaba pürüzlü hale getirme), kenar-köşe kırma, damlalık gibi oldukça çeşitlidir. Hatta CNC makinaları ile yapılan desen ve heykel uygulamaları da alternatif işlemler arasındadır. Bu alternatif işlemlerin her biri kendisine özgün olduğu ve çok fazla yaygınlık da taşımadığı için su tüketimi açısından değerlendirme dışında tutulmuştur. Ancak fabrikalarda yaptığımız gözlemlere göre diğer işlemler kapsamında birim metrekare maliyet üzerinde ortalama 5 litre/m<sup>2</sup> etkisi olabileceği öngörülmüştür.

## 2. SANAL SU VE SU AYAK İZİ

Bir ürünün üretiminden pazara sunuluncaya kadar geçen süreç içinde harcanan suyun miktarının bir ölçüsü olan sanal su ve su ayak izi ile ilgili yapılmış olan bu çalışma bir ilk niteliğindedir. Yapılan hesaplama ve değerlendirmelerde oldukça geniş bir yelpazeye sahip olan doğaltaş sektöründe Isparta-Burdur-Antalya bölgesinde çıkarılan ve fabrikalarda değerlendirilen bej renkli taşlar ele alınmıştır. Kendi içinde herhangi renk, desen, kalite ayrımı yapılmaksızın ocak ve fabrikalardaki üretim aşamaları ve buna bağlı genel su tüketimleri dikkate alınmıştır.

Ocaklarda nispeten benzer yöntemler kullanılmakta, fabrikalarda ise oldukça değişik üretim bantları, değişik makinaları kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında benzer nitelikteki üretimler ele alınarak hesaplamalarda bu farklılıklar mümkün olduğu kadar optimize edilmeye çalışılmıştır.

Hesaplamalarda ocak ve fabrika üretimlerinde, çalışanların ve işletmenin günlük kullanımları, çevre sulama gibi diğer kullanımlar için harcanan su miktarları ile sistem kayıplarının etkileri dikkate alınmıştır.

Yapılan hesaplamada pazarlamada üretim satış aralığında blok plaka üretiminde 5, moloz ebatlı üretiminde 4 sınıf ayrılmış sanal su miktarları bu sınıflara göre ayrı ayrı belirlenmiştir (Şekil 5).

Doğaltaş üretiminde yeşil su kullanılmamakta, ocaklarda tamamen mavi su ve fabrikalarda mavi su ile bütün işletmelerde bulunan geri kazanım tesislerinden elde edilen gri su kullanılmaktadır.

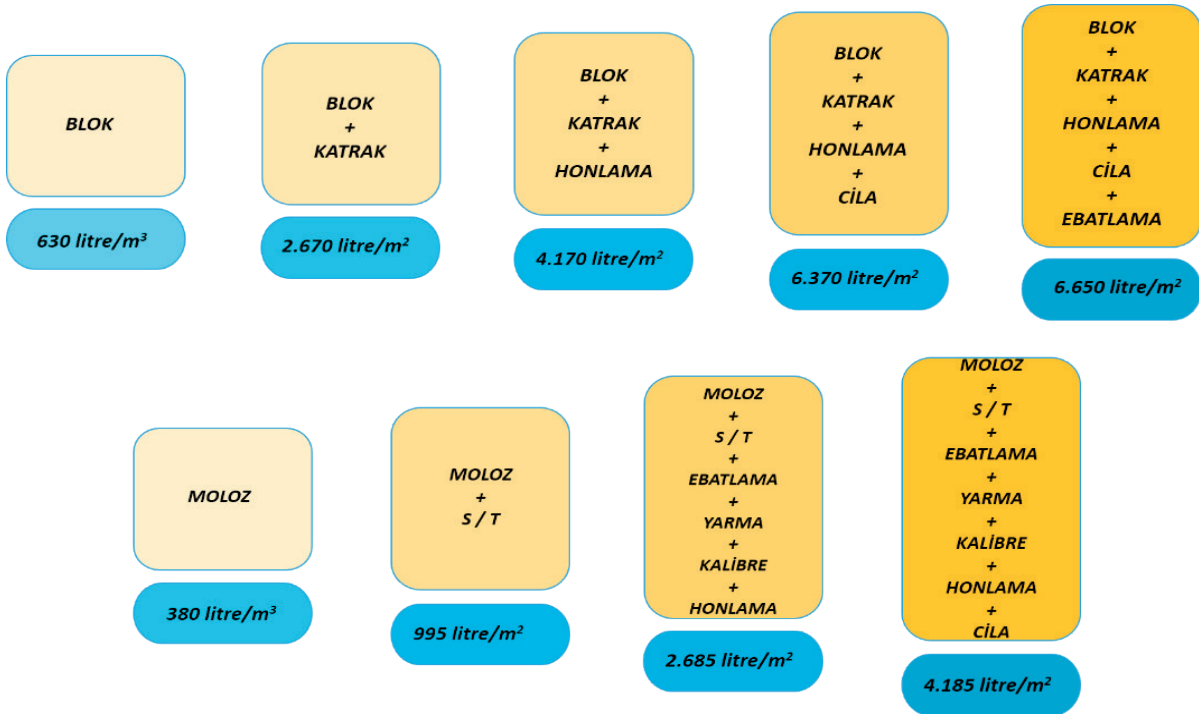
Fabrikalarda üretim aşamalarında su sadece taş kesimi ve silim işlemlerinde kullanılmakta, herhangi bir kimyasal süreç içinden geçmemektedir. Bu nedenle fabrikalarda kimyasal olarak kirlenmemiş, içinde herhangi bir organik kalıntı da olmayan artık su, fabrika içinde bulunan arıtma tesislerinde çöktürme yöntemi ile askıda maddelerden kurtarılarak yeniden kullanılmaktadır.

Gri su, siyah su, az kirlenmiş gri su ve çok kirlenmiş gri su olarak sınıflandırılmaktadır (Üstün ve Tırpancı, 2015). Bu tanıma göre, doğaltaş sektöründe fabrikalarda kullanılan, içinde askıda maddeden başka herhangi bir kimyasal madde bulunmayan su az kirlenmiş gri su tanımı içinde kalmaktadır. Doğaltaş fabrikalarının bu şekildeki suyun ortalama % 80'i geri kazanılmaktadır. Su-

yun geride kalan kısmı kesilen taşlardan arta kalan çamur içinde tutulmaktadır.

Gri ve mavi su kullanımında bazı alanlarda belirsizlikler gözlenmektedir. Örneğin cila hatlarında tamamen mavi su kullanılırken, katrak hattında gri su kullanılmaktadır. Ayrıca arıtma sisteminden eksilen su da sürekli takviye edilmektedir. Bu nedenle yapılan değerlendirmede toplamda üretim için gereksinim duyulan suyun belli bir kısmının gri su olarak üretimde kullanıldığı dikkate alınmıştır.

Yapılan çalışma ile ocakta blok ve moloz, fabrikada plaka ve fayans üretimi için hesaplanmış olan Sanal Su ve Su Ayak İzi miktarları Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 5. Doğaltaş üretim aşamalarında kullanılan su miktarları

Çizelge 1. Blok ve Plaka üretimi Sanal Su ve Su Ayak İzi Miktarları

PAZARLANAN ÜRÜN	SU AYAK İZİ (Litre)	
	SANAL SU (Litre)	MAVİ SU GRİ SU
Ham Blok (m³)	630	-
Katrak Plaka (m²)	2.670	2.136
Katrak Plaka Honlu (m²)	4.170	3.336
Katrak Plaka Cilalı (m²)	6.370	5.096
Katrak Plaka Cilalı Ebatlı (m²)	6.650	5.320

Çizelge 2. Moloz ve Strip üretimi, Sanal Su ve Su Ayak İzi Miktarları

PAZARLANAN ÜRÜN	SANAL SU	SU AYAK İZİ (Litre)	
	(Litre)	MAVİ SU	GRİ SU
Ham Moloz (m <sup>3</sup> )	380	380	-
S/T Strip (m <sup>2</sup> )	995	199	796
S/T Honlu Ebatlı (m <sup>2</sup> )	2.685	537	2.148
S/T Cilalı Ebatlı (m <sup>2</sup> )	4.185	837	3.348

## TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Doğaltaş kullanımı mimari çalışmaların vazgeçilmez bir unsurudur ve Türkiye'nin 2003-2016 yılları arasında doğaltaş ihracatı 1.5 milyon tondan 6.5 milyon tona yükselerek dünya pazarında önemli bir yere sahip olduğumuzu göstermektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı web sayfası). Ticaretimizde böyle bir önemli yeri olan doğaltaş ile ilgili ilk kez yapılan Sanal su ve Su Ayak İzinin hesaplanmasına yönelik çalışma ile ocaktan fabrikaya üretimin her aşamasındaki su tüketimleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Uzun bir zaman sürecindeki Isparta, Burdur, Antalya bölgelerindeki ocaklar ve fabrikalarda yapılan gözlem ve ölçümler, ocaklar ve fabrikalarda çalışan mühendislerden alınan bilgiler ve firmalara ait katalog bilgileri kullanılarak yapılan bu çalışma üretim-pazarlama aralığında kalan ortalama sonuçları yansıtmaktadır. Bölgesel ve daha dar alanlarda, doğaltaş çeşitliliğini de dikkate alarak yapılacak daha ayrıntılı çalışmalarla daha hassas sonuçlar elde edilebilecektir.

Günümüzde sadece tarımsal ürünler için oldukça ayrıntılı bir şekilde çalışılan Sanal su ve Su Ayak İzi kavramlarının madencilik ve mühendislik çalışmalarının diğer ilgi alanlarında da ele alınması bütün dünyada geleceğin önemli bir problemi olan su kaynaklarının verimli kullanımı ve uluslararası sanal su ticareti açısından önem taşımaktadır. Ayrıca bu çalışmaların sürdürülmesi yaptığımız üretim faaliyetlerinin su kullanımı ve çevre ilişkilerinin toplum tarafından daha doğru algılanmasına da yardımcı olacaktır.

## KATKI BELİRTME

Bu makale uzun bir zaman sürecinde yaptığımız sayısız çalışmalar sırasında yaptığımız gözlemler ile elde etmiş olduğumuz veriler yardımı ile hazırlanmıştır. Bütün bu çalışmalar sırasında bilgi, deneyim ve yardımlarını esirgemeyen, üretim bilgilerini açık bir şekilde paylaşan isimlerini sayamayacağım çok sayıda firma ve bu firmalarda çalışan meslektaşlarımıza katkılarından dolayı teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

- Allan J.A. 1994. Overall Perspectives on Countries and Regions. In P. Rogers and P. Lydon, eds. Water in the Arab World: Perspectives and Prognoses. Cambridge, Massachusetts, USA: Harvard University Press: p.65–100.
- Anaç S. Özçakal E. Mangü G.A., 2011. Sanal su Kavramı ve Su Yönetiminde Önemi. Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 48 (2), s.159-161.
- Aytemiz L. Diler Ö., 2015. Sanal Su Ekonomisi. İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırma Dergisi, 4 (2), s.376-389.
- Hoekstra, A.Y., Hung, P.Q., 2002. Virtual Water Trade: A Quantification of Virtual Water Flows Between Nations in Relation to International Crop Trade, Value of Water Research Report Series No:11, UNESCO-IHE, Delft, The Netherland, Pages 116.
- Onargan T. Köse H. Deliormanlı H., 2005. Mermer. TMMOB Maden Mühendisler Odası Yayını, No.95. 3254 s., Ankara.
- Şahin B., 2016. Küresel Bir Sorun:Su Kıtılığı ve Sanal Su Ticareti. Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler

Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 110 s., Çorum.

Üstüner G., 2015. Gri Suyun Arıtımı ve Yeniden Kullanımı. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 20 (2): s.119-139.

WWF.2014, Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu Su, Üretim ve Uluslararası Ticaret İlişkisi. Kaynak: <http://www.wwf.org.tr/?2720>.



Derleme / Review

## MADENCİLİKLE İLGİLİ YASAL DÜZENLEMELERDEKİ KÜRESEL EĞİLİMLER VE TÜRKİYE UYGULAMASI

### GLOBAL TRENDS IN MINING REGULATIONS AND APPLICATION OF TURKEY

Mustafa Topaloğlu<sup>a,\*</sup><sup>a</sup> Özyeğin Üniversitesi Hukuk Fakültesi & Topaloğlu Avukatlık Bürosu, İstanbul, TÜRKİYE

**Geliş Tarihi / Received** : 26 Mayıs / May 2018  
**Kabul Tarihi / Accepted** : 22 Ağustos / August 2018

**Anahtar Sözcükler:**  
 Sürdürülebilir madencilik,  
 Ruhsat güvencesi,  
 Model kanun

**Keywords:**  
 Sustainable mining,  
 License security,  
 Model code.

#### ÖZ

Dünyada maden hukukunda yaşanan gelişmelerde madenlerin devlet eliyle işletilmesi ile özel sektör madenciliklerinin özendirilmesi anlayışı etken olmuştur. Buna ilaveten çevre hukukunun baskısıyla gelişen sürdürülebilir kalkınma kavramının da maden hukuku reformlarında etkisi yadsınmaz. Şili'den başlayarak Meksika ve Peru'da yapılan maden hukuku reformları Güney Amerika Kanun Modeli olarak dünyaya örnek gösterilmiştir.

Dünya Bankası ve diğer uluslararası kuruluşlar birtakim inisiyatifler hazırlayarak tekdüze bir maden kanunu oluşturarak ortak bir maden kanunu "lex minarele" oluşturma çabaları sürmektedir. Ancak ülkelerin madencilik sektöründen beklentileri, çevreciler ve diğer baskı grupları maden hukuku mevzuatının oluşumunda ve değiştirilmesinde önemli rol oynamaktadırlar. Maden hukuku mevzuatında yapılan değişiklik ve yenilikler, Mevzuat Etki Değerlendirilmesi adı altında ölçülemeye ve analiz edilmeye tabi tutulmaktadır. Çalışmamızda maden hukuku reformu olarak dikkate değer değişiklikler yapan ülke kanunlarıyla ilgili genel bir değerlendirmeye yer verilmiştir.

#### ABSTRACT

Developments in the world in mining law, the approach of state-run mining and encouragement of private sector mining have been a big factor. In addition, it may not be denied the effect of the concept of sustainable development that grew under the pressure of environmental in mining law reform. The reforms starting from Chile to Mexico and Peru as a south American Law Model is cited as an example.

The World Bank and the other international associations take some initiatives and endeavour preparing a unique mining law in the name of lex minarele. Nevertheless the expectations of governments from mining sector, environmentalist and the other pressure groups pretend a vital role on the formation and amendment of mining law regulations. The amendments and reforms on mining law regulations are subjected to be measured and analyzed in the name of Regulatory Impact Assessment. In our work may be found an overall evaluation about the laws from the countries which made influential changes about reform in mining law.

\* mt@mustafatopaloglu.av.tr • <https://orcid.org/0000-0002-4336-5216>

Bu bildiri 2016 yılında düzenlenen Türkiye 20. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı'nda yayınlanmıştır. / This paper was published in the 20th Coal Congress of Turkey held in 2016.

Bu makalenin tüm yayın hakları TMMOB Maden Mühendisleri Odası'na aittir © 2018 / Copyright © 2018 Published by UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey. All rights reserved.



## GİRİŞ

Maden hukuku tarihinde içinde yaşanan gelişmelerde, devletin bir tarafta madenleri kamusal mülkiyetine uygun olarak düzenleme düşüncesi ile diğer tarafta özel sektörün madencilik yatırımlarına özendirilmesi isteği arasında bir mücadele yaşandığı görülür. Özellikle Türkiye’de 1950 ve 1990 dönemi arasında yaşanan madencilik yasalarında yapılan değişikliklerde bu mücadelenin yansımaları net bir şekilde ortaya çıkmıştır. (Göğer, 1979)

Dünyada 1960 ve 1970 soğuk savaş dönemi madencilik endüstrisi için refah yıllarıdır. Bu dönemde aynı zamanda milliyetçilik düşüncesi artmış, kolonilerden ulus devletlere doğru bir dönüşüm yaşanmıştır. Gelişmekte olan ülkelerin çoğunda 1970’lerin ortalarından itibaren devlete ait maden şirketleri kurulmaya ve işletmeye başlamıştır. Bununla birlikte 1980’lerin ortalarından itibaren devlet tarafından yürütülen milli madencilik yöntemi sürdürülemez olmuştur. Devlet şirketlerinin arama ve inovasyona yeterli yatırımı yapmaması, ocaklarda eski teknolojileri kullanmaları ve artan işçilik maliyetleri de karlılıklarını ve pazar paylarının düşmesine neden olmuştur. Şili’den başlayarak 1980’den itibaren Meksika, Peru ve diğer ülkelerde maden kanunlarında yapılan değişikliklerde yeni trend veya eğilim, doğrudan devlet kontrolü yerine özel sektörü madencilik sektörüne yatırım yapmaya yönelik yaklaşımlar yerini almıştır. (Williams, 2012).

Zaman içinde maden kaynaklarının kamu/özel sektör tarafında rasyonel kullanımı yanında çevre hukukunun da dönüşümüyle sürdürülebilir kalkınma kavramı da etkili olmaya başlamıştır. Madencilikte gelişmiş ABD, Kanada, Avustralya gibi ülkeler ile Batı Avrupa ülkelerinde maden yatırımları bakımından çevreyle ilgili düzenlemeler, maden hukukundan daha kritik bir rol oynamaktadır. Bu ülkelerde yapılan çevreyle ilgili düzenlemeler, büyük ölçüde, olumsuz çevre etkilerinin azaltılmasına ve yeniden kazandırılmasına yönelmiştir (Williams, 2005). Madencilik sektörüyle ilgili birçok firma bu dönüşümü kolaylaştırmak ve yerleştirmek için birtakım isteğe bağlı kurallar (*codes of conduct*) oluşturmuşlardır. Bu kurallar, Birleşmiş Milletler ve Dünya Bankası gibi çok uluslu kuruluşlar tarafından geliştirilmeye çalışılan MMSD (*Mining, Minerals, and Sustainable Development Project*)

projesi gibi çalışmalarla paralellik göstermektedir (Dalupan, 2005). Dünya Bankası da madencilik, petrol ve doğal gaz sektörünün kalkınmada gelecek rollerine dikkat çeken “*Extractive Industries Review – EIR*” adlı bir çalışma başlatmıştır. Gerek MMSD gerekse EIR insiyatifleri, madencilik sektöründeki büyük aktörlerin sürdürülebilir kalkınma ile ilgili kendi reflekslerini yansıtmaya çabalarının ürünüdür. (Pring vd., 1999; Siegele, 2005).

Dünya Bankası ve diğer uluslararası kuruluşlar maden kanunu reformlarında model kanunlar hazırlanması ve örnek uygulamaların yaygınlaşması için yoğun çaba sarfetmektedirler. Dünya Maden Kanunların tek düze haline gelmesi ve giderek ortak bir maden kanunu “*lex minarele*” oluşumuna yönelik beklentiler artmaktadır. Bununla birlikte ülkelerin farklı hukuk ailelerinden olmaları, madencilikten bekledikleri yararlar ve çeşitli grup ve toplulukların beklentisi maden kanunlarında farklı yaklaşımların benimsenmesine neden olmaktadır. Öyle ki, madencilik sektörünün çok ciddi bir lobi gücüne sahip olduğu ABD’de çeşitli tasarımlar hazırlansa da 1872 tarihli Maden Kanunu’nu değiştirilmesi veya revizyona gidilmesi mümkün olmamaktadır. Zira maden işletmecileri kamusal arazileri çok düşük bedelle kullandıkları için bu yararlarını sınırlayacak olası maden kanunu değişikliğine karşı çıkmaktadırlar. (Bakken, 2008)

## 1. MODERN MADEN KANUNLARINDA YER ALAN YAKLAŞIMLAR

Modern maden kanunlarında yapılan reformlardan sonra üç temel unsurun varlığı göze çarpmaktadır (De Sa, 2005). Bunlar, sırasıyla, maden haklarının güvenliğinin sağlanması, şeffaf bir maden idaresinin oluşturulması, rekabetçi, adil ve istikrarlı bir mali rejimin gerçekleştirilmesidir.

### 1.1. Maden Haklarının Güvenliği

Hukuksal koruma sağlanan maden hakları, önce maden arama hakkı daha sonra da maden işletme hakkı olarak verilmektedir. Maden arama hakkına dayanarak maden varlığını saptayan her hak sahibi maden işletme ruhsatı veya imtiyazı alabilmelidir. Maden işletme hakkı verilirken, başvuru sahibinden yeterlilik veya başka kriterler aranmamalıdır. Son eğilimler takaddüm (öncelik)

hakkı olarak uygulama bulan “ilk gelen alır” (first come, first served) ilkesinin uygulanması yönündedir (De Sa, 2005; Morgan, 2002).

Maden haklarının mülkiyet hakkı gibi güçlü bir niteliğe sahip olması, onların kazanılması kadar, durdurulması ve iptal edilmesinin belirli kurallara bağlı kalmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda maden hukuku dizgesi, bir yandan maden hakkı sahiplerinin ruhsat veya imtiyaza sahip olmaktan doğan haklı beklentileri ile madenlerin işletilmesi ve korunmasından doğacak kamu yararı arasında denge kurmalıdır. Elbette ki devlet, ekolojik ve sosyal çevrenin korunmasındaki ve ekonomik kalkınmadaki kamu yararını gözetmelidir. Ancak, kamu idareleri, kalkınma planları veya arazi düzenlemeleri yaparken maden haklarını da dikkate almalıdırlar. Hukuki yapı, madencilik yatırım yapanlar için keyfi uygulamalardan uzak, önceden öngörülebilir bir ortam sağlamalıdır. (Omalu ve Zamora, 1999; Siac, 1999)

Bununla birlikte madencilikten etkilenen yerel toplumun durumunun iyileştirilmesi de son derece önemlidir. Bu düşünceden hareketle 1980'in ikinci yarısından itibaren yaklaşık 30'u aşkın ülke maden kanununda yerel toplumun geliştirilmesi programı kabul edilmiştir. Kamusal bir program niteliğinde yürütülen bu yeni politika ile madencilik yerel toplum üzerindeki olumsuz etkisi en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Bunun için söz konusu kanunlarda çevre ve sosyal sorumluluk projelerinin uygulamaya konulması, yerel halka ödenecek tazminat miktarının artırılması gibi hükümlere yer verilmiştir. (Dupuy, 2014)

Dünya'da aslında bir bakıma “ruhsat güvencesi” de denilebilecek maden haklarının güvenliğini en iyi sağlayan hukuki sistemin Peru'da kurulduğu ileri sürülmektedir. Adı geçen ülkede, maden imtiyaz sahipleri, yasada öngörülmüş takdir hakkından arındırılmış objektif kriterleri yerine getirdiği sürece haklarını sürdürebilmektedir (Omalu ve Zamora, 1999).

Peru ile birlikte Şili ve Bolivya, Arjantin ve bir ölçüde Meksika maden kanunları sürdürülebilir kalkınma bağlamında çok başarılı bulunmakta ve “Latin Amerika Maden Kanunu Modeli” adıyla Dünya Bankası tarafından bütün gelişmekte olan ülkelere örnek gösterilmiştir (Bastida, 2008).

Maden ruhsat veya imtiyazlarına tanına süre ve

bu süreyi uzatma (temdit) prosedürü de maden haklarının güvenliği ile yakından ilgilidir. Orta veya büyük ölçekte bir maden işletmesi için arama ve geliştirme faaliyetleri on yılı aşan süre gerektirmektedir. Arama aşamasının kısa tutulmasının maden işletmeleri için caydırıcı bir etki yaptığı açıktır. Sürenin kısa tutulması kadar, sürenin idarenin takdirine bağlanarak belirlenmesi de pek istenilen bir durum değildir. Zira büyük ölçekli madencilik faaliyetleri için uluslar arası finans kurumları sendikasyon kredisi verirken makul ve kesin süreli bir madencilik projesinin varlığını aramaktadırlar. Ancak maden varlığı belirlendiği halde onu atıl bırakılmasına izin verecek bir süre belirleme mekanizması da maden hukukunun kamuya yararlılık niteliğiyle bağdaşmaz. (Otto, 2005).

Maden haklarının güvenliği bakımından önemli olan diğer nokta, maden haklarının kolayca devredilebilmesi ve rehin-ipotek işlemlerine konu olabilesidir. Bu şekilde madencilik sektörüne yatırım yapan şirketler finans sorunlarını çözme olanaklarına kavuşacaklardır. Ruhsat veya imtiyaz devirlerinde kamu otoritelerinin takdir haklarının azaltılması, olası rüşvet olaylarına son vereceği gibi, ticari hayatın gerektirdiği sürati de sağlayacaktır. Şili'de maden hukukuyla ilgili işlemlerde idarenin yetkisi kaldırılmış ve bütün işlemlerin doğrudan mahkeme kararıyla yapılması zorunlu tutulmuştur (Bastida, 2008). Maden hakları üzerinde rehin ve ipotek hakkının kurulabilmesinin de bu hakların aynı hak ölçüsünde güçlendirilmesine bağlı olduğu açıktır.

## 1.2. Şeffaf-İşler Bir Maden İdaresi ve Uyumlu Çözüm Yöntemleri

Maden idareleri, madencilikle ilgili yönetmelik ve diğer düzenleyici işlem çıkarmak ve bürokratik işler olarak tanımlanan bireysel işlemler yapmak suretiyle maden hukuku uygulamasında önemli bir rol oynamaktadır. Madencilik izinlerinin verilmesi birçok kamu kurumunu ilgilendiren bürokratik işlemleri gerektirmektedir. Bu işlemleri yapacak ve organizasyonu sağlayacak ayrı bir “maden bakanlığı” kurularak tek elden yönetim (*one-stop agency*) ilkesinin yürürlüğe geçirilmesinin uygun olacağı ifade edilmektedir. (Omalu ve Zamora, 1999).

Gelişmekte olan ülkeler bakımından maden idaresinin yerinden yönetim ilkesine göre yapılandır-

rılmasının iyi bir yönetim örneği oluşturacağından söz edilmektedir. Özellikle madenin bulunduğu yerde işletmeden dolayı olumsuz etkilenen yerler için daha fazla söz hakkı verilmesi ve elde edilen gelirin dağıtımında bu bölgelere daha fazla pay ayrılmasına yönelik mekanizmalar oluşturulmalıdır. Bunun için merkezi idareden yerel ve bölgesel idarelere yetki devri yapılarak yetki ve sorumlulukları artırılmalıdır. Yine maden işletmesinden elde edilen vergi, devlet hakkı vb.gibi ödemeler yoluyla tahsil edilen gelirden merkezi idareden madenin bulunduğu yerel idareye doğru daha fazla aktarım yapılmalı; aynı zamanda yerel idarenin maden işletmelerinden elde ettiği fonu artırmalarına izin verilmelidir. Özellikle alt seviyede hükümetlere kiralardan ve maden işletmelerinden elde edilen gelirin paylaşılması bakımından Endonezya ve Filipinler uygulaması dikkate değerdir (Clark, 2005).

### 1.3. İstikrarlı Bir Hukuki Yapı ve Tahkim

Maden idarelerinin bazen karar verme sürecinde bazen de ticari anlamda maden işletmelerine müdahaleleri söz konusu olmaktadır. Özellikle maden işletmelerinin yıllık işletme projesi ve faaliyet raporu gibi belgeleri sunmaları istenerek bütün bunlar kamu yararı süzgecinden geçirilmektedir. Madencilikte kamu yararının bulunduğu kuşku- dan uzaktır. Ancak hukuki açıdan yapılan kamu yararı denetlemesi her zaman hukuk kitaplarında yazıldığı gibi ideal bir şekilde gerçekleşmemektedir. Bazen idareye bu yönde tanınan takdir hakkı sonu rüşvet uygulamalarına yol açabilecek keyfi uzatmalara ve belirsizliklere kadar gidebilmektedir. Bunu önlemek için öngörülen süreç son derece kısa ve belirli olmalıdır. Madencilğe yatırım yapan yerli ve yabancı firmalar idari değerlendirme sürecini önceden kestirebilmelidirler. Her ne kadar Şili gibi bazı ülkelerde ruhsat ve değerlendirme süreci idareden alınarak yargısal izin sürecine dönüştürülmüşse de, daha tarafsız olması beklenen yargıda da birtakım iltimasların olabilme ihtimali her zaman mevcuttur. (Omalu ve Zamora, 1999; Siac, 1999).

Hukuk devletinin gereklerinden biri de idarenin eylem ve işlemlerinin bağımsız yargı denetimine tabi olmasıdır. Bu bakımdan maden otoritelerince değerlendirme sürecinde verilen kararlar kesin

olmamalı ve bu kararlara karşı bağımsız ve tarafsız yargı organları nezdinde başvuru hakkı tanınmalıdır (Walde, 2008). Avustralya ve Zambia gibi bazı ülkelerde maden uyuşmazlıklarını çözmek için ihtisas mahkemeleri kurulmuştur. Bazı ülkelerde de maden hukukuyla ilgili davalar olağan mahkemelerde görülmekle beraber daha basit ve hızlı yargılama usulüne tabi kılınmıştır (Southalan, 2012). Türkiye’de tartışmalar (Tanrıver, 2010 ) olmakla birlikte madencilik konusunda uzman mahkemelerin oluşturulması için birtakım girişimler söz konusudur (Topaloğlu, 2013).

Madencilikte gelişmiş ülkelerde devlet kendisi veya kamu kurumları aracılığıyla uluslararası büyük maden şirketleriyle joint-venture anlaşmalarına girerek yaptıkları anlaşmalar uyuşmazlıkların tahkim yoluyla çözülmesi şartını koymaktadırlar. Özellikle maden bürokrasisinin takdir hakkının geniş olduğu hukuk sistemleri için uluslararası seviyede tahkim ve arabuluculuk sistemine başvurulması önerilmektedir (Morgan, 2002).

Türk hukuku açısından Yüksek Mahkeme Danıştay, idari uyuşmazlık niteliğindeki maden bürokrasisinin işlem ve kararlarına karşı tahkime gidilmesinin mümkün olmadığı görüşündedir (Topaloğlu, 2011).

### 1.4. Rekabetçi Adil ve İstikrarlı Bir Mali Rejim Oluşturulması

Geçmişte özellikle Fransızca konuşan ülkelerde her bir madencilik projesinin özelliğine göre karşılıklı görüşmelerle uygulanacak mali rejimi yatırım anlaşmasında belirleme anlayışı yaygındı. Ancak bu sistem oldukça zaman kaybına neden olması ve karşılıklı görüşmelerde her zaman anlaşmaya varılamaması yüzünden eleştirilmekteydi. Üstelik zaman içinde taraflar arasında çıkan uyuşmazlıkların tekrar yatırım anlaşmasını gözden geçirmeyi zorunlu kılması, madencilik yatırımları için caydırıcı bir unsur oluşturmaktaydı. (De Sa, 2005; Brewer, 2005)

Dünyadaki yeni eğilim, her olaya özgü yatırım anlaşması yapılması yönteminin terk edilmesi ve bunun yerine karşılıklı anlaşma gerektirmeyen açık bir mali rejimin yasalarda belirlenmesi yönündedir. İyi bir mali rejim, madencilik yatırımları için öngörülen bütün mali yükleri ülkenin yatırım

çekme kabiliyetini engellemeyecek şekilde açık ve kesin olarak belirleyen rejimdir. Vergi hukuku madencilik yatırımlarının özelliklerini dikkate almalı ve makul bir devlet hakkı, yatırım malları için düşük oranlı gümrük vergileri, arama masraflarının aktifleştirilmesi ve hızlandırılmış amortisman uygulaması öngörmelidir. (De Sa 2005; Omalu ve Zamora, 1999)

Bununla birlikte fiili uygulamalar, global yatırım ve proje finansmanının gereklerini karşılamaktan çok uzaktır. Devletler, tahsil kolaylığı düşüncesiyle dolaylı vergiler ve maktu devlet hakkı alınması uygulamasını devam ettirmektedirler. Aslında bu durum bir ülkenin genel durumunun ve vergi idaresinin organizasyonun yeterli olmadığına da bir göstergesidir. Madencilğe yatırılan sermayenin geri dönüşünün sağlanabilmesi için vergi, devlet hakkı ve diğer kamusal yükümlülüklerin işletme karı üzerinden alınması gerekir.

Konjonktürel gelişim, maden şirketlerinin büyük vergi mükellefi olmaları yönünde olduğu için, vergi idarelerinde madencilğe özgü özel ihtisas birimlerinin kurulması önerilmektedir. (De Sa 2005; Omalu ve Zamora, 1999)

Bazı ülkeler madencilik yatırımlarına cazibenin artırılması düşüncesiyle yatırım süresi boyunca mali mevzuat hükümlerinin sabitlenmesi konusunda maden kanunlarına hükümler koymaktadırlar. Her ne kadar bu hükümler, Devletin bütçe açığını kapatmak için vergi oranlarını artırma yetkisini kısıtlamakta ise de, maden şirketleri tarafından yatırımlarının karlılığını belirleyebilmelerini olanaklı kıldığından çok fazla rağbet görmektedir. Bazı ülkelerde yatırıma başladıktan sonra belirli bir süre boyunca maden işletmelerine vergi indirimleri tanınmaktadır. Ancak politik ve diğer düşüncelerle keyfi kullanılan idarenin takdir hakkının azaltılması vergi indirimlerinden ve vergi muafiyetinden daha güçlü bir teşvik olacaktır. (De Sa, 2005)

## 2. DÜZENLEYİCİ ETKİ ANALİZİ (REGULATORY IMPACT ASSESSMENT)

Düzenleyici Etki Analizi (DEA), yasal mevzuat ve politika değişikliklerinin analizine kullanılan bir süreçtir. DEA'nın asıl amacı, yeni yada değiştirilen yasal mevzuat hükümlerinin fayda, maliyet

ve etkisini araştırmak ve ölçmektir. Bu suretle karar vericilere muhtemel seçenekler ve bunların sonuçlarını değerlendirmede kullanılacak somut veriler ve genel bir çatı sunulmaktadır. Maden hukukunda kaynakların rasyonel kullanımı için oldukça fazla seçenek bulunmaktadır. İşte DEA, bu durumlarda hükümetlere kararlarının etki ve sonuçları hakkında en doğru bilgiyi edinebilecekleri verileri sağlamaktadır. (Southalan, 2012)

DEA, sadece yasal mevzuat değişikliklerinin değerlendirilmesinde değil aynı zamanda bir somut olayla ilgili başlangıç uygulamalarının belirlenmesine ilişkin idari yaklaşımların değerlendirilmesinde de kullanılmaya elverişlidir. Bunlar arasında uygulama genelgesi ve ilkeleri sayılabilir. (Southalan, 2012)

Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü – OECD, düzenleyici etki değerlendirmesine önem vermekte ve konuda üye ülkeleri teşvik etmektedir. OECD'nin bu konuda hazırlamış olduğu Referans Checklist'inden madencilik sektörünü etkileyecek yasal mevzuat değişikliklerinde DEA formatını belirlemek için yararlanılabilir (<https://www.oecd.org/gov/regulatory-policy/35220214.pdf>). Farklı hukuk sistemlerinin DEA formatlarının farklı olması gerekebilir. Hatta Referans Checklistin bazı bölümleri bazı durumlar için uygun olmasa da genel değerlendirme için fikir verebilir.

OECD'nin Referans Checklist'i aşağıdaki 10 sorudan oluşmaktadır:

- a) Sorun doğru olarak tanımlanmış mı?
- b) Hükümetin aksiyonu makul mu?
- c) Düzenleme hükümet aksiyonu için en uygun şekil mi?
- d) Düzenlemenin yasal dayanağı var mı?
- e) Bu aksiyon için hükümete yeterli seviye nedir?
- f) Düzenlemeden elde edilen yarar maliyeti makul kılıyor mu?
- g) Düzenleme açık, tutarlı ve ilgili tüm tarafları kapsıyor mu?
- h) Etkilerin dağılımı bütün toplum için şeffaf mı?
- i) İlgili tüm taraflar görüşlerini sunabilme fırsatına sahip olabildi mi?
- j) Düzenlemeye nasıl uyulacak?

DEA ilk defa 1981 yılında ABD’de ortaya çıkmış, ardından İngiltere ve OECD’ye üye ülkeler arasında yayılmaya başlamıştır (Ekici ve Çelik, 2006). Türkiye’de OECD’nin ve AB’nin teşvikleriyle DEA, ilk olarak 17 Şubat 2006 tarihinde yürürlüğe giren Mevzuat Hazırlama Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik ile yasal düzenlemeye kavuşmuştur. Buna göre, yıllık etkisi 30 Milyonu aşan kanun ve kanun hükmünde kararname için DEA yaptırılması zorunludur. Bu limitin altında kalan yönetmelik ve tüzükler dahil olmak üzere bütün düzenleyici işlemlere DEA yaptırılması Başbakanlığı takdirindedir.

### 3. DÜNYADA ÖRNEK MADEN KANUNU REFORMLARI

#### 3.1. Afrika

Afrika ülkelerinde son yıllarda yapılan maden kanunu ve düzenlemeleri çeşitli eğilimleri yansıtmaktadır. Genel algı, özellikle maden fiyatlarının yüksek seyrettiği yıllarda maden şirketlerinin çok kar ettiği ve buna karşılık devletlerin aynı oranda artan bu gelirden yeterince yarar elde edemediğidir. Bu düşünceden hareketle birçok Afrika ülkesinde maden sektöründen alınan vergiler ve devletin maden şirketlerinden aldığı zorunlu serbest hisse oranı yükseltilmiştir. Hatta bu konuda şirketlerden devlete zorunlu bedelsiz hisse vermek, yerel halkın kontrolüne bağlamak ve devletleştirme gibi çeşitli yaklaşımlar da görülmektedir. Hükümetler aynı zamanda mevcut sözleşme ve kanunlardaki değişiklik yasağı hükümlerini yeniden müzakere edecek yollar aramaktadırlar. (Williams, 2012; Gürses, 2011).

Maden kanunlarını ve düzenlemelerini değiştiren Afrika ülkelerinde görülmüştür ki, bu değişiklikler istihdamı artırmak ve yeni iş fırsatları yaratmak için tek başına yeterli değildir. Bu nedenle maden şirketlerine bu alanda yapılacak çok iş düşmektedir. Dünya Bankası, IMF ve Batılı verici ülkelerin öncülüğünde hazırlanan “yeni ekstraktivizm” olarak adlandırılan ekonomik politikalarla ülkenin kalkınması, refahın artırılması ve yoksulluğun azaltılmasında madencilik sektörünün motor vazifesi göreceği beklenmektedir. (Ayelazuno, 2014).

#### 3.2. Orta ve Güney Doğu Asya

Orta ve Güney Doğu Asya’da Çin ve Hindistan madencilik sektörü için büyük bir Pazar haline gelmiştir. Buna bir tepki olarak, bölgedeki diğer ülkeler, özellikle çok iyi finanse edilen Çin firmalarına karşı kendi milli maden endüstrilerini korumak için maden yasalarında korumacı hükümler öngörmüşlerdir. (Jones ve diğerleri, 2010; Turhan, 2014)

Kazakistan ve Endonazya’da yabancı sermaye piyasalarında satılmak yoluyla yabancılaşmayı önlemek için işletme ruhsatları ihale yöntemiyle verilmektedir. Moğolistan ve Endonazya’da vergiden kaçınmayı önlemek için maden şirketlerinin sermayesine devletin katılım zorunluluğu artırılmaktadır. (Williams, 2012)

Belirtilen üç Asya ülkesinde, yabancı sermaye birinci öncelikli değildir. Bu ülkeler daha ziyade maden şirketlerinin yerel istihdama, yerel işleme sistemine ve yerel refahın artmasına katkıda bulunmalarına önem vermektedirler. (Williams, 2012; Topaloğlu, 2012).

Çin Anayasasına göre devletin hüküm ve tasarrufu altında olan madenlerin kontrol ve denetimi Devlet Konseyine (Hükümet) aittir. Maden yataklarının aranması ve işletilmesi devlet kuruluşları eliyle yürütülse de, son zamanlarda Çin-Yabancı Sermaye Ortak Yatırım Teşebbüsleri kanalıyla da yabancı sermayeye izin verilmiştir. Yabancılar doğrudan dört grup madenden sadece üçüne başvurabilmektedirler. Son yıllarda yabancılar için sadece düşük tenörlü altın ve gümüş ruhsatlarına sahip olabilme kuralı esnetilmiştir. (Turhan, 2014)

#### 3.3. Avrupa

Avrupa Birliği (AB) 2011 yılında madenlerle ilgili stratejilerini de yansıtan Ham Madde İnsiyatifi (*Raw Materials Initiative*) hazırlayarak üyelerine postalamıştır.

(<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0025:FIN:en:PDF>). AB İnsiyatifi üç unsurdan oluşmaktadır:

- Üçüncü ülkelerde ham maddelere erişim açısından fırsat eşitliği sağlanmalı,
- AB’de hammadde arzının sürdürülebilirliği sağlanmalı,

c) Kaynak verimliliği artırılmalı ve geri dönüşüm teşvik edilmeli.

Kaynak zengini ülkelerde kapsayıcı büyüme ve sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması için yönetim ve şeffaflığın iyileştirilmesi, ticaret ve yatırım iklimi kadar önemlidir. Bunun için, AB Hammadde Politikasına ilişkin stratejisinde, ortak hükümetlerde madencilikte vergi rejiminin geliştirilmesi, gelirlerde ve sözleşmelerde şeffaflığın sağlanması, kalkınma projelerinde kullanılacak gelir kapasitesinin artırılması hususlarını sağlayacak reform programlarının geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Avrupa ülkelerinde son yapılan maden kanunu reformlarında ortak ve genel bir ilke ortaya koymak zordur. Ancak, bu reformlarda, kaynaklara erişim sağlanırken, sosyal ve çevre sorumluluğunu yerine getirilmesini sağlayacak mekanizmalar oluşturulmaya çalışıldığı genel olarak söylenebilir (Williams, 2012).

AB ülkeleri arasında en dikkate değer maden kanunu reformu 2011 yılında Finlandiya'da yapılmıştır. Yeni Fin Maden Kanunu, herhangi bir devlet hakkı öngörmemekte ancak devletin özel maden şirketlerinde azınlık hissedarı olabilmesine izin vermektedir. Ayrıca, devlete ait maden şirketleri aracılığıyla madencilik yapılmasının önü kapatılmıştır. Yeni Kanun'da madencilik faaliyetinden etkilenen taşınmaz sahiplerin hakları güçlendirilmiş ve ruhsat verilirken ÇED sürecine halkın katılımına daha fazla önem verilmiştir. Ayrıca, yerel yönetimlerin maden işletmelerini denetleme yetkileri daha da artırılmıştır. (Williams, 2012)

### 3.4. Latin Amerika

Latin Amerika'daki son gelişmeler iki ayrı eğilimi yansıtmaktadır. Bir tarafta popülist politikaların hakim olduğu Venezüella, Bolivya ve onlara sonradan katılan Ekvator yer almaktadır. Bu üç ülkede de özel sektöre sıcak bakılmamakta ve madenler devlet şirketleri aracılığıyla işletilmektedir. Çin'in devlet sermayeli şirketleri bu üç ülkede joint venture kurarak maden kaynaklarından nakit akışı sağlamak için çaba sarf etmektedirler (Williams, 2012).

Diğer tarafta Şili, Kolombiya, Meksika Peru ve Brezilya'da son dönemde yapılan maden kanunları, serbest pazarın kurallarını kavrayarak ve yatırım güvencesi sunarak oldukça rekabetçi bir ortam yaratmışlardır. Bunun sonucu olarak yabancı sermaye yatırımları bu ülkelerde zirve yapmıştır. Ancak Peru'da son dönemde popülist milliyetçi

hükümetin işbaşına gelmesiyle birlikte yerel toplumun karar verme sürecindeki etkisi ve devletin madencilik sektöründe yaratılan refah ve gelir üzerindeki kamusal kontrolünün artacağına ilişkin politika değişikliği beklenmektedir (Ossa, 2005; Veltmeyer ve Petras, 2014. ).

### 4. MADEN KANUN VE POLİTİKALARININ GLOBAL ÖLÇÜMLEMESİ

Fraser Enstitüsü, her yıl global olarak maden şirketleri açısından madenlere erişim, maden politikaları, vergi sistemi ve maden mevzuatındaki istikrar açısından yıllık değerlendirme yapmaktadır. Yatırım çekiciliği açısından değerlendirmede 2015 yılı açısından ilk sırayı Batı Avusturalya almaktadır. Saskatchewan (Kanada Eyaleti) ikinciliğini korumuş, Dünya'da yatırım için en çekici ülke olan Batı Avustralya, Nevada (ABD)'yi üçüncülüğe itmiştir. İrlanda onuncu sıradan dördüncülüğe yükselmiş ve Finlandiya beşinci sırada yer almıştır. (Fraser Institute, 2015)

Dünyada yatırım çekiciliği açısından maden potansiyeli ve politikaları üzerinde yapılan değerlendirmede en alt sırada Arjantin'in La Rioja Bölgesi bulunmaktadır. La Rioja'yı Venezüella, Honduras, Yunanistan ve Solomon Adaları izlemektedir.

Türkiye ise yatırım çekme endeksi bakımından 2015 yılında 109 ülke arasında 52.sırada yer almıştır. Türkiye 2012 yılında 14.sıradan son üç yılda izlenen madencilik ve hukuk politikaları sebebiyle bu kadar alt seviyelere düşmüştür. (Fraser Institute, 2015)

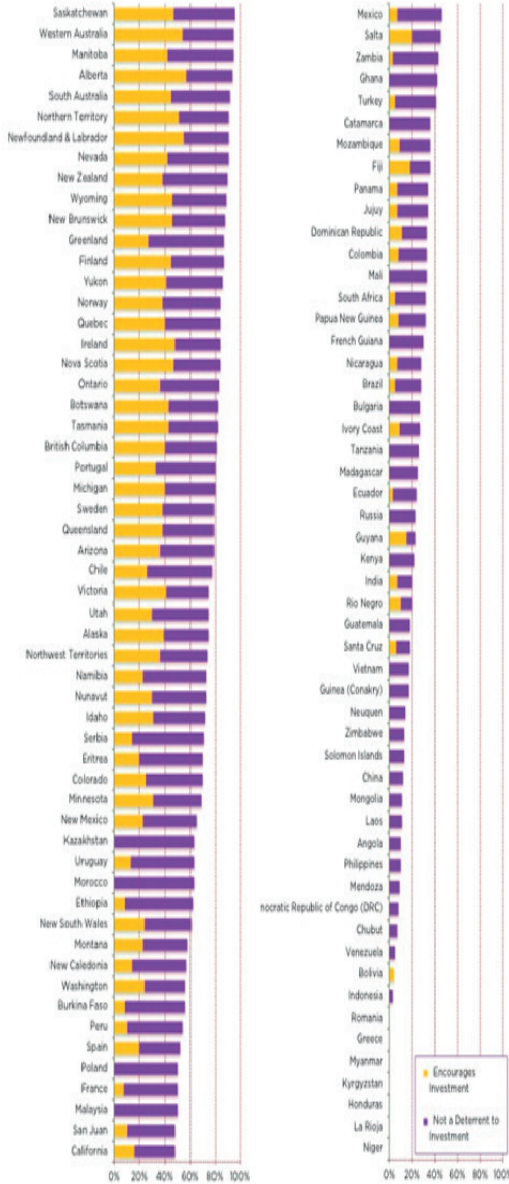
Çizelge 1. Yatırım Çekme Endeksi (Sıralama)

Yıllar	Türkiye/Dünya
2015	52/109
2014	73/122
2013	28/112
2012	14/96

Türkiye'nin hukuk sisteminin madencilik açısından yapılan global değerlendirme de yatırım çekiciliği ile benzer sonuçları vermektedir. Türkiye hukuk sistemi açısından ülkeler arasında 2015 yılında 61. Sıraya düşmüştür. Bir önceki yıl 54.sırada yer Türkiye'nin 2012 yılındaki sıralaması ise 43 idi. Hukuk sistemi açısından da yıldan yıla bir kötüleşme gözlenmektedir. (Fraser Institute, 2015)

Çizelge 2. Hukuk Sistemi Sıralaması.

Yıllar	Türkiye/Dünya
2015	61/109
2014	54/122
2013	43/112



Şekil 1. Hukuk Sisteminin Madencilik Yatırımları Açısından Sıralanması

## SONUÇ

Dünyada genel eğilim, madencilik sektörü açısından çekici bir yatırım ortamının sağlanmasıdır. Doğal olarak hukuki alt yapı ve maden bürokrasi-

sinin yaklaşımı çok önemlidir. Küresel olarak maden kanunu reformunun madencilik sektörüne nasıl olumlu etki ettiğinin en önemli örneği Finlandiya'dır. Fin Maden Kanunu 2011 yılında değiştirilmiş ve bu ülkeyi dünya sıralamasında onunculuktan ikinciliğe yükseltmiştir. Fin Maden Kanunu'nda devlet hakkı kaldırılmış, buna karşılık çevreye ve yerel topluma verilen önem ve haklar artırılmıştır. Finlandiya'da madencilik sektörünün bu kanun değişikliğinden hemen sonra önceki yıla göre %11 büyümesi dikkat çekicidir.

Bunun dışında madencilikte ilk üçte yer alan Avustralya, ABD ve Kanada'da yüz yılı aşan eski maden kanunları bulunmasına rağmen madencilikte sürdürülebilir kalkınma ilkelerine uygun olarak diğer mevzuatlarını yenilemişler ve madenci dostu yaklaşımlarıyla iyi bir yatırım ortamı sağlamışlardır.

Buna karşılık Afrika ülkelerinde Dünya Bankası ve diğer uluslararası aktörlerin teşvikiyle madencilik kalkınmada motor görevi görmesi beklentisiyle *New Ekstraktivizm* olarak adlandırılan ekonomik model uygulamaya konulmuştur. Ancak Afrika ülkelerinde devlet madencilik sektöründen daha fazla pay alabilmek için maden işletmelerinden alınan vergileri artırmak ve devletin maden şirketlerindeki zorunlu bedelsiz hisse oranını yükseltmek gibi yeni eğilimler içinde bulunduğu gözlemlenmektedir.

Türkiye'de madencilik alanında mevzuatta her on yılda bir değişimler olmaktadır. Bu değişikliklerde sürdürülebilir madencilik ilkelerinin amaç edildiği gerekçede belirtile de, modern eğilimlere aykırı bazı hükümler de bulunmaktadır. Maden Hukukuyla ilgili yasal mevzuatta ve diğer düzenleyici işlemlerde yapılan değişiklikler bütün olarak değerlendirildiğinde, Türkiye'yi dünya ülkeleri arasında daha üst seviyelere çıkarmak yerine sıra kaybetmesine yol açtığı görülmektedir.

Türkiye'de maden mevzuatı ve ilgili diğer mevzuat değiştirilirken gerçek anlamda Düzenleyici Etki Analizi yapılmalı ve gereği yerine getirilmelidir. Yapılacak yasal reformlarda ve idari uygulamalarda modern eğilimler ve ülke gerçekleri bir potada eritilerek bir denge sağlanmaya çalışılmalıdır. Ayrıca, AB stratejilerini yansıtan Fin Maden Kanunu ve yatırım iklimi açısından dünyada ilk sıralarda yer alan Avustralya ve Kanada Maden Kanunları ve ikincil düzenlemeleri mutlaka örnek kanun uygulaması olarak incelenmeye alınmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Ayelazuno, J.A., 2014. The 'New Extractivism' in Ghana: A Critical Review of its Development Prospects, *The Extractive Industries and Society*, No.1, 292-302.
- Bakken, G.M., 2008. The Mining Law of 1872, *Montana: The Magazine of Western History*, Vol.58, No.2, 70 -73.
- Bastida, E., 2005. Mineral Law: New Directions?, in: *International and Comparative Mineral Law and Policy – Trends and Prospects*, Kluwer Law International, The Hague, 409-423.
- Bastida, A.E., 2008. Mining Law in the Context of Development: an Overview, in: *International Competition for Resources –The Role of Law, the State and of Markets*, Dundee University Press, Dundee., 101-137.
- Brewer, K., 2005. Trends and Directions in Mining Taxation in the 2000s, in: *International and Comparative Mineral Law and Policy – Trends and Prospects*, Kluwer Law International, The Hague, 517-530.
- Clark, A.L., 2005. Government Decentralisation and Resorce Revenue Sharing, in: *International and Comparative Mineral Law and Policy – Trends and Prospects*, Kluwer Law International, The Hague, 549-567.
- Dalupan, M.C.G., 2005. Mining and Sustainable Devolpment: Insights from International Law, in: *International and Comparative Mineral Law and Policy – Trends and Prospects*, Kluwer Law International, The Hague, 149-168.
- De Sa, P., 2005. Mineral Policy: A World Bank Perspective, in: *International and Comparative Mineral Law and Policy – Trends and Prospects*, Kluwer Law International, The Hague, 493-504.
- Dupuy, E.K., 2014. Comminity Development Requirement in Mining Law, *The Extractive Industries and Society*, No.1, 200 - 215.
- Ekici, B. Çelik, M., 2006. Düzenleyici Etki Analizi: Analiz Süreci ve Uygulama, [http://www.todaie.edu.tr/resimler/ekler/0ca0187595200d2\\_ek.pdf?-dergi=Amme%20Idaresi%20Dergisi](http://www.todaie.edu.tr/resimler/ekler/0ca0187595200d2_ek.pdf?-dergi=Amme%20Idaresi%20Dergisi)
- EU, Tackling the Challanges in Commodity Markets and on Raw Materials, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0025:FIN:en:PDF>
- Ferrero, A., 2002. Relations Between Landowners and Mining Concesseionaries in Countries with a Highly Developed Mining Industry: How Can Legislation Help Both Sides' Interests? *Applied Earth Science*, 111(3), 183-188.
- Fraser Institute, Survey of Mining Companies 2015, <https://www.fraserinstitute.org/sites/default/files/survey-of-mining-companies-2015.pdf>
- Göğür, E., 1979. Maden Hukuku, Ankara Üniver-sitesi Hukuk Fakültesi Yayınları, Ankara, 329 s.
- Gürses, A.P., 2011. Türkiye'de ve Dünyada Uygulanmakta Olan Maden Kanunu ve Uygulama Yönetmeliklerinin Karşılaştırmalı Analizi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, s.110.
- Jones ve diğerleri, 2010. Kzakhstan Mining, *E&MJ Engineering and Mining Journal*, Global Business Report.
- Morgan, P.G., 2002. Mineral Title Management - the Key to Attaracting Foreign Mining Investment in Developing Countries, *Applied Earth Science*, 111(3), 165-170.
- OECD, The OECD Referans Checklist for Regulatory Decision-Making, <https://www.oecd.org/gov/regulatory-policy/35220214.pdf>
- Omalu M.K.ve Zamora A., 1999. Key Issues in Mining Policy: a Brief Comparative Survey on the Reform of Minig Law, *Journal of Natural Resources and Environmental Law*, 17, 13-38.
- Ossa, J.L, 2005 Recent Developments in Latin Amerikan Mining Legislation, in: *International and Comparative Mineral Law and Policy – Trends and Prospects*, Kluwer Law International, The Hague, 759 -768.
- Otto, J., 2005. Security of Mineral Tenure: Time-Limits, in: *International and Comparative Mineral Law and Policy – Trends and Prospects*, Kluwer Law International, The Hague, 353-373.
- Pring, G. ve Otto,J. ve Naito, K., 1999. Trends in International Environmental Law Affecting the Mimeral Industry, *Journal of Natural Resources and Environmental Law*, 17, 39-55
- Pring, G. ve Siegele, L., 2005. International Law and Mineral Resources Development, in: *International and Comparative Mineral Law and Policy – Trends and Prospects*, Kluwer Law International, The Hague, 127-146.
- Siac, C., 1999. Mining Law:Bridging the Gap Between Common Law And Civil Law System, [www.oas.org/legal/english/osla/Cecilia\\_Siac.doc](http://www.oas.org/legal/english/osla/Cecilia_Siac.doc),



Southalan, J., 2012. Mining Law & Policy – International Perspectives, The Federation Press, Sydney, 326 s.

Tanriver, S., 2010. Madencilik Alanında Bir İhtisas Mahkemesine Gerek Olup Olmadığı Hakkında Bazı Düşünceler, Ankara Barosu Dergisi, Yıl:68, S.2010/4, 199-207.

Topaloğlu, M., 2011. Maden Hukuku, Karahan Kitabevi, Ankara, 857 s.

Topaloğlu, M., 2012. An Evaluation of Turkish and Kazakh Mining Laws from the Perspective of Sustainable Development Principles, The Proceedings of International Conference On Eurasian Economies 2012, 11-13 October 2012, Almaty, KAZAKHSTAN, , 212-217.

Topaloğlu, M., 2013. Madencilik İhtisas Mahkemeleri, Türkiye Madenciler Derneği Sektörden Haberler Bülteni, Sayı:48, Ekim 2013, 56-58.

Turhan, M., 2014. Madencilikte Önemli Bazı Ü-

kelerde Maden Hukuku ile İlgili Mevzuat, Türkiye Madenciler Derneği Yayını, İstanbul, 207 s.

Veltmeyer, H., Petras, J., 2014. The New Extractivism: A Post Neo-Liberal Development Model or Imperialism of Twenty – First Century? Zed Books, 320 s.

Walde, T.W., 2008. The Rule of Law and The Resource Industries' Cycles, in: International Competition for Resources –The Role of Law, the State and of Markets, Dundee University Press, Dundee, 137-177.

Williams, J.P., 2005. Legal Reform in Mining: Past, Present and Future, , in: International and Comparative Mineral Law and Policy – Trends and Prospects, Kluwer Law International, The Hague, 37-70.

Williams, J.P., 2012. Global Trends and Turbulations in Mining Regulations, 30 J. Energy & Nat. Resources L., 391- 422.