



# TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI



26 - 27 KASIM 2015 / ANTALYA



## Madencilik ve ÇEVRE 2015 sempozyumu

### EDİTÖRLER

DR. YAKUP UMUCU

DR. SAVAŞ ÖZÜN

**V. MADENCİLİK VE ÇEVRE  
SEMPOZYUMU**



**26 -27 KASIM 2015  
ANTALYA**

**Editörler**

**Dr. Yakup UMUCU**

**Dr. Savaş ÖZÜN**

TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın yazılı izni olmaksızın bu e-kitabın tamamı ya da bir kısmı herhangi bir biçimde yayınlanamaz ve çoğaltılamaz.

ISBN : 978-605-01-0792-0

Baskı : Kamel Audio Kaset-CD & DVD Sanayi A.Ş.

Tel : (0 212) 4773580 (pbx)

İsteme adresi : TMMOB Maden Mühendisleri Odası  
Selanik Caddesi NO: 19/4 Kızılay / ANKARA

Tel : (0.312) 425 10 80 Fax: (0.312) 417 52 90

İnternet : [www.maden.org.tr](http://www.maden.org.tr)

e-posta : [maden@maden.org.tr](mailto:maden@maden.org.tr)

## SUNUŞ

Madenlerin ÷lke kalkınmasındaki yeri ve ekonomiye yaptığı katkılar hiç bir şekilde göz ardı edilemez. Madencilik ile ilgili işlemlerden vazgeçilmesi mümkün olmadığı için, madenlerin çıkartılmasında kamu yararı, çevreye duyarlı, mühendislik bilim ve tekniğinin uygulandığı ve yöre halkının onayı temel alınarak planlaması hedeflenmelidir. Ayrıca, işletme özelliğini kaybetmiş sahalarn tekrar kullanılabilirliin koşullara getirilmesine yoğunlaşmak gereklidir.

Madenler üretilirken, ÷lke yararı ve çevreyle uyum bir arada dşnlmek zorundadır. Bu anlayış çerçevesinde, madencilikten kaynaklanan çevresel etkiler ve yönetimi konusunda ilgili taraflarn karşılaştıkları sorunlarn tespiti ve çözümlerine yönelik Madencilik ve evre Sempozyumlarının katkısı her geçen gün daha da kavranmaktadır.

TMMOB Maden Mühendisleri Odası Isparta, Antalya ve Burdur İl Temsilciliklerinin İşbirliği ile düzenlenecek olan V. Madencilik ve evre Sempozyumu 2015'in Kasım ayında Antalya'da Sherwood Hotel'de gerçekleştirilmesi planlanmıştır.

İlk dördü farklı yerlerde gerçekleştirilen Madencilik ve evre Sempozyumu, sanayi ve niversite çevresinden artan bir ilgiyle geleneksel hale gelmiştir. Sempozyum kapsamında, sanayiden gelen katılımcılarla ve sektörde gerçekleştirilmiş olan araştırma sonuçlarının sunumları ile yararlı bir görüşme süreci sağlanacağı aşıkrdır. Sektör içerisinde yer alan kişi ve kuruluşlarn, çalışmalarını paylaşmak, sorunlara çözüm bulmak ve bu ortamı sektör çalışanları ve bilim insanları ile paylaşmak isteyen tüm kişi ve kuruluşları Madencilik ve evre Sempozyumu'na davet ediyoruz.

**TMMOB Maden Mühendisleri Odası  
Antalya – Isparta – Burdur İl Temsilcilikleri**

## ÖNSÖZ

Çevre kültürünü toplumda ve madencilik sektöründe yaymak amacıyla ilkinin 2005 yılında Ankara'da gerçekleştirdiğimiz Madencilik ve Çevre Sempozyumu'nun 2015 yılında beşincisini Madencilik ve Çevre Sempozyumu'2015 olarak sizlerle paylaşmaktan onur duyuyoruz.

İlk kez 2005 yılında dillendirdiğimiz ve toplumumuzda ve madencilik sektöründe yayılmasını umut ettiğimiz madencilikte çevre kültürü umarız ki bugün olması gereken noktaya gelerek madencilikle uğraşan tüm sektör, kişi kurumlarca ve devletinde içerisinde yer aldığı tüm kişiler tarafından özümsemiş ve bir yaşam felsefesi haline getirilmiştir.

27–27 Kasım 2015 tarihinde Antalya'da beşincisini gerçekleştirdiğimiz V. Madencilik ve Çevre Sempozyumu'2015, çevreye gönül veren, madencilik ile çevrenin birlikte olduğuna inanan siz değerli katılımcıların emeğinin ve gayretinin bir sonucudur.

Sempozyumu 13 Mayıs 2014 tarihinde Manisa'nın Soma İlçesi'ndeki kömür madeninde çıkan yangında hayatını kaybeden 301 maden şehidine ve 28 Ekim 2014 tarihinde Konya'nın Ermenek İlçesi'ndeki kömür madeninde su baskını sonucu hayatını kaybeden 18 maden şehidinin anısına atfediyoruz.

**Madencilik ve Çevre Sempozyumu'2015**  
**Sempozyum Yürütme Kurulu**

## MADENCİLİK VE ÇEVRE SEMPOZYUMU'2015

### ORGANİZASYON KURULU

TMMOB Maden Mühendisleri Odası Başkanı – AYHAN YÜKSEL

### YÜRÜTME KURULU

#### YÜRÜTME KURULU BAŞKANLARI

DR. YAKUP UMUCU – SALİH AKBOĞA

#### YAZMAN

İLTER DORUK BELİBAĞLI  
TARIK TUNAY

#### SAYMAN

OSMAN ERSOY

#### ÜYELER

DR. VEDAT DENİZ  
DR. SAVAŞ ÖZÜN  
DR. TAKİ GÜLER  
DR. NACİ EMRE ALTUN  
DR. ORHAN ÖZDEMİR  
DR. DOĞAN KARAKUŞ  
DR. ERDOĞAN KAYMAKÇI  
DR. MELİH GENİŞ  
DR. FEHİMAN ÇİNER  
MEHMET KARADENİZ  
BAHADIR YILMAZ  
HASAN ÜRESİN  
ZAFER ERGEN  
ALİ SAVRAN  
MUZAFFER YALÇIN  
MEHMET ÖZYURT  
UFUK DURU  
SANİYE AYNUR  
ŞEMSETTİN ULUTAŞ  
FUNDA AKEL

## **TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI YÖNETİM KURULU**

**Başkan** : Ayhan YÜKSEL  
**II. Başkan** : Hüseyin Can DOĞAN  
**Yazman** : Necmi ERGİN  
**Sayman** : Mehmet ÖZYURT  
**Üyeler** : Emre DEMİR  
Mehmet ZAMAN  
Emra ERGÜZELOĞLU

## **TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI**

### **ANTALYA İL TEMSİLCİLİĞİ**

Salih AKBOĞA

### **ISPARTA İL TEMSİLCİLİĞİ**

Dr. Yakup UMUCU

### **BURDUR İL TEMSİLCİLİĞİ**

Hasan ÜRESİN

## **DESTEKLEYEN KURULUŞLAR**

### **ALTIN SPONSORLAR**

KIRLIOĞLU KİMYA SAN. TİC. A.Ő.  
ADO GRUP  
TÜRKİYE KÖMÜR İŞLETMELERİ  
ETİ MADEN GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

### **GÜMÜŞ SPONSORLAR**

ANTALYA MERMER  
AYTAŐ AKIN MERMER  
BATU MERMER  
ÇOBANLAR MERMER  
İREM PATLAYICI MADDE DOÇ. TAŞ. MADEN MÜH. NAK.  
KARABULUT GRUP  
METAMER  
ONUR MERMER MADENCİLİK

### **BRONZ SPONSORLAR**

ADALYA MERMER  
AGRENET  
ALACER GOLD  
AKG GAZBETON İŐL.  
AS ÇİMENTO  
CEMİL ÖZGÜR A.Ő.  
ÇİFTAY İNŞAAT  
DEMİR EXPORT  
KALTUN MADENCİLİK  
KOZA ALTIN İŞLETMELERİ  
MFD MADENCİLİK  
KÜMAŐ MANYEZİT A.Ő.  
TOPÇUOĞLU MADENCİLİK  
YATAĞAN TERMİK ENERJİ ÜRETİM A.Ő.



## BİLİMSEL TEKNİK KURUL

PROF. DR. İBRAHİM ALP	<i>Karadeniz Teknik Üniversitesi</i>
PROF. DR. HÜRRİYET AKDAŞ	<i>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi</i>
PROF. DR. M.ÜMİT ATALAY	<i>Orta Doğu Teknik Üniversitesi</i>
PROF. DR. ATAÇ BAŞÇETİN	<i>İstanbul Üniversitesi</i>
PROF. DR. VOLKAN BOZKURT	<i>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi</i>
PROF. DR. FEHİMAN CİNER	<i>Niğde Üniversitesi</i>
PROF. DR. İLKNUR CÖCEN	<i>Dokuz Eylül Üniversitesi</i>
PROF. DR. VEDAT DENİZ	<i>Hitit Üniversitesi</i>
PROF. DR. HACI DEVECİ	<i>Karadeniz Teknik Üniversitesi</i>
PROF. DR. MURAT ERDEMOĞLU	<i>İnönü Üniversitesi</i>
PROF. DR. TAKİ GÜLER	<i>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi</i>
PROF. DR. HALİL İPEK	<i>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi</i>
PROF. DR. TURGAY ONARGAN	<i>Dokuz Eylül Üniversitesi</i>
PROF. DR. A.HAKAN ONUR	<i>Dokuz Eylül Üniversitesi</i>
PROF. DR. ALİ SARIŞIK	<i>Afyon Kocatepe Üniversitesi</i>
PROF. DR. ALİ UÇAR	<i>Dumlupınar Üniversitesi</i>
PROF. DR. HÜSEYİN YAVUZ	<i>Süleyman Demirel Üniversitesi</i>
DOÇ. DR. N.EMRE ALTUN	<i>Orta Doğu Teknik Üniversitesi</i>
DOÇ. DR. SELMA DÜZYOL	<i>Selçuk Üniversitesi</i>
DOÇ. DR. MELİH GENİŞ	<i>Bülent Ecevit Üniversitesi</i>
DOÇ. DR. CENGİZ KARAGÜZEL	<i>Dumlupınar Üniversitesi</i>
DOÇ. DR. DOĞAN KARAKUŞ	<i>Dokuz Eylül Üniversitesi</i>
DOÇ. DR. ORHAN ÖZDEMİR	<i>İstanbul Üniversitesi</i>
DOÇ. DR. OKTAY ŞAHBAZ	<i>Dumlupınar Üniversitesi</i>
DOÇ. DR. Ö.YUSUF TORAMAN	<i>Niğde Üniversitesi</i>
DOÇ. DR. METİN UÇURUM	<i>Niğde Üniversitesi</i>
DR. SERKAN ÇAYIRLI	<i>Niğde Üniversitesi</i>
DR. M.SUAT DELİBALTA	<i>Niğde Üniversitesi</i>
DR. CİHAN DOĞRUÖZ	<i>Dumlupınar Üniversitesi</i>
DR. BÜLENT HANER	<i>Bülent Ecevit Üniversitesi</i>
DR. ERDOĞAN KAYMAKÇI	<i>Bülent Ecevit Üniversitesi</i>
DR. SAVAŞ ÖZÜN	<i>Süleyman Demirel Üniversitesi</i>
DR. M. DENİZ TURAN	<i>Fırat Üniversitesi</i>
DR. YAKUP UMUCU	<i>Süleyman Demirel Üniversitesi</i>

## İÇİNDEKİLER

## SAYFA

SUNUŞ.....	I
ÖNSÖZ.....	II
ORGANİZASYON KURULU.....	III
YÜRÜTME KURULU.....	III
YÖNETİM KURULU.....	IV
DESTEKLEYEN KURULUŞLAR.....	V
BİLİMSEL TEKNİK KURULU.....	VI
İÇİNDEKİLER.....	VII
Madencilik Sektörü için Sürdürülebilirlik Kriterleri <i>E.D. Yaylacı, H.Ş. Düzgün</i> .....	1
Türkiye’deki Fosil-Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Sürdürülebilir Madencilğe Genel Bir Bakış <i>S. Top, H. Vapur</i> .....	15
Sürdürülebilir Gelişme Bağlamında Madencilik ve Çevre <i>D. Kocabağ</i> .....	30
Sürdürülebilir Mermer Madenciliği İçin Su Yönetimi Uygulamalarının Değerlendirilmesi <i>M. Özçelik, G. Sarp</i> .....	56
Maden Sahalarında Potansiyel Su Kalitesi ve Kirlilik Hafifletme Etkisini Hesaplayabiliyoruz mu? <i>C. Güneş, S. Tokgöz Güneş</i> .....	68
Çevre Mevzuatına Göre Madencilik Faaliyetine Başlama Koşulları, Çevresel İzinler <i>E. Doğutepe</i> .....	91
Asit Maden Drenajı Arıtma Yöntemlerinin Karşılaştırmalı İncelenmesi <i>M.S. Delibalta</i> .....	100
Artık Barajı, Macun ve Jeotekstil Malzeme Yöntemlerinin Maliyet Açısından Karşılaştırılması <i>A. Başçetin, O. Özdemir, D. Adıgüzel, S. Tüylü, E. G. Savaş, U. Çınar</i> ...116	
Niğde Kalsit İşletmelerinin Ekonomik ve Çevresel Boyutu Üzerine Bir Araştırma <i>M.S. Delibalta, F. Çiner</i> .....	130

Çorum Çimento Taş Ocağında Yapılan Patlatmaların Çevresel Etkiler Açısından Değerlendirilmesi <i>V. Deniz, O.T. Deniz</i> .....	144
Çorum Belediyesinin Taş Ocağında Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Yönel Açından Değerlendirilmesi <i>V. Deniz, O.T. Deniz</i> .....	159
Mekanize Tünel Açmada Kullanılan Katkılar ve Çevresel Etkilerinin Araştırılması <i>C. Doğruöz, A. Uçar, H. Akçakoca, C. Şensöğüt</i> .....	175
Mermer Madencilğinde Çevresel Etki Değerlendirmesi Sürecinin Gelişimi <i>B.G. Demir, A. Akbulut, N. Güngör</i> .....	189
Türkiye’de Arazi Kullanımı Dinamikleri ve Madencilik Sektöründe Yaşanan Mekansal Değişimler <i>A.Ç. Dikmen, A. Gül</i> .....	195
Madencilikte Çevre Mevzuatı ve ÇED Yönetmeliği Uygulamaları <i>E. Değerli, M.O. Güner</i> .....	211
Ovacık Altın Madeni Atık Barajı (Atık Depolama Tesisi) Kapatma Çalışmaları <i>P. Demirden, Y. Bayraklı, R. Günal</i> .....	233
Maden Projelendirme Süreçlerinde Bilişim Teknolojilerinin Rolü <i>T.E. Toptaş</i> .....	244
Urfa Taşı ve Mardin Taşının, Binalarda Yapı Elemanı Olarak Kullanılmasında Ekolojik Özelliklerinin Karşılaştırılması <i>A. Saruışık, P. Derin</i> .....	258
Bir Çevre Kirliliği ve Savurganlık Sorunu, Şiferton Gerçeği <i>B. Haner, S.Haner, Ö.Elitok</i> .....	278
Köyceğiz Yöresi Olivin Cevherinin Karakterizasyonu ve Çevresel Uygulamalar Yönünden Değerlendirilmesi <i>S. Aktürk, T. Güler</i> .....	288
Piritli Atıkların ve Atık Küllerinin Mikrodalga Kavurma ile Değerlendirilmesi <i>Y.İ. Tosun</i> .....	297

Gölbaşı (Isparta) Arsenik Mineralizasyonu Yakın Çevresindeki Sularda Arseniğin Araştırılması <i>S. Demer, Ü. Memiş, M. Aydemir</i> .....	308
Pomzanın Su ve Atıksu Arıtma Sektöründe Filtre Malzemesi Olarak Kullanımı <i>E. Kılınç Aksay, A. Akar, İ. Cöcen</i> .....	320
Feldspat Flotasyonunda Kullanılan Katyonik ve Anyonik Tür Toplayıcıların Miktar ve Ortam pH'sına Bağlı Bulanıklık Değişimlerinin İncelenmesi <i>S. Özün, U. Özdemir</i> .....	332
Ağır Metallerle Kirlenmiş Toprak ve Suların İyileştirilmesinde Adsorban Olarak Kullanılan Doğal Manyetitın Elektrokinetik Davranışı <i>M. Erdemoğlu, M. Sarıkaya</i> .....	343
Mermer Ocak Artıklarının Farklı Endüstri Alanlarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması <i>Y. Umucu, T. Tunay</i> .....	369
Kalsit Madenciliği Triyaj Artığının Agrega Olarak ve Kireç Üretiminde Değerlendirilmesi <i>M. Uçurum, Ü. Atıcı, Ö.Y. Toraman, S. Çayrlı</i> .....	382

# Madencilik Sektörü için Sürdürülebilirlik Kriterleri

## *Sustainability Criteria for the Mining Sector*

E.D. Yaylacı, H.Ş. Düzgün

*Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara*

**ÖZET** Madencilik faaliyetlerine konu olan kaynakların tükenen doğal kaynaklar olması ve madencilik sektörünün özellikleri nedeniyle madencilik ve sürdürülebilirlik çelişen iki kavram olarak değerlendirilebilmektedir. Madencilik faaliyetlerine bağlı olarak yerelde ortaya çıkan çevre ve toplum açısından olumsuz etkiler de bu iki kavramın çeliştikleri yönünde oluşan algıyı destekler niteliktedir. Öte yandan ülkelerin gelişiminde önemli rol oynayan doğal kaynak yönetiminin bir parçası olarak madencilik sektörü, sektörün sürdürülebilirliği açısından sürdürülebilirlik kavramına dayalı yaklaşımlar benimsemek durumundadır. Bu çalışmada madencilik sektörü ve sürdürülebilirlik kavramı arasındaki ilişki literatürde sunulmakta olan çalışmalar dikkate alınarak tartışılmıştır. Bunun için öncelikle genel anlamda sürdürülebilirlik kavramı üzerine odaklanılmış ve daha sonra bu kavramın madencilik sektörü özelinde ne ifade ettiği analiz edilmiştir.

Sonuç olarak, sürdürülebilirlik kavramının madencilik sektörü özelinde uygulamaya geçirilmesi için şu kriterlerin öne çıktığı belirlenmiştir: Yerelde oluşan olumlu sosyal etkilerin ve refahın uzun vadeli olmasının sağlanması, olası ödünleşimlerin (trade-offs) ve bunlarının etkilerinin ne olacağına dair güvenilir bilgiye sahip olunması ve faaliyetlere bağlı olarak ortaya çıkacak maliyet ve kazançların dengelenmesi için etkin doğal kaynak yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi.

**ABSTRACT** Mining and sustainability might be considered as two conflicting subjects due to the non-renewable and depleting nature of the resources that are subject to mining operations as well as due to the characteristics of the mining

operations. Besides these, the negative impacts of mining operations on local communities and on the environment are other important factors, which contribute to the argument that these two issues are opposing and counterintuitive. On the other hand, as a part of natural resource management, which plays critical role in countries development, the mining sector is required to develop sustainable mining practices for the sake of sector's sustainability. In this study, the sustainability concept is firstly focused and afterwards what the term means for the mining sector is discussed in detail.

As a result of these discussions, creating long-lasting social well-being, obtaining comparable information on possible trade-offs and their consequences and balancing costs and benefits through effective natural resource management are determined as the key criteria in order to initiate sustainability in the mining sector.

## 1. GİRİŞ

Madencilik faaliyetleri doğası gereği başta çevre olmak üzere, toplum ve ekonomiler üzerinde olumlu ve olumsuz etkiler yaratmaktadır. Olumlu ve olumsuz etkilerin zaman içinde sürekliliği, etkilediği alan ve yoğunluğu ise uygulanmakta olan madencilik operasyonun ve uygulanmakta olan yerin özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir (Bell ve Donnelly, 2006). Söz konusu bu etkilerin, özellikle çevresel etkilerin, önemli bir kısmı açık şekilde paydaşlar tarafından gözlenebilmektedir.

Örneğin, Kirsch (2009) açık ocak madencilik faaliyetlerine bağlı olarak yer değiştiren toprağın diğer insan kaynaklı faaliyetlere göre çok daha fazla olduğunu belirtmektedir. Madencilik sektörü ve etkilerine diğer bir örnek ise cevher özellikleri ve piyasa koşullarındaki değişime bağlı olarak gerçekleştirilen madencilik faaliyetleri nedeniyle sınırlı bir sürede hızla oluşan olumlu etkilerin sonrasında yerel ölçekte çok ciddi olumsuz çevresel, sosyal ve ekonomik etkilerin ortaya çıkmasıdır (Gibson, 2006a).

Bu ve benzeri yorum ve örneklere bağlı olarak paydaşlar, su, balıkçılık, orman v.b. diğer doğal kaynak yönetimlerindeki sektörlerle göre madencilik sektörünün sürdürülebilirlik açısından olumlu katkı sağladığına daha mesafeli yaklaşmaktadırlar (Worrall ve ark., 2009). Özellikle madencilik sektörü dışındaki paydaşların, yerel halk, sivil toplum kuruluşları vb., sürdürülebilirlik kavramının madencilik sektöründe uygulanabilirliği veya sürdürülebilirliğin madencilik

sektörü ile desteklenmesi konusuna belirgin şekilde ön yargıyla yaklaştıkları görülmektedir.

Başta çevresel olmak üzere sosyal ve ekonomik olumsuz etkilerinin belirgin olması nedeniyle birbiri ile çelişen iki kavram olarak değerlendirilen madencilik sektörü ile sürdürülebilirlik, yatırımcı ve düzenleyici karar-vericiler tarafından gerçekleştirilen çalışmalar ile entegre edilmeye çalışılmaktadır. Bunun önemli bir nedeni sektörün faaliyetlerini yürütebilmesi ve projelerin hayata geçirilebilmesi amacıyla ihtiyaç duyulan “sosyal lisans” olduğu da belirtilmektedir (Worrall ve ark., 2009; Gibson, 2006a).

Madencilik sektörü faaliyetlerinin uygulanabilmesi için faaliyetlere bağlı çevresel etkilerin neler olacağı ve bu etkilerin nasıl yönetileceği karar-alma süreçlerine entegre edilmektedir. Bunun için farklı araçlar ve yöntemler kullanılmaktadır. 1970’lerin başından beri yaygın şekilde kullanılmakta ve üzerinde çalışmalar yürütülmüş olan araçların başında Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) gelmektedir (Wood, 1995; Kiss ve Shelton, 1997; Hens, 1998; Glasson ve ark., 2002; Dutta ve ark., 2004; Vanclay, 2004).

1992 yılında Birleşmiş Milletler (BM) tarafından organize edilen Çevre ve Kalkınma Konferansı, diğer adıyla Dünya Zirvesi, neticesinde sürdürülebilirlik kavramının geniş bir çerçevede tartışılması ile de başta gelişmiş ülkeler olmak üzere birçok gelişmekte olan ülkede de ÇED uygulanması zorunlu hale gelmiştir (Lee ve George, 2003).

Ayrıca, bu zirveyi takip eden süreçte doğal kaynakları tüketen sektörler ile sürdürülebilirlik kavramlarının entegre edilebilmesi açısından sınır ötesi ve toplam etkinin değerlendirilmesi, paydaşların çevresel bilgiye erişimi, karar-alma süreçlerine halkın etkin katılımı ile politika, plan ve program seviyelerinde etki analizinin uygulanması gibi konuların öncelik kazandığı görülmektedir.

Fakat bu alanda çalışmalar yapılmakla birlikte madencilik sektörü özelinde sürdürülebilirlik kavramının tanımlanması, ölçülmesi ve etkin şekilde uygulanması araştırmacılar açısından hala oldukça karmaşık bir konu olarak değerlendirilmektedir (Hilson ve Basu, 2003; Kirsch, 2009).

Bu durum dikkate alındığında, çalışmanın amacı madencilik sektörü ve sürdürülebilirlik kavramı arasında ilişkiyi literatürden elde edilen bilgi ve verilere dayalı olarak analiz etmek ve madencilik sektörü açısından sürdürülebilirlik kriterlerini belirlemektir.

Bunun için Bölüm 2.1’de genel anlamda ve doğal kaynaklar açısından sürdürülebilirlik kavramına odaklanılmaktadır. Bölüm 2.2’de sürdürülebilirlik kavramının madencilik sektörü özelinde ne ifade ettiği tartışılmaktadır. Çalışmanın

sonuç bölümünde (3.Bölüm) gerçekleştirilen bu değerlendirme neticesinde elde edilen sonuçlar sunulmakta ve tartışılmaktadır.

## **2. MADENCİLİK VE SÜRDÜRÜLEBİRLİK**

### **2.1. Sürdürülebilirlik Kavramı**

Sürdürülebilirlik kavramı, 1972 yılında Stockholm 'da gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler Beşeri Doğa Konferansı'nda "dünyayı sadece şimdiki değil gelecek nesiller için de insan hayatına uygun bir yer" olarak kalması görüşü ile belirginleşmeye başlamıştır (Ward ve Dubos, 1972; Kirsch 2009, s.89'da). Bu hali ile sürdürülebilirlik tanımında insanoğlu tarafından gerçekleştirilen faaliyetler, özellikle endüstrileşme kaynaklı kirlilik, neticesinde oluşan çevresel hasara odaklanılmaktadır (Adam, 2001; Kirsch 2009, s.89'da).

Fakat bu terim daha sonraki yıllarda gerçekleştirilen konferans ve çalışmalar neticesinde kalkınma ögesi ile birlikte anılmaya ve ilişkilendirilmeye başlanan bir değişim geçirmiştir (Kirsch, 2009). Bu çalışmalardan ilki Uluslararası Doğanın Korunması Birliği tarafından 1980 yılında yayımlanan Dünya Koruma Stratejisi belgesidir (Kirsch, 2009). Bu belge ile sürdürülebilirlik kavramı 'koruma-merkezli' bir yaklaşım ile ekonomik ve çevresel kaygıların dengelenmesine yönelik bir çerçeveye oturmuştur (Reed, 2002: Kirsch 2009, s.89'da).

Sürdürülebilirlik ve kalkınma kavramı 1980 yılından itibaren birlikte anılmaya başlamasına rağmen 'sürdürülebilir kalkınma' 1987 yılında yayımlanan ve Brundtland Raporu olarak bilinen Ortak Geleceğimiz Raporu ile geniş kitleler tarafından bilinir olmuştur. Söz konusu rapor BM Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED) için hazırlanmış ve sürdürülebilir kalkınma teriminin daha fazla 'insan ve eşitlik merkezli' bir içerik kazanmasına neden olmuştur (Reed, 2002: Kirsch 2009, s.89'da).

1987 yılında Brundtland Raporu'nda "Sürdürülebilir kalkınma, gelecek nesillerin ihtiyaçlarına cevap verme yeteneğini tehlikeye atmadan insanlığın kendi mevcut ihtiyaçlarını karşılayabilmesine olanak verilmesi" (Birleşmiş Milletler, 1987, s.41) olarak tanımlanmıştır. Hilson ve Basu'ya (2003) göre bu tanım söz konusu kavramın uygulamaya geçirilmesi için sağlam bir altyapı sunmamasına rağmen insan kaynaklı faaliyetlerin bu kavram ile çelişmesini engellemeye yönelik politika ve yasal mevzuat gibi düzenlemelerin gerçekleştirilmesine yetecek dayanak sağlamaktadır.

Sürdürülebilir kalkınma 1990'larda özellikle 1992 yılında BM tarafından organize edilen Çevre ve Kalkınma Konferansı, diğer adıyla Dünya Zirvesi,



neticesinde ‘eşitlik merkezli’ yaklaşımdan uzaklaşarak ‘büyüme merkezli’ bir çerçeveye oturmaya başlamıştır (Reed, 2002; Kirsch, 2009, s.89’da).

Bu durum Kirsch (2009) tarafından biyolojik çeşitliliğin korunması yerine belirli daha küçük alanların ‘koruma alanları’ olarak belirlenmesi ve korunmasına yönelik faaliyetlere sebep olduğu görüşü ile eleştirilmektedir. Hatta kalkınma hedefinin gerçekleştirilmesi için belirlenen sınırlı ‘koruma alanları’ dışında tüm dünyanın sınırsızca kullanıma açıldığı görüşü ortaya atılmıştır (Kirsch, 2009, s. 89-90).

Daha sonraki yıllarda gerçekleştirilen çevre koruma ve sürdürülebilirlik kavramının uygulamaya geçirilmesi açısından 1993 yılında yürürlüğe giren Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi ve 1997 yılında atmosfere salınan karbondioksit gazlarının sınırlandırılmasına ilişkin imzalanan Kyoto Protokolü gibi uluslararası adımlar atılmıştır.

Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) öncülüğünde ilk çalışmalarına 1988 yılında başlanan Biyolojik Çeşitlilik Konvansiyonu (CBD), biyolojik çeşitliliğin korunması, bileşenlerinin sürdürülebilir şekilde kullanılması ve genetik kaynaklardan sağlanan faydanın adil ve eşit paylaşımını sağlamayı amaçlamaktadır (SCBD, The Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 1992).

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Konvansiyonu (UNFCCC) ile tarafların atmosfere salınan sera etkisi yaratan gazların sınırlandırılmasına ilişkin Kyoto Protokolü 1997 yılında hazırlanmış ve ancak 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. Yürürlüğe girdikten yedi yıl sonra süresinin bitmesi ile 2012 yılında gerçekleştirilen uzatma anlaşması ile 2020 yılına kadar uzatılmıştır (UNFCCC, 1997).

Kısaca, 1972 yılında Stockholm’da gerçekleştirilen konferans ile tartışılmaya başlanan sürdürülebilirlik kavramı, 1992 yılında Rio de Janeiro’da düzenlenen Dünya Zirvesi ve daha sonra da 2002 yılında düzenlenen Johannesburg Zirvesi ile uygulamaya yönelik faaliyetlerin hayata geçirilmeye çalışıldığı BM faaliyetleri olmuştur (BM, 2002).

Bu faaliyetlerden biri olan BM tarafından belirlenen ve Johannesburg Zirve Deklarasyonu’nda da atıfta bulunulan Milenyum Kalkınma Hedefleri (Millennium Development Goals) 2000-2015 yılları arasında gerçekleştirilmesi için BM tarafından belirlenmiş sekiz hedefi içermektedir. Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması ve kalkınma için işbirliği dışındaki hedefler yoksulluk ve sağlık temalarını kapsamaktadır (BM, 2015).

Yukarıda belirtilen 30 yıllık süreç dikkate alındığında sürdürülebilirlik tanım ve kapsamının ekonomi ve ekoloji arasındaki ilişki ve dengeden, kalkınma ve insan

merkezli bir çerçeveye kaydığı görülmektedir. Bu değişim ile doğal (ekolojik) sermayeye odaklı bir yaklaşımdan; bu kaynakların kullanılması sonucunda yaratılan faydaya dayalı insan veya üretilmiş sermayeye odaklanan yani bir çerçevenin oluştuğu belirtilmektedir.

Bu durum Kirsch (2009) tarafından güçlü sürdürülebilirlik tanımından zayıf sürdürülebilirlik tanımına doğru bir değişim olarak yorumlanmaktadır. Bu yorum, Ekins ve ark. (2003), Neumayer (2003) ve Dedeurwaerdere (2014) tarafından gerçekleştirilen zayıf ve güçlü sürdürülebilirlik tartışmalarıyla da desteklenmektedir.

Farklı tanım ve odakların olduğu görülen sürdürülebilirlik kavramı her ne kadar tüm paydaşları tatmin edecek şekilde uzlaşmamış olmasına rağmen Bell ve Morse (1999, Moles ve ark., 2008, s.145'de) tarafından doğal kaynakları ilgilendiren çerçevede, çevresel (ekolojik), sosyal ve ekonomik öncelikleri kapsayacak şekilde genel bir tanım olarak şu şekilde ifade edilmiştir;

*“Sürdürülebilirlik; birbirleri ile iç içe geçen üç bileşen,*

- *doğal ekosistem ve kaynakların korunması,*
- *ekonomik üretkenlik ve de*
- *istihdam, barınma, eğitim, sağlık gibi sosyal altyapının sağlanması, arasındaki dinamik dengedir.”*

Her ne kadar herhangi bir sektör için verilmese de bu tanım sürdürülebilirlik kavramının sektörler, özellikle doğal kaynaklar ile doğrudan ilişkili olanlar, açısından dikkate alınması gereken temaları ifade etmesi açısından oldukça faydalıdır. Yukarıda sıralanan sürdürülebilirlik ile ilgili tartışmalar ve tanımlar çerçevesinde madencilik sektörü açısından sürdürülebilirlik çerçevesi ve sürdürülebilirlik kriterleri Bölüm 2.2’de tartışılmaktadır.

## **2.2. Madencilik Sektörü Açısından Sürdürülebilirliğin Çerçevesi**

Madencilik sektörü faaliyetleri çevre, sosyal yapı ve ekonomi üzerinde olumlu ve olumsuz etkiler yaratmaktadır (Giurco ve Cooper, 2012; Düzgün ve Demirel, 2011; Franks ve ark., 2010). Bu etkilerden olumsuz olanları çoğunlukla çevre ve sosyal yapı ile ilgili olmakla birlikte yerel ölçekte görülmektedir. Diğer taraftan olumlu etkilerin önemli bir kısmı ekonomik çerçevede ulusal ölçekte ortaya çıkmaktadır. Bu özellikler nedeniyle olumsuz etkiler olumlu etkilere göre daha öncelikli ve belirgin şekilde özellikle yerel paydaşlar tarafından fark edilmektedir (Chikkatur ve ark., 2009).

Bunların yanı sıra madencilik sektörü tükenen doğal kaynakların ekonomiye kazandırdığı bir sektördür. Bölüm 2.1’de tartışıldığı gibi doğal kaynakların

madencilik faaliyetleri neticesinde üretilen sermayeye dönüştürülmesi sırasında üretimi yapılan mineral veya metal dışındaki diğer ekolojik kaynaklarda, örneğin toprak, su ve biyolojik çeşitlilik gibi, oluşan kaybın ortadan kaldırılması, en aza indirilmesi veya doğaya yeniden kazandırma faaliyetleri neticesinde bu kaynakların mümkün olduğunca eski değerine dönüştürülmesi için gerekli maliyetlerin üretilen sermayenin maliyetine dahil edilmesi, söz konusu faaliyetlerin ekonomik açıdan uygulanabilirliğini etkileyecek faktörlerdir.

Ekolojik kaynakların yanı sıra, sosyal, tarihi ve kültürel nitelik taşıyan ve madencilik faaliyetleri nedeniyle olumsuz etkilenecek veya yok olacak bileşenlere bağlı oluşacak ödünleşimlerin belirlenmesi ve objektif şekilde ölçülmesi konusu da madencilik sektörü açısından sürdürülebilirlik çerçevesinde önemli ve tartışmalı konuların başında gelmektedir.

Bu gibi sebeplerden dolayı sürdürülebilirlik ve madencilik bir biri ile çelişen iki kavram olarak değerlendirilmektedir (Kirsch, 2009). Ayrıca sürdürülebilirliğin sektörel karar-alma süreçlerine ölçülebilir şekilde entegre edilememesi de bu kavramın, maden şirketlerinin faaliyetlerini sorunsuz uygulayabilmeleri için 'çevreci bir göz boyama olarak kullandıkları bir kavram' değerlendirilmesinin yapılmasına neden olmaktadır (Vanclay, 2004; Kirsch, 2009).

Bu gerekçeler nedeniyle sürdürülebilirlik kavramının madencilik sektörü açısından ne ifade ettiğinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu çerçevede Laurence (2011), Franks ve ark., (2010); Giurco ve Cooper (2012), Worrall ve ark., (2009) ve Gibson (2006a) madencilik sektörü karar-alıcıları arasında sürdürülebilirliğin sağlanmasına katkı sağlayacak ve sürdürülebilirliğin uygulamaya geçirilmesi için öncelikli konular ile ilgili farkındalığın oluştuğunu belirtmektedirler.

Bu öncelikli konular bu araştırmacılar tarafından şu şekilde sıralanmaktadır:

- Madencilik sektörü, faaliyetlerinin özellikle yerel ölçekte sebep olduğu olumsuz etkileri ve riskleri ortadan kaldırmalı veya en aza indirmeli,
- Yerel paydaşlar açısından uzun dönemli olumlu sosyal etkilerin yaratılması garanti etmeli ve de;
- Sektörün güvenirliliğini ve itibarını yerel paydaşlar, düzenleyici ve yatırımcı aktörler nazarında iyileştirmelidir.

Sektör özelinde sürdürülebilirlik ile ilgili farkındalık 1990'ların sonlarından itibaren küresel ölçekte madencilik sektörünün önde gelen firmaları, bölgesel ve uluslararası kuruluşlar tarafından gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde oluşmuştur (Hilson ve Basu, 2003; Azapagic, 2004; Laurence, 2011; Gibson, 2006a).

Bunlardan bazıları madencilik sektörü ve sürdürülebilirlik konusunda belirli ülke ve bölgelere özel çalışmalardır. Bu konudaki bazı örnekler Kanada (Ford,

2005), Hindistan (Hindistan Maden Bakanlığı ve ERM, 2011) ve Avrupa Birliği'dir (AB) (EUROMINES, 2012). Diğer çalışmalar ise madencilik sektörü faaliyetlerinin sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi ve izlenmesi ile sürdürülebilirlik kavramının sektörel faaliyetlere entegre edilmesi için gerçekleştirilen araştırmalardır, örneğin Warhurst (2002).

Bunun dışında madencilik faaliyetlerine sürdürülebilirliğin entegre edilmesi veya bu entegrasyonun ne kadar sağlandığının ölçülmesi için tanımlanan çerçeve ve yöntemler de literatürde bulunmaktadır. Bunlara örnek, Azapagic (2004) ve International Council on Mining and Metals (Uluslararası Madencilik ve Metal Konseyi) (ICMM) tarafından hayata geçirilen Global Reporting Initiative (Küresel Raporlama Girişimi) (GRI, 2011) verilebilir.

Bu çalışmalar detaylı incelendiğinde farklı karar-alma seviyelerinde madencilik sektörü açısından sürdürülebilirlik kriterleri ve çerçevesinin neler olduğunun tartışıldığı görülmektedir (Giurco ve Cooper, 2012). Bu çalışma ve tartışmalar dikkate alınarak madencilik sektörü açısından belirlenen sürdürülebilirlik kriterleri şunlardır;

- Olumlu sosyal etkilerin ve oluşan refahın uzun vadeli olmasının sağlanması,
- Olası ödünleşimlerin ve bunlarının etkilerinin ne olacağına dair güvenilir bilgiye sahip olunması ve bu bilgi kullanılarak ödünleşimlerin karşılaştırılması ve de
- Maliyet ve kazançların dengelenmesi için etkin doğal kaynak yönetiminin gerçekleştirilmesidir (Yaylacı, 2015).

Öncelikle sektörün tükenen kaynaklara dayalı olarak üretim gerçekleştirmesi ile bu kaynakların erişilmesi için özellikle son on yılda çevre ve doğal kaynaklar açısından hassas bölgelerde faaliyetlerin arttığına dikkat çekilmektedir. Bu durum gerek madencilik ve sürdürülebilirlik ilişkisinin çelişkili bulunduğu, gerekse de madencilik sektörü ve faaliyetlerinin sürdürülebilirliği desteklediğinin tartışıldığı çalışmalarda belirtilen ortak bir noktadır.

Bu durum iki sebepten önemsenmektedir. Birincisi söz konusu rezervlerin sınırlı olmaları ve belirli bir süre içinde tükenecek olmalarıdır. İkincisi ise operasyonların kırsal ve çevresel hassasiyete yüksek bölgelere doğru kaymasıdır.

Madencilik faaliyetleri rezerv ve piyasa özelliklerine göre belirli bir süre için uygulanmaktadır. Hem rezerv özellikleri hem de piyasa koşulları mümkün olabilecek en uygun şartları sağlasa bile tükenen bir kaynak işletildiği için tüm maden operasyonlarının bir ömrü vardır. Bu sürenin tamamlanması ile söz konusu işletme faaliyetlerine son verilir ve şirket söz konusu alanı yasal mevzuata göre gerekli kapatma ve doğaya yeniden kazandırma planını uygulayarak terk eder.

Madencilik faaliyetleri süresince yerelde madencilik sektörüne dayalı olarak oluşan yeni işletme ve sektörlerde, örneğin inşaat, servis, lojistik, emlak piyasası, tamamen madencilik faaliyetlerine bağlı olarak varlıklarını sürdürür (Azapagic, 2004). Faaliyetlerin sona ermesi ile söz konusu sektörler ve bu sektörlerde çalışan yerel halk olumsuz etkilenirler.

Ayrıca yerelde madencilik sektörü ile doğrudan veya dolaylı ekonomik fayda sağlayanlar ile diğerleri arasında gelir farkları belirgin şekilde oluşmaya başlayabilir (Kotey ve Rolfe, 2014). Bu durum yerelde işletme süresince ve sonrasında sosyal ve kültürel olumsuzlukların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir.

Maden arama ve işletilme faaliyetleri her geçen gün daha kırsal, çevresel ve ekolojik olarak daha hassas bölgelere doğru kaymaktadır. Bu faaliyetler kapsamında toprak ve su kaynakları ile arazi kullanımında oluşan değişiklikler yerelde önemli olumsuz etkiler ortaya çıkartmaktadır (Yaylacı, 2015). Bu etkiler ekolojik ve doğal kaynakların zarar görmesinin yanı sıra, yerel geleneksel ekonomik faaliyetlerinde, örneğin tarım, balıkçılık vb., tamamen değişmesine neden olmaktadır (Yong-feng ve ark., 2009).

Buna bağlı olarak geleneksel ekonomik faaliyetlerde değişim ve tükenen bir kaynağa olan yüksek bağımlılık neticesinde madencilik faaliyetlerinin sona ermesi ile yerelde ekonomik ve sosyal sorunlar ortaya çıkmaktadır. Özellikle söz konusu operasyonun büyüklüğü ve süresi ne kadar çok olur ise süreç sonucunda oluşan olumsuz etki daha büyük olmaktadır.

Söz konusu durum ile ilgili yapılan eleştiri de madencilik sektör faaliyetlerinin uygulamada iddia edildiği gibi yerel halk açısından uzun vadeli ve sürdürülebilir fayda sağlamadığıdır (Lins ve Horwitz, 2007). Bu yüzden madencilik sektörü açısından sürdürülebilirliğin desteklenmesi için önemli bir kriter yerel paydaşlara uzun süreli ve operasyonların sona ermesi ile ortadan kalkmayacak refah alt yapısının oluşturulmasıdır.

İkinci olarak ortaya çıkacak veya çıkan ödünleşimler ve bunların etkileri ile ilgili karşılaştırılabilir nitelikte bilginin elde edilmesi, madencilik sektöründe sürdürülebilirliğin uygulamaya geçirilmesi ve entegre edilebilmesi açısından önemli bir kriterdir.

Bu bilginin elde edilmesi Bölüm 2.1’de tartışılan güçlü ve zayıf sürdürülebilirlik kavramları ve buna bağlı olarak tanımlanan ‘insan ve kalkınma merkezli’ sürdürülebilirlik ile ‘koruma merkezli’ sürdürülebilirlik kavramlarının etkileri ve sonuçlarının ölçülebilir olmaları açısından önemlidir (Yaylacı, 2015).

Madencilik sektörü açısından da benzer şekilde oluşacak ve kaçınılmaz olan olumsuz etkilere karşılık yaratılacak faydanın ne olduğunun objektif şekilde bilinmesi önemlidir. Buna göre hem karar-alcılar hem de söz konusu sektörel faaliyetlerden etkilenecek paydaşlara sağlanacak veri ve bilgi sürdürülebilirlik kriterlerinin karar alma süreçlerine entegre edilmesi açısından önemli ve gereklidir (Yaylacı, 2015).

Ayrıca söz konusu veri ve bilgi, uygulama sürecinin izlenmesi ve daha önce belirlenen kriterlerin ne kadar gerçekleştirildiğinin bilinmesi açısından da gereklidir. Bundan dolayı sektörel faaliyetlere bağlı olarak ortaya çıkan ödünleşimlerden çok, bunların neler olduğu ve sonuçlarının çevre ve paydaşları nasıl etkileyeceğinin bilinmesi önemlidir. Bunun gerçekleştirilmesi için Gibson (2006b, s.175) iki yaklaşım önermektedir;

- Kabul edilebilir ve kabul edilemez özellikteki ödünleşimlerin neler olacağına dair genel kuralların tanımlanması;
- Kabul edilebilir olarak öngörülen ödünleşimleri paydaşlar ile tartışarak ve onlara danışarak belirlenmesidir.

Madencilik sektörü açısından üçüncü sürdürülebilirlik kriteri maliyet ve fayda dengesinin sağlanabilmesi için doğal kaynak yönetim verimliliğinin sağlanmasıdır. Bu kriter daha önce belirtilen iki kriter ile doğrudan ilişkilidir. Tüklenen kaynak karakteristiği ve piyasa koşullarına bağlı olarak uygulanabilirlik durumunun değişimi söz konusu olduğundan, doğal kaynağın verimli işletilmesi hem yatırımcı ve de yaratılan ulusal ekonomik fayda açısından hem de işletme süresi ve yerelde sağlayabileceği faydanın sürekliliği açısından oldukça önemlidir.

İkinci olarak verimli olarak işletilen doğal kaynak ile sadece sosyo-ekonomik değil aynı zamanda çevresel açıdan da olumsuz etkilerin azaltılması mümkün olabilecektir. Bundan dolayı madencilik sektörünün sürdürülebilirlik kavramını desteklemesi ve uygulamada sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi açısından önemli üçüncü kriter verimli doğal kaynak yönetiminin sağlanmasıdır.

### **3. SONUÇLAR**

Sürdürülebilirlik kavramı ilk tanımlandığı dönemden itibaren zaman içinde ekolojik koruma merkezli güçlü sürdürülebilirlik kavramından kalkınma odaklı zayıf sürdürülebilirlik çerçevesine kadar farklı şekillerde yorumlanmıştır. Madencilik faaliyetlerine konu olan kaynakların yenilenemez ve faaliyetlere bağlı olarak tükenir olması nedeniyle madencilik ve sürdürülebilirlik çelişen iki kavram olarak değerlendirilmektedir. Bunun yanı sıra, faaliyetlerin uygulandığı yerel

ölçekte çevre ve toplum açısından oluşan olumsuz etkiler de bu iki kavramın çelişikleri yönünde oluşan yorum ve algıyı destekleyen diğer önemli faktörlerdir.

Öte yandan sektör paydaşları ve araştırmacılar ise madencilik sektörünün sosyal ve ekonomik sürdürülebilirliği destekler özelliklere sahip olduğunu belirtmekle birlikte, madencilik sektörü özelinde sürdürülebilirlik kavramının tanımlanması, ölçülmesi ve etkin şekilde uygulanması konusu araştırmacılar açısından hala oldukça karmaşık bir konu olarak değerlendirilmektedir.

Bu konuda gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde madencilik sektörü açısından sürdürülebilirlik kavramının karar-alma süreçlerine entegrasyonu ve uygulamaya geçirilme seviyesinin ölçülmesi için madencilik sektörü için sürdürülebilirlik tanımı yerine sürdürülebilirlik kriterlerinin belirlenmesi önerilmektedir.

Buna göre literatürde sektörel bazda gerçekleştirilmiş çalışmalar dikkate alınarak madencilik sektörü açısından sürdürülebilirlik kriterleri şunlar olarak belirlenmiştir;

- Olumlu sosyal etkilerin ve oluşan refahın uzun vadeli olmasının sağlanması,
- Olası ödünleşimlerin ve bunlarının etkilerinin ne olacağına dair güvenilir bilgiye sahip olunması ve
- Maliyet ve kazançların dengelenmesi için etkin doğal kaynak yönetimidir.

Belirlenen bu kriterlerin sektörel karar-alma süreçlerine entegre edilmesi ile çevreye duyarlı, sosyal açıdan sorumlu ve ekonomik olarak etkin strateji ve projelerin gerçekleştirilmesine katkı sağlanacaktır. Fakat bu kriterler madencilik sektörünün genel yapısı ve özellikleri dikkate alınarak belirlendiğinden belirli bir ülke ve bölge için gerçekleştirilecek sürdürülebilirlik ile ilgili değerlendirmeler ile bu kriterlerin hedeflenen ülke veya bölge özellikleri dikkate alınarak belirlenmesi faydalı olacaktır.

Değerlendirme için odak grup toplantıları, sektör uzman ve paydaşları ile yüz yüze veya anket gibi araçlar kullanılarak gerçekleştirilecek çalışmalar neticesinde elde edilecek bilgiler madencilik sektörüne özel sürdürülebilirlik konusunda gerçekleştirilecek analizlerde, izleme ve iyileştirme çalışmalarında olumlu etki sağlayacaktır.

Bunun gerçekleştirilmesi durumunda sürdürülebilirlik teorik olarak tartışılan ve literatürde sosyal lisans için çevreci imaj yaratılmasına yönelik kullanılan bir terim olduğu yönünde yöneltilen eleştirilerin geçersiz kılınması ve kavramın sektör özelinde uygulanmaya geçirilmesi mümkün olabilecektir. Dolayısıyla belirlenen bu kriterlerin ülkemiz mevzuatı ve madencilik sektörü ile ilgili stratejik (politika ve plan seviyesi) ile proje uygulama seviyesinde sektör özellikleri dikkate alınarak

yerel bir çerçevede detaylandırılması bu konuda gerçekleştirilecek çalışmalara katkı sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- Adam, W.M., 2001. *Green development: Environment and sustainability in the Third World*, Routledge, New York
- Azapagic, A., 2004. Developing a Framework for Sustainable Development Indicators for the Mining and Minerals Industry. *Journal of Cleaner Production*, 12(6), s. 639–662.
- Bell, S. & Morse, S., 1999. *Sustainability indicators: Measuring the immeasurable*, Earthscan Publications, London
- Bell, F. & Donnelly, L., 2006. *Mining and its impact on the environment*. New York : Taylor & Francis.
- Birleşmiş Milletler, 1987. *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Çevrimiçi: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> [03 11 2014 tarihinde erişilmiştir].
- Birleşmiş Milletler, 2015. *Millennium Development Goals*. Çevrimiçi: <http://www.un.org/millenniumgoals/> [03 08 2015 tarihinde erişilmiştir].
- Birleşmiş Milletler, 2002. *Johannesburg Declaration on Sustainable Development*. Çevrimiçi: <http://www.un-documents.net/jburgdec.htm> [03 08 2015 tarihinde erişilmiştir].
- Chikkatur, A., Sagar, A. & Sankar, T., 2009. Sustainable development of the Indian coal sector. *Energy*, Issue 34, pp. 942-953.
- Dedeurwaerdere, T., 2014. *Sustainability Science for Strong Sustainability*. Northampton: Edward Elgar.
- Dutta, P., Sandip, M. & De, P., 2004. Opencast Mining Impact: A Methodology for Cumulative Impact Assessment of Opencast Mining Projects with Special References to Air Quality Assessment. *IAIA Impact Assessment and Project Appraisal*, s. 235-250.
- Düzgün, H. & Demirel, N., 2011. *Remote Sensing of the Mine Environment*. The Netherlands: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Ekins, P. S. S. D. L. F. C. D. G. R., 2003. A framework for the practical application of the concepts of critical natural capital and strong sustainability. *Ecological Economics*, Issue 44, s. 165-185.
- European Association for Mining Industries, Metal Ores and Industrial Minerals (EUROMINES), 2012. *The EUROMINES guidelines for sustainable development*. [Çevrimiçi: <http://www.euromines.org/sites/default/files/content/files/sustainable-development-issues/euromines-sustainable-development-guidelines-jan2012.pdf> [20 05 2014 tarihinde erişilmiştir].
- Ford, C., 2005. Towards sustainable mining: The Canadian Mining Industry Sustainability Initiative. R. Villas Bôas, Ş. S. Shields D., P. Anciaux & G. Önal,



- Düz. *A review on indicators of sustainability for the minerals extraction industries*. Rio de Janeiro: CYTED-XIII – w3.cetem.gov.br/cyted-XIII , s. 31-46.
- Franks, D., Brereton, D. & Moren, C., 2010. Managing the cumulative impacts of coal mining on regional communities and environments in Australia. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 28(4), s. 299-312.
- Gibson, R., 2006a. Sustainability assessment and conflict resolution: Reaching agreement to proceed with the Voisey's Bay Nickel Mine. *Journal of Cleaner Production*, Issue 14, s. 334-348.
- Gibson, R., 2006b. Sustainability assessment: basic components of a practical approach. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 24(3), s. 170-182.
- Giurco, D. & Cooper, C., 2012. Mining and sustainability: Asking the right question. *Minerals Engineering*, Issue 29, s. 3-12.
- Glasson, J., Thérivel, R. & Chadwick, A., 2002. *Introduction to Environmental Impact Assessment: principles and procedures, process, practice and prospects*. London: Spon Press.
- Hens, L., 1998. Instruments for Environmental Management: Introduction. *Environmental Management in Practice: Volume 1 içinde*. New York: ScottLondon, s. 65-68.
- Hilson, G. & Basu, A., 2003. Devising indicators of sustainable development for the mining and minerals industry: An analysis of critical background issues. *Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 10(4), s. 319-331.
- Kirsch, S., 2009. Sustainable Mining. *Dialect Anthropol*, Issue 34, s. 87-93.
- Kiss, A. & Shelton, D., 1997. *Manual of European Environmental Law*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kotey, B. & Rolfe, J., 2014. Demographic and economic impact of mining on remote communities in Australia. *Resource Policy*, Issue 42, s. 65-72.
- Laurence, D., 2011. Establishing a sustainable mining operation: An overview. *Journal of Cleaner Production* , Issue 19, s. 278-284.
- Lee, N. & George, C., 2003. *Environmental Assessment in Developing Countries and Transitional Countries: Principles, Methods and Practice*. England: John Wiley & Sons Ltd..
- Lins, C. & Horwitz, E., 2007. *Sustainability in the mining sector*. [Çevrimiçi: <http://www.fbds.org.br/IMG/pdf/doc-295.pdf> [20 05 2014 tarihinde erişilmiştir].
- Ministry of Mines India; ERM India, 2011. *Sustainable development framework for Indian mining*. [Çevrimiçi: [http://mines.nic.in/writereaddata/filelinks/2155afeb\\_FINAL%20REPORT%20SDF%2029Nov11.pdf](http://mines.nic.in/writereaddata/filelinks/2155afeb_FINAL%20REPORT%20SDF%2029Nov11.pdf) [20 05 2014 tarihinde erişilmiştir].
- Moles, R., Foley, W., Morrissey J. & O'Regan, B., 2008. Practical appraisal of sustainable development – Methodologies for sustainability measurement at settlement level, *Environmental Impact Assessment Review*, 28, pp. 144-165.

- Neumayer, E., 2003. *Weak versus strong sustainability: exploring the limits of two opposing paradigms*. Northampton: Edward Elgar.
- Reed, D., 2002. *Resource extraction industries in developing countries*. Journal of Business Ethics, 39, s. 199-226
- SCBD, The Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 1992. *Convention on Biological Diversity*. [Çevrimiçi: <https://www.cbd.int/history/> [25 08 2015 tarihinde erişilmiştir].
- UNFCCC, 1997. *United Nations Framework Convention on Climate Change*. [Çevrimiçi: [http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php) [25 08 2015 tarihinde erişilmiştir].
- Vanclay, F., 2004. The Triple Bottom Line And Impact Assessment: How Do TBL, EIA, SEA and EMS Relate to Each Other?. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, s. 265-288.
- Ward, B. & Dubos, R., 1972. *Only one Earth: The care and maintenance of a small planet*, W.W. Norton & Co. Inc, Ney York.
- Warhurst A., 2002. *Sustainability indicators and sustainability performance management*, International Institute for Environment and Development and World Business Council for Sustainable Development, Report No: 43 [Çevrim İçi [http://www.commdev.org/files/681\\_file\\_sustainability\\_indicators.pdf](http://www.commdev.org/files/681_file_sustainability_indicators.pdf) [30.04.2013 tarihinde erişilmiştir].
- Wood, C., 1995. *Environmental Impact Assessment: A Comparative Review*. Harlow: Longman Scientific & Technical.
- Worrall, R., Neil, D., Brereton, D. & Mulligan, D., 2009. Towards a sustainable criteria and indicators framework for legacy mine land. *Journal of Cleaner Production*, Issue 17, s. 1426-1434.
- Yaylacı, E.D., 2015, A sustainability assessment framework for evaluation of coal minning sector plans in Afşin-Elbistan Coal Basın with a special emphasis on land disturbance, *Doktora Tezi*, Eylül 2015, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 334 s.
- Yong-feng, L., Yuan-hua, L., Zhuan-ping, D. & Jie, C., 2009. Effect of coal resources development and compensation for damage to cultivated land in mining area. *Mining Science and Technology*, Issue 19, s. 620-625.

# Türkiye’deki Fosil-Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Sürdürülebilir Madencilığe Genel Bir Bakış

## *An Overview of Fossil-Renewable Energy Resources and Sustainable Mining in Turkey*

S. Top, H. Vapur

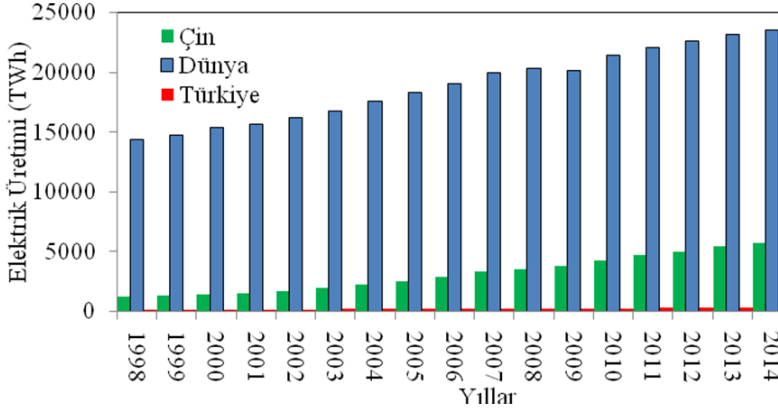
*Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana*

**ÖZET** Sürekli artan enerji ihtiyacı gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için önemli bir zorluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Artan çevresel kaygılar ve küresel trendyenilenebilir enerji kaynaklarını ön plana çıkarsa da henüz teknolojik açıdan evrimini tamamlayamayan ülkeler için fosil enerji kaynaklarının kullanılması önem arz etmektedir. Önemli jeopolitik konumu nedeniyle enerji transfer merkezi konumundaki Türkiye’nin enerjide dışa bağımlılığını azaltması gerekmektedir. Bu süreçte termik ve nükleer santrallerin gelişimine en az yenilenebilir enerji kaynakları kadar titizlikle yaklaşılmalıdır. Fosil ve nükleer enerji kaynakları sürdürülebilir madencilik anlayışıyla gelecek kuşaklar gözetilerek işletilmelidir.

**ABSTRACT** Increasing energy demand is an important challenge for both developed and developing countries. Although growing environmental anxiety and global trend featurerenewable energy resources, utilization of fossil energy resources is a must for the countries which have not completed their industrial and technological evolution. Turkey, which is an energy hub because of its geopolitical position, has to reduce its foreign dependency for energy. Improvement of fossil fuel and nuclear plants is as substantial as renewable energy resources. Fossil and nuclear energy resources must be utilized by taking care of posterity via sustainable mining.

## 1. GİRİŞ

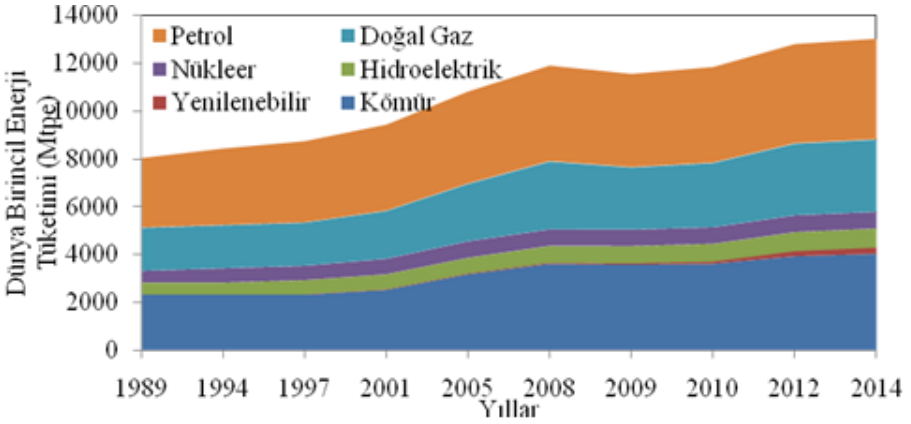
En yaygın tanımıyla bir sistemin iş yapabilme kapasitesi olan ve 18. Yüzyıldaki Sanayi Devrimi neticesinde ortaya çıkan teknolojik gelişmelerle günden güne ihtiyacı ve dolayısıyla üretimi artan enerji kavramı günümüzdeki önemini gelecekte de koruyacaktır. İnsanlığın fosil yakıtların kullanımıyla başlayan enerji serüveni son bir asırda özellikle nükleer, rüzgar ve güneş enerjisini ustaca kullanımı sayesinde yeni bir boyut kazanmıştır. Teknolojik evrimini tamamlayamayan, önemli fosil enerji rezervlerinden yoksun gelişmemiş veya gelişmekte olan ülkelerin yanı sıra Çin gibi artan nüfusun bir sonucu olarak ucuz iş gücü ekseninde teknolojinin merkezi durumuna gelen sanayi devi ülkeler için de enerji ihtiyacı çözülmesi gereken en önemli sorunlardandır. Bu bağlamda ülkelerin enerji konusunda temel stratejisi; uluslararası anlaşmalarla dış kaynaklardan enerji ihtiyaçlarını karşılamaktan ziyade, öz kaynakların verimli, çevre ve canlı hayatı gözetilerek işletilmesi ve enerjide dışa bağımlılığın bu şekilde sürdürülebilir kalkınma sağlanarak azaltılması olmalıdır. Şekil 1’de son yıllarda dünya, Çin ve Türkiye elektrik üretim değerlerine bakıldığında enerjiye olan ihtiyacın ne denli arttığı daha iyi anlaşılmaktadır.



Şekil 1. Dünya, Çin ve Türkiye'nin elektrik üretim miktarları (BP, 2015a).

Fosil yakıtların yaygın kullanımına dayalı iklim değişikliği sorunları ve bu yakıtların artan fiyatları neticesinde Danimarka, İspanya, Almanya gibi çoğu ülke ulusal enerji sistemlerinde yenilenebilir enerjiye dayalı bir geçiş yaşamaktadır. Yenilenebilir enerji sistemlerindeki keşifler bu geçişin en az maliyetle neticelenmesine yardımcı olmaktadır. Türkiye de son 10 yılda bu kapsamda önemli yatırımlar gerçekleştirmiştir (Şimşek ve Şimşek, 2013; Toklu, 2013; Rexhauser ve Lösche, 2015). Enerji kaynaklarının evrimleşme süreci bir bakıma da fosil enerji

kaynaklarının sonlu olmasının sonucudur. Mevcut kullanım oranı göz önüne alındığında yaklaşık olarak kömürün 120, doğal gazın 60 ve petrolün de 50 yıllık ömrü kaldığı görülmektedir (TPAO, 2015; TKİ, 2015).Gerek ulusal gerekse uluslararası düzeylerde toplumların çevreye olan ilgilerindeki artış devam etmektedir. Çevre bir yandan günümüz insanının yaşam biçimini, diğer yandan gelecek kuşakların haklarını kapsayan bir kavram haline dönüşmüştür. Bu bağlamda çevre, insanlığın paylaştığı en önemli ortak değerlerden biri olmuştur (Ertürk, 2011). Ülkelerin, fosil enerji kaynaklarını en verimli ve çevreye daha az zarar verecek şekilde işlemesi, fosil yakıtların kaçınılmaz sonunu görerek adımlar atması gerekmektedir. Bu çalışmada, dünya enerji sektöründeki trendler çerçevesinde Türkiye'nin enerji politikası ve potansiyeli irdelenmiş; atılması gereken adımlar özetlenmiştir.



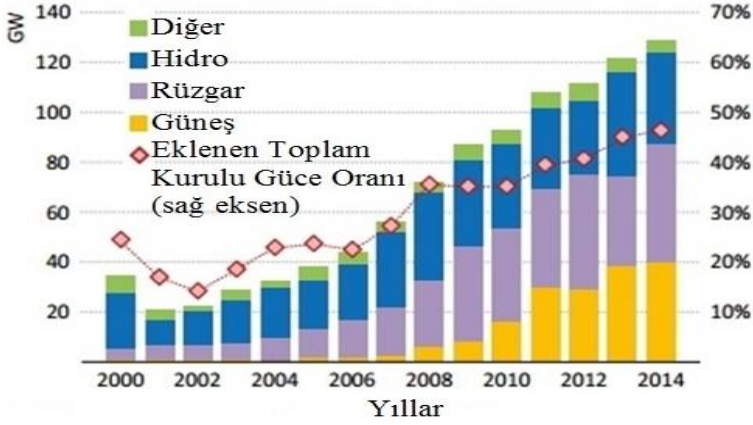
Şekil 2. Dünya birincil enerji üretim trendi (BP, 2015b).

## 2. ENERJİDE DÜNYA TRENDLERİ

Dünya elektrik ihtiyacının yaklaşık % 70'i, birincil enerji ihtiyacının ise yaklaşık % 86'sı kömür, petrol ve doğal gazın oluşturduğu fosil yakıtlardan sağlanmaktadır (Şekil 2).Dünya kanıtlanmış petrol, doğal gaz ve kömür rezervleri sırasıyla 1688 milyar varil, 6558 trilyon feet küp ve 891 milyar tondur. Günümüzde dünya birincil enerji ihtiyacının % 36'sı petrol, % 27'si doğal gaz, % 23'ü kömür ve geriye kalan % 14'lük kısmı ise yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır (IEA, 2014; IEA; 2015; Abas ve diğ., 2015).

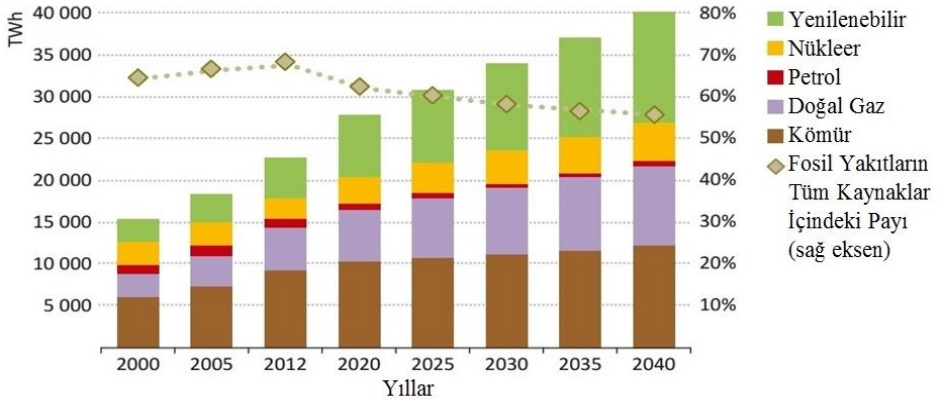
Ozon tabakasına zarar vermesi, asit yağmurlarına sebebiyet vermesi ve karbon salınımı nedeniyle küresel iklim değişiminde önemli etkisi olan fosil yakıtlara kıyasla yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli dezavantajı maliyettir. Mevcut

durumda yenilenebilir enerji potansiyelinin, dünya birincil enerji ihtiyacını 18 kez karşılayabileceği tahmin edilmektedir (Deliano-Paz ve diğ., 2015).



Şekil 3. Dünya yenilenebilir enerji bazlı kurulu güç artırımları ve bu artırımların toplam artırıma oranı (IEA, 2015).

Şekil 3'te son 14 yılda yenilenebilir enerji kaynakları bazlıkapasite artırımları görülmektedir. Son birkaç yılda yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam kurulu güç artırımındaki oranı yaklaşık % 50'ye ulaşmıştır. Bu oranın önümüzdeki yıllarda daha hızlı artacağı açıktır. Küresel ölçekte elektrik üretiminin 2040'a kadar 3 katına çıkarak 40100 TWh'e ulaşacağı tahmin edilmektedir (Şekil 4).



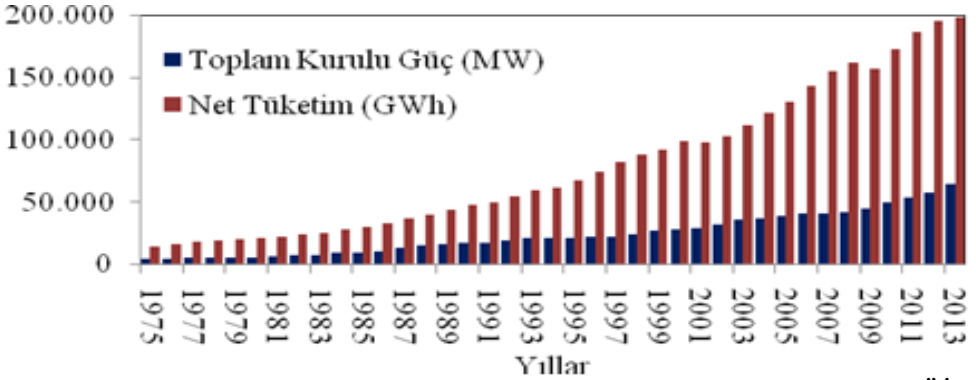
Şekil 4. Kaynaklara göre Dünya elektrik üretim miktarları, fosil kaynakların toplam üretimdeki payı ve geleceğe yönelik tahminler (IEA, 2014).

Günümüzden 2040'a yönelik yapılan projeksiyonda elektrik üretiminde kömürün payının % 41'den % 31'e, petrolün ise % 5'ten % 1'e düşeceği tahmin edilirken % 22'den % 24'e yükselen oranıyla artış gösteren tek fosil kaynak doğal

gaz olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu süreçte Nükleer enerjinin % 11'den % 12'ye ulaşan marjinal yükselişinin yanında 2040'ta yenilenebilir enerjiden elektrik üretiminin toplam üretimin 3'te 1'ine ulaşacağı düşünülmektedir. Yenilenebilir enerjideki bu artışın yarısına yakınının rüzgar enerjisi yoluyla gerçekleşeceği öngörülmektedir. OECD'ye (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü) üye ülkelerde elektrik üretiminde yenilenebilir enerji payının % 21'den % 37'ye çıkacağı düşünülürken, Avrupa Birliği ülkelerinde artışın mevcut seviyenin iki katı olan % 46'ya varacağı; OECD dışı ülkelerde ise bu oranın % 22'den % 31'e varacağı tahmin edilmektedir. Kömür bazlı elektrik üretimindeki artışın en büyük sorumlusu Çin'in kömür bazlı elektrik üretiminin de % 76'dan % 52'ye düşeceği öngörülmektedir (IEA, 2014).

### 3. TÜRKİYE ENERJİ KAYNAKLARI

Türkiye'deki nüfus artışı ve sanayileşmeye paralel olarak toplam kurulu güç artışı ve net tüketim Şekil 5'te görülmektedir.



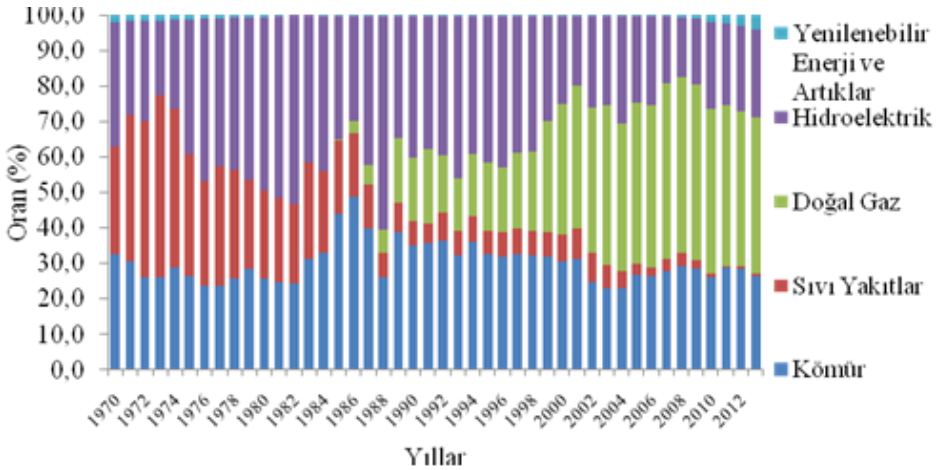
Şekil 5. Elektrik santrallerinin toplam kurulu gücü ve net elektrik tüketimi (TÜİK, 2014a).

Son 35 yılın elektrik üretim verilerine bakıldığında; artan enerji ihtiyacına rağmen elektrik üretiminde kömürün önemini hiçbir dönemde kaybetmediği açıktır. 1980'lerin ortalarında yapılan uluslararası doğal gaz anlaşmalarıyla, enerji kaynaklarında çeşitliliğin sağlanmasına ek olarak Türkiye'nin bugünkü enerjide % 70'lere varan dışa bağımlı durumu ortaya çıkmıştır (Şekil 6). Türkiye'nin hemen hemen her bölgesinde kömür rezervlerinin bulunmasından ötürü kömür bazlı termik santrallere yatırım yaparak ekonomiye de katma değer oluşturabilecek girişimler yerine kullanılmasa dahi ücreti ödenmek zorunda bırakılan doğal gaz bazlı çevrim santrallerine yatırım yapan öngöründen uzak Türk enerji politikasının başarısız olduğu açıktır (Tokgöz, 2010). Kömürün enerji ihtiyacını karşılamadaki

payı göz önüne alındığında 2004'te en düşük değer elde edilmiş olsa da Türkiye'nin sigortası konumunda olduğu bir gerçektir. Lakin, enerji üretiminde yerli linyitlerden ziyade ithal taş kömürü bazlı bir üretim söz konusu olduğundan, Türkiye; dışa bağımlılığını yenmek için daha somut adımlara ihtiyaç duymaktadır (Balat, 2008; Ediger ve diğ., 2014). Stratejik açıdan birinci öncelik, enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için yerel kaynaklardan en yüksek seviyede yararlanmaktır. Bu strateji ışığında, son yıllarda hidroelektrik santral (HES) ve yerli linyite dayalı termik santral inşasına hız verilmiş, 2011'de Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) bünyesinde Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü kurulmuş ve dahası Türkiye'de 2 adet nükleer santral kurulmasına yönelik anlaşmalar imzalanmıştır (Aras, 2013; YEGM, 2015).

### 3.1. Fosil Enerji Kaynakları

Türkiye, 8 milyar tondan fazla linyit, 1.3 milyar ton taşkömürü, 80 milyon ton asfaltit, 7 milyar varil ham petrol, 25 milyar m<sup>3</sup> doğal gaz rezervine sahiptir. Tüm dünyada doğal gaz piyasası dinamiklerini yeniden şekillendiren kaya gazının (shalegas) Türkiye'de aranmasına ve üretimine yönelik çalışmaların Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Önümüzdeki dönemde çıkarılması gündeme gelebilecek, Trakya havzasının Hamitabat ve Mezdere bölgelerinde de önemli miktarlarda çıkarılabilir kaya gazının bulunduğu tahmin edilmektedir (Ünal, 2013; BOTAŞ, 2015).

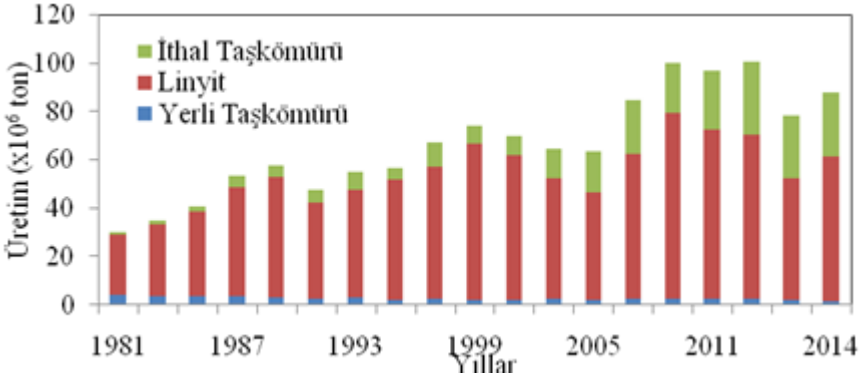


Şekil 6. Türkiye'nin elektrik enerjisi üretimi (TÜİK, 2014b).

Türkiye taşkömürü üretiminin tamamı Zonguldak Havzası'ndan sağlanmakta olup 2013 yılında toplam taşkömürü ihtiyacının % 5.8'i yerli kaynaktan sağlanmış;

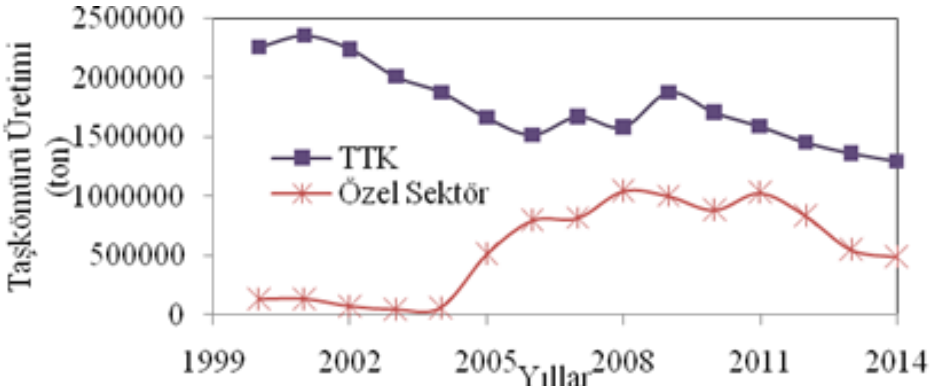


kalan miktar ithalat ile karşılanmıştır (TTK, 2015). Şekil 7 incelendiğinde Türkiye'nin yerli kömür ihtiyacının çok büyük bir bölümünü linyitten sağladığı anlaşılmaktadır. Kömür üretiminde 2000 yılından itibaren rödovans sisteminin tercih edilmesi ile özel sektörün kömür üretiminde aktif rol alması sağlanmıştır.



Şekil 7. Türkiye kömür üretim ve ithalat miktarları (TKİ, 2015; TÜİK, 2015).

Ancak Soma ve Ermenek gibi önemli maden kazalarının yaşanması; kömür üretiminde iş sağlığı ve güvenliği (İSG) kurallarının yeterince uygulanmadığı, kar sağlama düşüncesiyle taşeron şirketlerin İSG kurallarından ödün verdiği veya bu şirketlerin yetkili merciler tarafından yeterince denetlenmediği sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Özellikle kazalardan sonra denetimlerin sıklaştırılması ve kurallara uymayan işletmelerin kapatılmasının 2010 sonrası linyit ve taşkömürü üretimindeki azalmada pay sahibi olduğu söylenebilir (Şekil 7; Şekil 8).



Şekil 8. 2000-2014 yılları arası taşkömürü üretim miktarları (TTK, 2015).

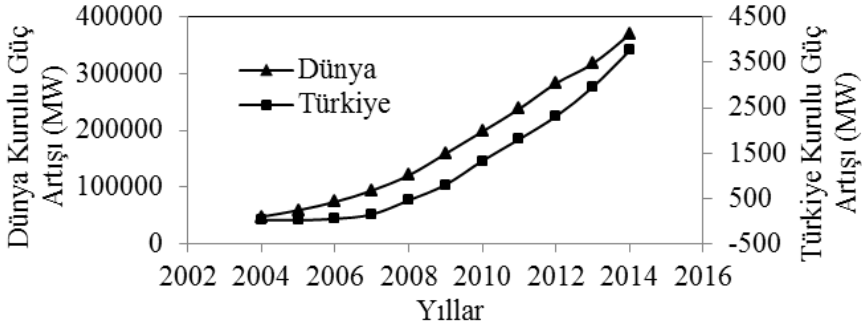
Türkiye enerji talebinin dışa bağımlılık oranı günümüz itibariyle % 73'tür ve bu enerji ihtiyacının büyük bir bölümü doğal gaz ve petrolden oluşmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. Son 6 yılın doğal gaz üretim ve ithalat değerleri ve yerli üretimin toplam tüketime oranı (TPAO, 2015).

2014 yılında, Türkiye’de günlük yaklaşık 49 bin v/g (varil/gün) ham petrol üretimi yapılmış; buna karşılık 718 bin v/g ham petrol tüketilmiş; 359 bin v/g düzeyinde ham petrol ithalatı, 310 bin v/g düzeyinde ise işlenmiş ürün ithalatı gerçekleştirilmiştir.

Türkiye’nin jeopolitik konumu bu dezavantajı avantaja çevirmeye yönelik bir şans olarak karşımıza çıkmaktadır. Üç kıtayı birbirine bağlayan, petrol ve doğal gaz rezervleri bakımından zengin bölgeler ile başta AB ülkeleri olmak üzere, petrol ve doğal gaz ithalat bağımlılığı yüksek olan ülkeler arasındaki coğrafi konumuyla Türkiye, enerji kaynaklarının arz ve talep edilen bölgeler arasında taşınmasında stratejik öneme sahiptir.



Şekil 10. Dünya ve Türkiye rüzgara dayalı kümülatif kurulu güç artışı (GWEC, 2015).

Türkiye’de CO<sub>2</sub> eşdeğeri sera gazı salınımı 2013 yılında 459.1 milyon ton olarak gerçekleşirken bu miktarın %67.8’i enerji sektöründen kaynaklanmıştır.. Bu

yönüyle sera gazı salınımı Türkiye'nin önlem alması gereken önemli sorunlarındandır (TÜİK, 2015a).

## 3.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

### 3.2.1. Rüzgar

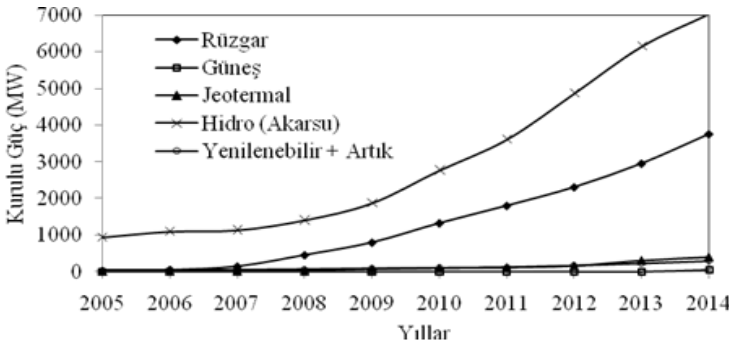
Türkiye'nin kara ve denizde rüzgar enerjisi potansiyeli çoğu Avrupa ülkesinden fazla iken kurulu rüzgar gücü tesisleri bu ülkelerden çok daha azdır. Türkiye'de ortalama rüzgar hızının 7 m/s'nin üzerinde olduğu bölgeleri göz önüne alındığında 48000 MW'lık rüzgar gücü potansiyelinin bulunduğu ortaya çıkmaktadır. 2014 itibariyle Ege'de 1486, Marmara'da 1359 ve Akdeniz'de 543 MW'lık kurulu rüzgar gücü bulunmaktadır. Türkiye'deki rüzgara dayalı kurulu güç kapasitesinin dünyadaki artışla paralel bir artış gösterdiği gözlenmektedir (Şekil 10).

### 3.2.2. Güneş

Sıcak su sistemlerinde Çin ve ABD'nin ardından 3. sırada yer almasına rağmen Türkiye; güneşten elektrik elde etmedeson yıllara kadar pilot birkaç uygulamadaki 4-5 MW'lık değerlerin üzerine çıkamamıştır. Gelecekte nükleer ve rüzgardan sonra en fazla artış beklenen elektrik üretim girdisi olan güneşten 2014 yılında 40 MW'lık bir üretim gerçekleşmiştir (Topkaya, 2012; YEGM, 2015a).

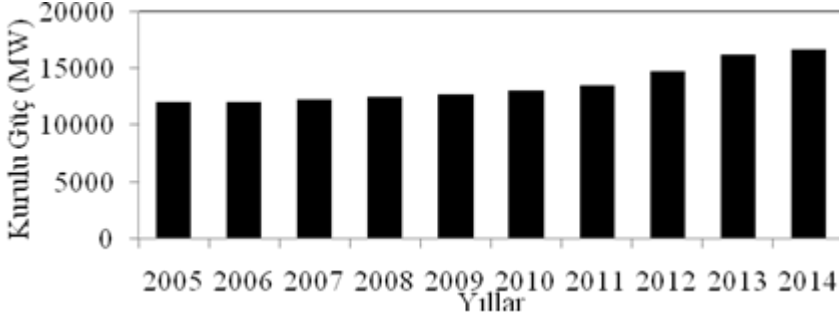
### 3.2.3. Su

Son 10 yılda akarsulardan ve barajlardan elektrik enerjisi elde etmek üzere kurulan tesislerin kapasitelerin toplam kapasitelerinde 12000 MW'tan 24000 MW'lara varan bir artış gözlenmektedir (Şekil 11, Şekil 12).



Şekil 11. Son 10 yılda Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik miktarları (Barajlar Hariç) (YEGM, 2015a).

Özellikle HES'ler konusunda Greenpeace ve TEMA gibi sivil toplum kuruluşlarının tepkileri süreçte yavaşlamalara neden olsa da Türkiye uzun vadede yeni hidroelektrik santralleri kurulumuna önem vermektedir (Aras, 2013, YEGM, 2015a).



Şekil 12. Son 10 yılda Türkiye'deki hidroelektrik baraj bazlı kurulu güç değişimi (YEGM, 2015a).

#### 3.2.4. Diğer

Türkiye jeotermal enerji potansiyelinin büyük bir kısmı ısıtma amaçlı kullanılmakta olup, 20 adet elektrik üretimi amaçlı lisans alan firmalardan 7 tanesi üretim yapmakta olup kurulu güç kapasitesi 114.2MW'tır (YEGM, 2015b). Biyokütle enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji türlerinde çalışmalar devam etse de bu enerji kaynaklarının uzun dönem planlarında etkin rol oynamayacağı düşünülmektedir.

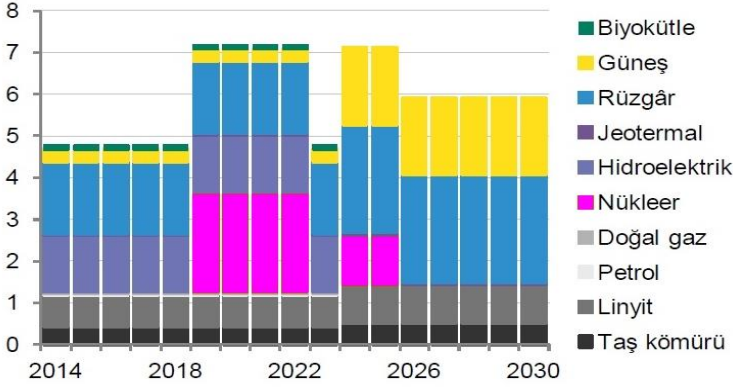
### 3.3. Nükleer Enerji

Türkiye, Mersin ve Sinop'ta olmak üzere 2 adet nükleer santralin kurulumunu kararlaştırmış, Mersin-Akkuyu'daki santral için Rus; Sinop'taki santral için ise Japon firmalarla anlaşmalar imzalanmıştır. Akkuyu santrali 1200 MW'lık 4 üniteden, Sinop santrali ise 1120 MW'lık 4 üniteden oluşacakve 60 yıllık işletme ömrüne sahip tesisler üretime geçtiğinde toplam 9280 MW'lık kurulu güç eldesi sağlanacaktır (ETKB, 2015).

## 4. TÜRKİYE'NİN ENERJİ GELECEĞİ

Birincil enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve Türkiye'nin sahip olduğu kaynakların rasyonel bir şekilde kullanılması hem sürekliliğin hem de düşük maliyetli enerji arzının kilit bileşenleridir. Resmi planlar senaryosu doğrultusunda yapılan kestirimlere bakıldığında Türkiye'de önümüzdeki 15 senelik süreçte

doğalgaz bağımlılığını azaltmaya yönelik nükleer ve yenilenebilir enerji kaynaklarına büyük önem verileceği görülmektedir (Şekil 13).

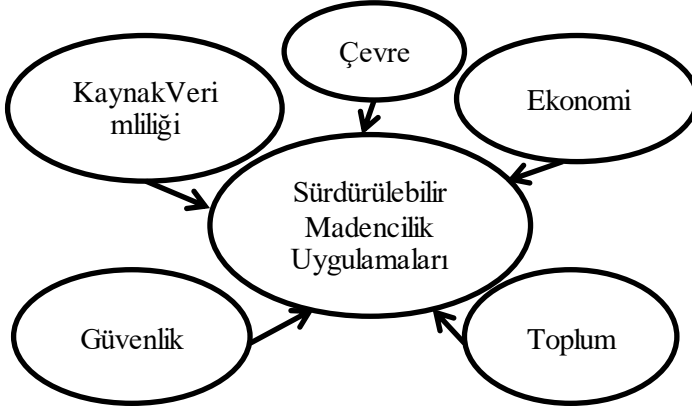


Şekil 13. GW cinsinden Türkiye'nin yıllık kurulu güç ilaveleri (TEİAŞ, 2015).

## 5. SÜRDÜRÜLEBİLİR MADENCİLİK VE TÜRKİYE

Endüstriyel gelişmede en büyük rolü üstlenen; teknolojik ve ekonomik refahın temelini oluşturan sektör madenciliktir. Sürdürülebilirlik-devamlılık kavramı; yenilenemeyen kaynak olarak benimsenen maden kaynakları için kullanıldığında bir çelişkiye sebep olmaktadır. Lakin, sürdürülebilirlik: geliştirilen-işlenen bir kaynağın süregelen yararlılığından çok daha fazlasını kapsamaktadır (Rajaram ve Parameswaran; 2005). Kaldı ki yeryüzünde kullanılan araç gereçlere bakıldığında bunların yapımında kullanılan hammaddeler organik olanlar dışında minerallerdir. Yenilenebilir enerji olarak önümüzdeki yıllarda çok büyük atılım beklenen rüzgar ve güneşten elektrik eldesine yönelik tasarlanan prosesler, maden hammaddelerden yararlanarak oluşturulmaktadır. Güneşten elektrik sağlayan fotovoltaik (PV) panellerin yapımında saflaştırılmış silisyum ile tellüryum, germanyum gibi metaller kullanılmaktadır (Yang ve diğ., 2013). Dünyada temiz enerji olarak gösterilen nükleer santraller, enerji kaynağı olarak işlenmiş radyoaktif mineralleri kullanmaktadır. Daha da önemlisi dünyadaki varlıklarına bakılarak sonlu olduğu ileri sürülen çoğu metalin uzaydan eldesine yönelik birkaç uzay madenciliği şirketi de kurulmuştur (Planetaryresources.com, 2015; Deepspaceindustries.com, 2015). Ayrıca yerkabuğundan elde edilen ve ürün haline getirilen metaller ark fırınlarında ergitilerek tekrar kullanılacak ürün haline dönüştürülebilmektedir. Bu bağlamda madenciliğin sürdürülebilir bir faaliyet olduğu ve gelecekte de olacağı açıktır. Sürdürülebilir madencilik uygulamaları; ekonomik kalkınmayı amaçlayan, çevreye duyarlı, toplum yararını gözeterek iş ve işçi sağlığını ön planda tutan ve

mevcut kaynaklardan en yüksek randımanda ürün, hammadde veya yan ürün sağlayabilen prosesler olmalıdır (Şekil 14).



Şekil 14. Sürdürülebilir madencilik uygulamalarının bileşenleri (Austrade, 2015).

Kaynakların verimli kullanılması ve iş güvenliği konularında ülkemizdeki madencilik faaliyetleri oldukça kusurludur. Türkiye’de cevher hazırlama algısı kurumsal birkaç şirket ile devlet kuruluşları dışında oldukça düşük olup; yer altı kaynaklarının biran önce çıkarılarak satılması ve gelir elde edilmesi ön planda tutulmaktadır. Fosil enerji kaynaklarından ülkemizde her bölgede ve en çok bulunanı olan kömürü hazırlama tesisleri özel sektör bünyesinde yok denecek kadar azdır. Flotasyon, yüzdürme-batırma gibi kömür hazırlama uygulamaları enerji sektöründe uygulanmalıdır. Bu şekilde kömür kalorifik değeri artacak ve depolama masrafları azalacaktır. Bu tür cevher hazırlama uygulamaları ile kömürdeki kükürt, azot gibi zararlı gazların önemli bir bölümü yakma öncesi uzaklaştırılacağından çevre zararı da daha az olacaktır. Yakma sistemlerinde, bacalarda gaz tutma sistemlerinin gerektiği şekilde uygulanması bu tür zararları daha az indireyecektir. Madencilik-cevher hazırlama faaliyetleri sonucu yeryüzü tahrip edilmekte ve canlı yaşamı değişime uğramaktadır. Bu tür değişimlerin en az düzeyde kalması madenlerin çıkarılması sırasında ve işletme ömrü tamamlandıktan sonra gerekli rehabilitasyon işlemlerinin hızla ve etkin şekilde uygulanması ile mümkündür. Bu aşamada sorumluluk; madenciler, kanun yapıcılar ve toplumsal bilinç düşmektedir. Yalnız gerekli önlemlerin alınması sırasında madencilik faaliyetlerinin uygulanamaz hale gelmemesi ve albenisini kaybetmemesi sağlanmalı, dünyada olduğu gibi Türkiye’de de madencilik faaliyetlerinin korkutucu imajdan kurtulmasına yönelik çalışmalar yapılmalıdır. İş güvenliği konusunda ise Türk maden tarihinin en büyük faciası olan ve 300’den fazla maden emekçisinin vefatıyla sonuçlanan Soma maden faciasının 13 Mayıs 2014 tarihinde

meydana gelmiş olması, madenlerde iş güvenliğine önem verilmeyerek para kazanma hırsının ön planda tutulduğunun ve devlet kurumlarının gerekli denetimleri uygulayamadığının kanıtıdır.

Madencilik faaliyetleri, uygulandığı bölge halkına istihdam sağlamanın yanında çoğu maden çıkarılan bölge kalkınmasında maden kuruluşlarının payı büyüktür. Elazığ'ın Maden, Adana'nın Aladağ, Kahramanmaraş'ın Elbistan, İzmir'in Bergama ilçesi gibi çoğu bölge, yakınlarında kurulu maden işletmelerinin sosyal sorumluluk projeleriyle toplum kullanımına yönelik binalar-tesisler kazanmıştır.

Sürdürülebilir madencilik faaliyetlerinin bileşenleri birbirlerinin tamamlayıcısı konumunda olup herhangi birindeki aksaklıksürdürülebilir madencilik faaliyetinin bütününe etkileyecektir.

## 6. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında Türkiye'deki enerji kullanımı ve planlaması irdelenmiş olup, sürdürülebilir kalkınma için aşağıdaki çıkarımlarda bulunulmuştur:

- Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınmasında madencilik sektörünün payı büyüktür. Kanun yapıcılar, sürdürülebilir madencilik uygulamalarına yasalarda ağırlık vermelidir. Böylece ülke kaynaklarının bilinçli ve çevre gözetilerek daha verimli şekilde toplum yararına sunulması sağlanacaktır.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş döneminde mevcut fosil yakıtlar maksimum verimde ve çevre yararı gözetilerek işletilmelidir.
- Enerjide dışa bağımlılığı azaltmayı amaçlayan Türkiye, fosil enerji kaynaklarınca zengin ülkelere komşu olması ve üç kıtayı birbirine bağlayan stratejik konumu nedeniyle enerji dağıtım merkezi olma avantajını iyi kullanmalı ve yenilenebilir enerjiye geçiş döneminde bu avantajdan maksimum fayda sağlamalıdır.
- Tüm maden kaynaklarının işletilmesi sırasında olduğu gibi enerjiye yönelik madenlerin (özellikle kömür) işletilmesi sırasında da cevher hazırlama uygulamaları titizlikle uygulanmalıdır. Cevher hazırlama uygulamaları hem çevre yararı hem de ekonomik nedenlerden ötürü kaçınılmazdır.
- CO<sub>2</sub> salınımını azaltmaya yönelik özellikle termik santrallerdeki gaz tutucu teknolojiler revize edilerek Kyoto protokolü uyarınca kişi başına CO<sub>2</sub> eşdeğeri sera gazı salınımı güncel 6 ton civarında seyreden değerinden 1990'daki 3.96 ton değerine çekilmeye çalışılmalıdır.

- Nükleer santrallere dayalı enerji politikası geliştiren Türkiye; sınırları içerisinde bu alanda uygulamalı eğitim ve araştırma olanakları geliştirmelidir.

## KAYNAKLAR

- Abas, N., Kalair, A., Khan, N., 2015. Review of Fossil Fuels and Future Energy Technologies, *Future*, 69, s. 31-49.
- Aras, E., 2013. The Necessity of Nuclear Energy in Turkey: A Comparison with Hydropower Energy, *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 8, s. 107-114.
- Austrade, 2015. Australian Trade Commission, (<http://www.austrade.gov.au/ArticleDocuments/1358/Sustainable-Mining-CR.pdf.aspx>).
- Balat, M., 2008. Turkey's Major Lignite Fields and Significance of Lignite for Energy Necessity, *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 3, s. 13-25.
- BOTAŞ, 2015. BOTAŞ Sektör Raporu, 32 s.
- BP, 2015a. Data Workbook - Statistical Review.
- BP, 2015b. BP Statistical Review of World Energy.44 s.
- Deepspaceindustries.com, 2015. (<http://deepspaceindustries.com/business/>).
- Deliano-Paz, F., Calvo-Silvosa, A., Antelo, S.I., Soares, I. 2015. The European Low-carbon Mix for 2030: The Role of Renewable Energy Sources in an Environmentally and Socially Efficient Approach, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, s. 49-61.
- Ediger, V.Ş., Berk, I., Kösebalaban, A., 2014. Lignite resources of Turkey: Geology, reserves, and exploration history, *International Journal of Coal Geology*, 132, s. 13-22.
- Ertürk, H., 2011, *ÇevreBilimlerineGiriş*, CeylanMatbaacılık, Bursa, 360 s.
- ETKB, 2015. (<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ulkemizde-Planlanan-Nukleer-Santral-Projeleri>).
- GWEC, 2015.KüreselRüzgarEnerjisiKonseyi, Global Wind Report, 77 s.
- IEA, 2015. World Energy Outlook Special Report 2015: Energy and Climate Change, Paris, 196 s.
- IEA, 2014. World Energy Outlook, Paris, 726 s.
- Krozser, A., 2012. The Role of Energy Transit in Turkish Energy Policy, Central European Üniversitesi Master Tezi, Macaristan, 66 s.
- Planetaryresources.com, 2015. (<http://www.planetaryresources.com/company/overview/>).
- Rajaram, V., Parameswaran, K., (Rajaram, V., Dutta, S., Parameswaran, K.), 2005. *Sustainable Mining Practices: A Global Perspective*, Taylor & Francis, Great Britannia, 324 s.
- Rexhauser, S.,Löschel, A., 2015. Invention in Energy Technologies: Comparing Energy Efficiency and Renewable Energy inventions at the Firm Level, *Energy Policy*, 83, s. 206-217.



- Şimşek, H.A., Şimşek, N., 2013. Recent Incentives for Renewable Energy in Turkey, *Energy Policy*, 63, s. 521-530.
- TEİAŞ, 2015. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, (<http://www.teias.gov.tr/MakalelerVeSunumlar.aspx>).
- TKİ, 2015. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu - Kömür Sektör Raporu (Linyit), 66 s.
- Tokgöz, N., 2010. Numerical Analysis of Worldwide CO<sub>2</sub> Emissions and Effects on Atmospheric Warming in Turkey, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 32, s. 769-783.
- Toklu, E., 2013. Overview of Potential and Utilization of Renewable Energy Sources in Turkey, *Renewable Energy*, 50, s. 456-463.
- Topkaya, S.O., 2012. A Discussion on Recent Developments in Turkey's Emerging Solar Power Market, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, s. 3754-3765.
- TPAO, 2015. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı-Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu, 60 s.
- TTK, 2015. Taşkömürü Sektör Raporu, 42 s.
- TÜİK, 2014a. Elektrik Santrallerinin Toplam Kurulu Gücü, Brüt Üretimi, Net Elektrik Tüketimi ([http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab\\_id=129](http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=129)).
- TÜİK, 2014b. Enerji Kaynaklarına Göre Elektrik Enerjisi Üretim Miktarları ([http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab\\_id=1578](http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1578)).
- TÜİK, 2015. Fosil Yakıt Üretim-İthalat Miktarları ([http://www.turkstat.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1029](http://www.turkstat.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1029)).
- TÜİK, 2015a. Greenhouse Gas Emissions Inventory (<http://www.turkstat.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18744>)
- Ünalın, G., 2013. *Kömür Jeolojisi*, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 556 s.
- Yang, D., Wang, P., Yu, X., Que, D., 2013. Germanium-doped Crystalline Silicon: A New Substrate for Photovoltaic Application, *Journal of Crystal Growth*, 362, s. 140-144.
- YEGM, 2015. ([http://www.eie.gov.tr/hakkimizda.a\\_spx](http://www.eie.gov.tr/hakkimizda.a_spx)).
- YEGM, 2015a. ([http://www.eie.gov.tr/document/elektrik\\_kurulu\\_guc\\_kaynaklar\\_2002\\_2012.pdf](http://www.eie.gov.tr/document/elektrik_kurulu_guc_kaynaklar_2002_2012.pdf)).
- YEGM, 2015b. ([http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/turkiyede\\_jeo.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/turkiyede_jeo.aspx)).

# Sürdürülebilir Gelişme Bağlamında Madencilik ve Çevre

## *Mining and Environment within the Context of Sustainable Development*

D. Kocabağ

*Ado Maden Grup, Antalya*

**ÖZET** 20. YY n ikinci yarısından itibaren dünyada kalkınma anlayışında yaşanan değişim ve Sürdürülebilir Kalkınma(SK) kavramı ele alındı. Brundtland raporu sonrası SK kavramı etrafında, bilhassa Birleşmiş Milletler(BM) öncülüğünde yapılan uluslararası toplantılar ve bunun devamında oluşturulan BM Küresel İlkeler Sözleşmesi ve bunun türevleri yeni ilkesel oluşumların SK kaynaklı bakışları ve ilkeleri özetlendi. Sürdürülebilir madencilik ve bu konuda Madencilik firmaları ve Devletlerarası teşkilatlar tarafından yapılan çalışmalar ve yaklaşımlar ele alınarak, önümüzdeki dönemde ülkemizde SK ve Sürdürülebilir madencilik konularında yaşanabilecek algıda sıkıntılara ve yapılabileceklere işaret edildi.

**ABSTRACT** Historical progress of the understanding of development has been highlighted and the need for sustainable development (SD) has been pointed out. By quoting the description of SD given by Brundtland Report, the meaning and content of SD is explained. Various meetings organized under the leadership of UN to promote SD are touched and the principles of Global Compact (GC) and the principles of other GC derivative SD motivated International organisations are reviewed. The short comings of Turkish mining industry related to environment are summarised and what is expected of the industry within the framework of sustainable development understanding and the International developments therefrom have been pointed out.

## 1. GİRİŞ

İnsan başlangıçta doğanın kendisine sunduklarını olduğu gibi kullanıyordu. Zamanla bilgi ve deneyimi arttıkça ona hâkim olmayı ve onu kendisi için kullanmayı öğrendi. Üretim güçlerinin gelişmesine bağlı olarak doğa ile olan etkileşimi ve ondan aldıkları artarken, insan toplumları gelişti ve yaşam seviyesi yükseldi. 18. yüzyıl sanayi devrimi ile makinaların devreye girmesi ve üretimin artması, insanın doğadan olan talebini ve buna bağlı olarak doğaya müdahalesini daha da arttırdı. Hatta insanı diğer canlılardan ayıran en önemli meziyetlerinden birinin, onun doğaya hükmedebilme yetisi olduğu konuşulur oldu.

Sanayi devrimi sonrası artan verimliliğe ve ekonomik kalkınmaya bağlı olarak, gelişen toplumlarda, bir yandan nüfus artarken diğer yandan insanların tüketim seviyeleri yükseldi. Bu süreçte yaygın olan genel kanı, her ne kadar daha 19. yüzyılda bile Thomas Malthus ve David Ricardo gibi toplum bilimci ve ekonomistler, nüfusun artışına bağlı olarak, bilhassa tarımın insanları besleyemeyeceği yönünde kaygılarını açıklamışlarsa da, doğal kaynakların sonsuz olduğu ve teknolojinin de gelişmesi ile ekonomik kalkınmanın ilelebet sürdürülebileceği yönündeydi<sup>(1)</sup>.

Gelişmişlik düzeyi ne olursa olsun, iktisadi büyüme öteden beri bütün toplumların temel hedefi olageldi. Ekonomik büyüme, işsizlik, yoksulluk, gelir dağılımındaki adaletsizlik vb. sorunların çözümü olarak görülüp teşvik edildi. İktisadi kalkınmanın temel ölçüsü olarak ekonominin rakamsal büyümesi, yani milli gelir artışı (GSYİH) referans olarak alınageldi.

Bu paradigma ikinci Dünya savaşından sonrasına kadar hakim konumunu korudu. Fakat 1950ler den sonra sanayileşmenin ilk dönemlerinde görece bol olan çevrenin doğal kaynak sağlama ve sanayi faaliyeti sonucu oluşan atıkları masnetme kapasitesinin, ekosisteme geometrik olarak artan bir yük getiriyor olabileceği fark edilmeye başlandı. Bilhassa gelişmiş ülkelerde iktisadi kalkınmaya karşılık ciddi çevresel sorunların biriktiği tespit edilmeye ve oluşan hava ve su kirliliği ve biyolojik ortamlardaki bozulmalar açıkça fark edilir oldu. Bu algı kalkınmayla çevre arasındaki ilişkiyi araştırmak için farklı girişimleri başlamasına yol açtı.

## 2. UYANIŞ

Kalkınma ile çevre arasında negatif bir ilişkinin olabileceğinin fark edilmesi, bölgesel ve uluslararası bazda, bilhassa Birleşmiş Milletler teşkilatının öncülük

ettiği bir çok araştırmanın ve toplantının yapılmasını sağladı. Bunlardan en önemlileri (Aslan, 2010; Aksu, 2011):

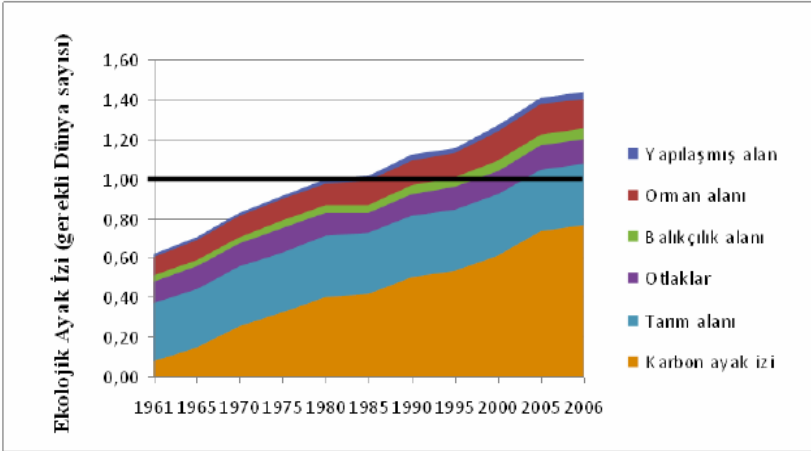
- 1972 Roma Kulübü Büyümenin Sınırları Raporu
- 1972 BM Stockholm İnsan ve Çevre Konferansı: UNEP kuruldu- 5 Haziran Çevre günü
- 1974 Akdeniz Eylem Planı: BM Çevre Programı(UNEP) –Akdeniz Ülkeleri
- 1976 Vancouver-Kanada BM İnsan Yerleşimleri Konferansı-Habitat-1
- 1980 BM Çevre Programı tarafından “Dünya Koruma Stratejisi” yayınlandı
- 1983 BM Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu kuruldu
- 1987 BM Çevre ve Kalkınma Komisyonu Raporu(Brundland Raporu) yayınlandı
- 1992 Rio çevre ve kalkınma Konferansı: Rio Deklarasyonu ve Gündem 21
- 1993 BM Sürdürülebilir Kalkınma Komisyonu kuruldu
- 1995 BM Nüfus ve Kalkınma Konferansı(Kahire)
- 1996 BM İstanbul İnsan Yerleşimleri Konferansı-Habitat-II
- 1997 BM New York Rio + 5 toplantısı
- 1997 Kyoto Protokolü
- 2000 BM Binyıl(Milenyum) Zirvesi ve Kalkınma Planı
- 2002 Johannesburg Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı:15 Yıllık Uygulama Planı
- 2012 Rio de Janeiro’da Rio + 20 “BM Sürdürülebilir kalkınma Konferansı”

Bu çalışmaların ve toplantıların her birinin amaç ve içeriğini burada ele almak bu tebliğin amacı ve kapsamını aşar. Fakat genel olarak bu araştırma ve toplantılar sonucunda: klasik ekonomik kalkınma anlayışının çevre ve sosyal boyut yönünden haiz olduğu darboğazların kavrandığını; kalkınmanın çevresel etkileri ve sonuçları, dünyanın yenilenebilir ve yenilenemez kaynakları ve bunların kalkınma ile olan ilişkileri vb. konuların geniş olarak ele alınıp tartışıldığını ve ekonominin sadece maddesel büyümesinin, yani kişi başına milli gelirin artmasının ve insanların daha çok tüketebilecek konumda olmasının toplumların mutluluğu ve refahı için yeterli olmadığı gibi; çevrenin de kalkınmanın sürekliliği için gerekli doğal kaynakları, bu kaynaklar teknolojinin geliştirilmesi ile belli oranda ikame edilebilseler bile, sonsuza kadar sağlayamayabileceğinin anlaşıldığını ifade edebiliriz.

İktisadi büyümeyi ölçmenin yanında insanın refah seviyesini(İnsani gelişme endeksi, Refah endeksi vb.) ve insanın ekolojik sistemle etkileşimini ölçen çeşitli yöntemler geliştirildi (Aslan, 2011; OECD, 2008). Araştırmalar gösterdi ki:

- Yaşanır bir dünya için Ekolojik sistemin bir alt sistemi olan ekonomik sistemin, ekolojik sistemle uyum içinde olması gerekmektedir. Bu konuda

Biyo kapasitenin ne kadarının kullanıldığına yönelik biyofiziksel değerlendirme yöntemleri içinde, insanlığın gezegen üzerindeki toplam etkisini yansıtan en kapsamlı araçlardan biri “Ekolojik Ayak İzi-Ecological Footprint”(EAI) hesaplamasıdır. EAI hesaplamaları, insanlığın biyolojik kaynak tüketimini ve yol açtığı atıkları kullanılan ekosistem alanıyla ifade etmektedir. Bu sayede bu alan, biyosferin veri bir yıldaki üretken kapasitesiyle kıyaslanabilmektedir. Kullanılan alan daha büyük olduğunda, ekolojik sorumluluk için gereken ön koşul sağlanamıyor demektir. Şekil 1, EAI açısından dünyadaki durumu, yıllar itibariyle göstermektedir. Şekilde görülen Siyah yatay çizgi dünyanın mevcut kapasitesini temsil etmektedir. Buna göre, ilk ayak izi hesaplamasının yapıldığı 1961’de insanlığın toplam ayak izi dünyanın kapasitesinin yaklaşık yarısı kadar iken, 1980 yılına gelindiğinde ilk kez bu kapasite aşılar hale gelmiş ve takip eden yıllarda ekosisteme olan talep ile mevcut arz arasındaki fark giderek artmıştır.2006 yılına gelindiğinde ise, toplam küresel talep in arzı %40 oranında aştığı, yani insanlığın var olabilmek için 1,4 dünyaya gereksinimi olduğu görülmektedir.

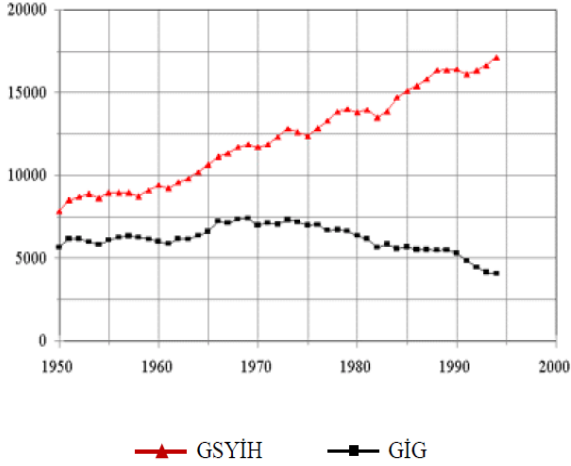


Kaynak: Wackernagel et. al. , “Tracking the ecological overshoot of the human economy”, 2002, <http://www.pnas.org/content/99/14/9266.abstract> adresinden erişilen veri seti ile Ewing et. al. 2009’ daki veriler kullanılarak hazırlanmıştır.

Şekil 1. İnsanlığın Ekolojik Ayak İzi ve Biyokapasitenin gelişimi (Aslan, 2010)

- İktisadi Büyüme uğruna içme sularının kirlenmesi, ormanların yok edilmesi, biyolojik çeşitliliğin azaltılması, doğal sermaye stokunun tüketilmesi gibi sorunlar yaratılırken refahın da beklendiği gibi artmadığı görülmektedir. ABD için büyümenin göstergesi olan GSYİH ile, refahın

göstergesi olan sayılabilecek “Gerçek İlerleme Göstergesi-GİG” nin(Genuin Progress İndicator) gelişimini gösteren Şekil 2 den görülebileceği gibi, bu ülke için bu iki gösterge arasındaki kopukluk bilhassa 1975 ten sonra daha belirgin hale gelmiştir (Aslan, 2010; Costanza vd., 2009; Kubiszewski vd., 2013).



Kaynak: Friends of the Earth, <http://www.foe.co.uk/community/tools/isew/international.html> , (19.3.2010)

Şekil 2. ABD için GSYİH ve GİG in karşılaştırılması (Aslan, 2010)

Yukarıda belirtilen BM Teşkilatı öncülüğündeki toplantı ve devletlerarası görüşmelerde, bazıları devletler düzeyinde bağlayıcı, bazıları yönlendirici birçok küresel ve bölgesel program geliştirilmiştir. Türkiye bu organizasyonların hepsine katılımcı olmak yanında, birçoğunun imzacı tarafıdır. Bu programların birçoğunun Sonucunda dünyanın geleceği için ne yapmalı sorusuna cevap olarak bir kavram özellikle öne çıkmaktadır: Sürdürülebilir kalkınma (Sustainable development). Sürdürülebilir Kalkınma, kapsam ve işleyiş yönünden bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de farklı veçheleri ile ele alınıp tartışılmaktadır (6-11,13) .

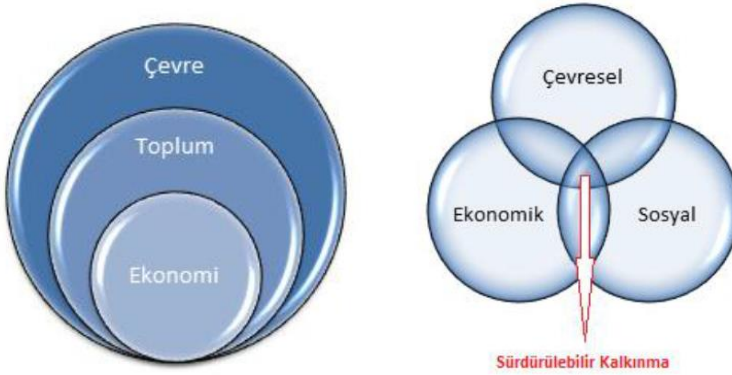
## 2.1. Sürdürülebilir Kalkınma

Sürdürülebilir kalkınma, bu gün ele alındığı bağlamda ilk defa BM Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu(WCED) tarafından Norveç başbakanı Gro Harlem Brundland başkanlığında bir komisyona hazırlanan “Ortak Geleceğimiz” raporunda(Brundland Raporu) tanımlanmıştır. Raporda <sup>(12)</sup> çevrenin korunmasıyla kalkınma arasındaki bağlantıya vurgu yapılmakta ve uluslararası düzeydeki

çevresel sorunların önemi farklı açılardan değerlendirilmektedir. Değişmenin ve yeni bir küresel etik anlayışının yalnızca gerekli değil; günün insan kaynağı, teknolojisi ve kaynakları ile aynı zamanda mümkün olduğuna değinilmiştir. Raporda belirtilen temel olgu, çevre ile ekonomik sorunların birbiriyle ilişkili olduğu ve insanların ihtiyaçlarının karşılanmasında doğal kaynakların korunması gerektiğidir. Bu noktada sürdürülebilir kalkınma stratejisi ortaya sürülmüş olup, Sürdürülebilir Kalkınma, “**Bugünün ihtiyaçlarını gelecek nesillerin de kendi gereksinimlerini karşılayabilmelerinden ödün vermeden karşılamak**” olarak tanımlanmıştır. Buna göre sürdürülebilir kalkınma üç hususu öne çıkarmaktadır (Aksu, 2011):

- Mevcut paradigmayla büyümenin sürdürülemezliği,
- Bugünün ihtiyaçlarının karşılanması,
- Gelecek nesillerin yaşam kalitesinin ve refahının güvence altına alınması gereği

Brundland raporundan sonraki süreçte, sürdürülebilir kalkınmanın üçlü yönü: Ekonomik, Çevresel/Ekolojik ve Sosyal, kabul edilmiş ve ancak bu üçünün birbiriyle uyumlu olmasıyla kalkınmanın sürekliliğinin mümkün olacağı kavranmıştır (Harris, 2000; 2003). Ayrıca ekonomik ve toplumsal sistemlerin, dünyamızın bütününe kapsayan ekolojik sistemin alt sistemleri olduğu ve onunla uyum içinde olmaları gerektiği anlaşılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Ekonomik ve toplumsal gelişmenin çevresel kısıtları ve Sürdürülebilir Kalkınmanın Boyutları (Aksu, 2011)

Sürdürülebilir kalkınma bağlamında:

**Ekonomik:** Ekonomik olarak sürdürülebilir bir sistem, mal ve hizmetler üretiminin sürekliliğini sağlamalı, yönetilebilir bir devleti ve dış borcu muhafaza

edebilmeli ve tarımsal ve endüstriyel üretime zarar veren aşırı sektörel dengesizlikleri önlemeli.

**Çevresel:** Çevresel olarak sürdürülebilir bir sistem, yenilenebilir kaynak sistemlerinin veya çevresel masnetme fonksiyonlarının aşırı kullanımını önleyerek ve yenilenemez kaynakların sadece uygun ikamelere yapılan yatırımlar düzeyinde tüketerek dengeli bir kaynak tabanını muhafaza etmeli. Bu, biyo çeşitliliğin, atmosferik dengelerin ve normal olarak ekonomik kaynaklar olarak sınıflandırılmayan diğer ekosistem fonksiyonlarının muhafazasını da ihtiva eder.

**Sosyal:** Sosyal olarak sürdürülebilir bir sistemin, dağıtımda adaleti, sağlık ve eğitim dahil yeterli sosyal hizmetlerin sunumunu, cinsiyetler arası eşitliği ve politik olarak hesap verme yükümlülüğünü ve katılımı sağlaması gerekir.

Görülebileceği gibi sürdürülebilirliğin bu üç unsuru yukarıdaki kısa sürdürülebilir kalkınma tanımına birçok karmaşık veçhe eklemektedir. Açıklanan hedefler çok boyutlu olup, günümüzde insanlık ailesinin önündeki belki de en temel soru bu amaçların nasıl dengeleneceği ve başarı ve başarısızlığın nasıl ölçüleceği sorularıdır. Tabi bir de eğer kalkınma konusunda bir paradigma değişimi gerekiyorsa, bu değişimin bedelinin kim tarafından ödeneceği ve farklı gelişmişlik seviyesindeki ülkeler arasında nasıl paylaşılacağı sorundur.

Yukarda gördüğümüz büyük oranda BM öncülüğünde yapılan toplantıların içerik ve sayılarından da anlayabileceğimiz gibi, kalkınma ve çevre konuları uluslararası platformlarda artık bir bütünsellik içinde ve küresel boyutta ele alınıp tartışılıyor. İş hayatı, şirketler olmadan iktisadi kalkınma olamayacağına göre şirketlerin sürdürülebilir Kalkınma konseptini benimsemeleri, gerek ulusal gerekse uluslararası ölçekte muhakkak ki çok önemlidir. Onun için BM öncülüğünde birçok girişime paralel olarak 2000 yılında şirketlerin gönüllü katılımını amaçlayan BM Küresel İlkeler Sözleşmesi (UN Global Compact, 2015) oluşturulmuştur.

## **2.2. BM Küresel İlkeler Sözleşmesi(UN Global Compact-BM GC)**

BM Küresel İlkeler Sözleşmesi, sorumlu ve sürdürülebilir şirket politikaları ve pratiklerinin geliştirilmesi, uygulanması ve duyurulup yayılması için bir liderlik platformudur. Gönüllük esasına dayalı olup, üyelik bizzat şirket yönetim kurulu başkanının Yönetim kurulunun onayı ile başvurması ile gerçekleşir. İş yönetimlerinin ve stratejilerinin, her yerde evrensel olarak kabul edilmiş insan hakları, Çalışma standartları, Çevre ve Yolsuzluk karşıtlığı alanlarında 10 ilkeyle uyumlu hale getirilmesini hedefler.



İnternet verilerine göre 13 157 firma platforma üye olmuş durumdadır. Türkiye den KOÇ; Sabancı, Borusan, Bilim İlaç, TÜSİAD, TİSK, Akkök, Coca Cola gibi çeşitli kurumlar ve örgütler de platform üyesidir (www.globalcompactturkiye.org).

### 2.3. BM Küresel İlkeler Sözleşmesi İlkeleri:

#### İnsan Hakları

İlke 1: İşletme/İş dünyası, ilan edilmiş insan haklarını desteklemeli ve bu haklara saygı duymalı.

İlke 2: İşletme/İş dünyası, insan hakları ihlallerinin suç ortağı olmamalı.

#### Çalışma Standartları

İlke 3: İşletme/İş dünyası, çalışanların sendikalaşma ve toplu müzakere özgürlüğünü desteklemeli.

İlke 4: Zorla ve zorunlu işçi çalıştırma uygulamasına son verilmeli.

İlke 5: Her türlü çocuk işçi çalıştırılmasına son verilmeli.

İlke 6: İşe alım ve işe yerleştirmede ayrımcılığa son verilmeli.

#### Çevre

İlke 7: İşletme/İş dünyası, çevre sorunlarına karşı ihtiyati yaklaşımları desteklemeli.

İlke 8: Çevresel sorumluluğu arttıracak her türlü faaliyete ve oluşuma destek vermeli.

İlke 9: Çevre dostu teknolojilerin gelişmesini ve yaygınlaşmasını desteklemeli.

#### Yolsuzlukla Mücadele

İlke 10: İşletme/ İş dünyası, rüşvet ve haraç dahil her türlü yolsuzlukla savaşmalı.

BM GC bağlamında dünyada şirket sorumluluğu hareketinin önemi ve buna bağlı olarak küresel gündemi belirleyen önemli eğilimlere dikkat etme gereksinimi gittikçe artıyor. Bu eğilimlere tepki olarak UN GC (2015) bağlamında kritik konularda çalışma gurupları ve programları oluşturuluyor. Bunlar arasında:

- İklim Duyarlılığı (Caring for Climate-C4C)
- CEO Su Yönetimi/Taahhüdü (The CEO Water Mandate)
- Sorumlu Yönetim Eğitimi İlkeleri (The principles of Responsible Management Education)
- Sorumlu Yatırım İlkeleri (The principles of Responsible Investment) sayılabilir.

## 2.4. İklim Duyarlılığı

2007 yılında BM Genel Sekreteri tarafından başlatıldı. BM GC, BM Çevre programı (UNEP) ve BM İklim Değişikliği ile ilgili BM Çerçeve Antlaşması (UNFCCC) sekreterliğinin bir girişimi ile oluşturulmuş olup, iş dünyasının iklim değişikliği konusundaki duyarlılığını ve rolünü arttırmayı amaçlamaktadır<sup>(16)</sup>. İş yaşamı liderlerinin pratik çözümler geliştirmeleri ve toplumsal tutumlar kadar, toplumsal politikaların oluşturulmasına katkıda bulunabilmeleri için bir çerçeve sunar. İlkeleri destekleyen tepe yöneticiler bu konuda hedefler oluşturmak, stratejiler ve pratikler geliştirmek bunları yaygınlaştırmak ve BM Küresel İlkeler Sözleşmesi çerçevesinde kamuoyu ile paylaşmak zorunda oldukları yükümlülüklerine ilave olarak emisyonla ilgili çalışmalarının sonuçlarını da paylaşmak zorundadırlar. 60 ülkeden 400 civarında firmanın üye olduğu belirtilmektedir ([www.caringforclimate.org](http://www.caringforclimate.org)).

## 2.5. CEO Su Yönetimi/Taahhüdü

Bu konudaki girişim BM GC, İsveç Hükümeti ve Su sıkıntısı ve Sanitasyon konularında duyarlı bir gurup firma ve bu konularda uzman bazı örgütler tarafından başlatılmış ve 2007 BM liderler zirvesi tarafından onaylanmıştır. Oluşan küresel su krizlerinin çözümüne pozitif katkıda bulunacak ve bu konuda stratejiler ve çözümler geliştirmeye odaklı bir özel ve resmi kurumlar inisiyatifi olarak tasarlanmıştır. Dünyanın her bölgesinden su sorununa çözüm arama konusunda diğer paydaşlarla işbirliği yaparak çaba göstermeye istekli ciddi firmaları bu amaç etrafında birleştirmeyi amaçlamaktadır.

CEO Su Yönetimi, gönüllüğe ve isteğe bağlı olup bu konuda çalışma taahhüdünü içerir. Yapısal olarak altı temel alanı içerir ve firmaları kapsayıcı su yönetimi yaklaşımına teşvik etmek üzere tasarlanmıştır. Altı temel alan (The CEO Water Mandate, 2013):

1. Doğrudan operasyonlar
2. Tedarik Zinciri ve Su Havzası Yönetimi
3. Birlikte Hareket
4. Kamu yararı(Public Policy)
5. Toplumsal Katılım
6. Şeffaflık

Su yönetiminin üye olan büyük su üreticisi ya da tüketicisi firmalar tarafından kendi çıkarlarına suistimal edileceği yönünde kaygılar da söz konusudur (The CEO Water Mandate, 2014).

## 2.6. Sorumlu Yönetim Eğitimi İlkeleri

Gittikçe karmaşıklaşan küresel pazarda iş dünyası, Çevre ve toplum arasındaki bağlantıların anlaşılması, bu gün iş yönetiminin önemli bir yönünü oluşturuyor. Küresel bir güç olarak iş dünyasının rolleri ve sorumlulukları daha acil ve karmaşık hale geliyor. Toplumsal sorumluluk ve sürdürülebilirlikle ilgili kavramlar artık iş yönetiminin zaruri unsurları olarak kabul ediliyorlar. Firmaların çevresel, sosyal ve yönetimsel sorumluluklarını stratejik planlarına ve çalışmalarına dahil eden bütünlendirici yönetim araçlarına gereksinimleri var. Buna bağlı olarak da yeni durumu yönetecek, sadece örgütsel hedefleri gerçekleştirip şirket ortaklarını legal platformlarda temsil eden değil, toplum içinde pozitif bir güç olarak İş dünyasının daha geniş etki ve potansiyelini yönetecek ve sorumluluklarını yerine getirecek yöneticilere gereksinim var.

Şirketlerin toplumsal sorumluluk ve sürdürülebilirlikle ilgili her türlü anlamlı ve sürekli değişiminde, kaçınılmaz olarak iş davranışlarının oluşumunu doğrudan etkileyen eğitim kurumları da büyük rol oynayacaktır.

Akademik eğitim kurumları, iş eğitimi, araştırma, yönetim geliştirme programları, öğretim ve başka yaygın fakat yeni değerlerin ve düşüncelerin yayılması ve benimsenmesi gibi daha az tutulan aktivitelerle yöneticilerin davranış ve tutumlarını şekillendirirler.

Bu bağlamda, BM Küresel İlkeler Sözleşmesi kapsamında üye eğitim kurumları yeni zamanların yöneticilerinin yetiştirilmesi için aşağıdaki ilkeleri belirlemişlerdir (Alcaraz, 2010; UN Global Compact, 2015);

### **İlke-1:Amaç:**

İş dünyası ve toplumun geneli için geleceğin değer yaratıcıları olmaları ve kapsayıcı ve sürdürülebilir bir küresel ekonomi için çalışmaları hususunda öğrencilerin yeteneklerini geliştireceğiz.

### **İlke-2:Değerler:**

BM Küresel İlkeler Sözleşmesi gibi uluslararası girişimlerde tanımlanan küresel sosyal sorumluluk değerlerini akademik çalışmalarımıza ve ders programlarımıza dahil edeceğiz.

### **İlke-3:Yöntem:**

Sorumlu liderlik için etkin öğrenme deneyimlerini mümkün kılacak eğitim ortamları, malzemeleri, süreçleri ve çevresi yaratacağız.

### **İlke-4: Araştırma:**

Kuruluşların sürdürülebilir sosyal, çevre ile ilgili ve ekonomik değer yaratmadaki rolleri, dinamikleri ve etkileri hakkındaki anlayışımızı geliştirecek kavramsal ve ampirik araştırmalar yapacağız.

### **İlke-5: Ortaklık:**

Yöneticilerin sosyal ve çevresel sorumlulukları karşılama karşılıklı güçlüklerle ilgili bilgimizi arttırmak ve birlikte bu güçlükleri aşma konusunda etkin yaklaşımları araştırmak için şirket yöneticileriyle etkileşim içinde olacağız.

### **İlke-6: Diyalog:**

Eğiticiler, İş dünyası, hükümet, tüketiciler, medya, Sivil Toplum Örgütleri ve diğer ilgili guruplar ve paydaşlar arasında küresel sosyal sorumluluk ve sürdürülebilirlikle ilgili kritik konularda diyalog ve tartışmaya ortam yaratıp, destekleyeceğiz.

Kendi kurumsal pratiklerimizin öğrencilerimize aktardığımız değer ve davranışların örnekleri olması gerektiğinin farkındayız.

## **2.7. Sorumlu yatırım İlkeleri**

İlkeler, 2005 yılında BM Genel Sekreterinin başlattığı girişim sonucu Yatırım kurumlarının ve başka paydaşların, Devletlerarası organizasyonların ve devlet kurumları temsilcilerinin, sivil toplum örgütleri temsilcilerinin ve akademisyenlerin katılımı ile hazırlandı. Süreç, BM Çevre Programı Finans Girişimi(UNEPFI) ve BM Global Compact tarafından koordine edildi (Principles for Responsible Investment, 2015; UN Principles of Responsible Investment, 2014).

İlkeler, gönüllülük esasına dayalı olup isteğe bağlıdır. Kuralcı olmayıp bunun yerine önemli yatırım kararlarının alınması ve sahiplenilme pratiklerine çevre, sosyal ve şirket yönetimi konularının dahil edilmesi için olası tutumların bir listesini sunar.

İlkelerin yatırım kurumu üst yönetimi tarafından imza atılarak kabul edilmesi, kurum liderlerinin ilkelere açık desteğini ifade eder. İlkelerin uygulanmasının sadece daha iyi uzun erimli finansal kazanımlara değil, aynı zamanda kurumsal

yatırımcılarla toplumun genelinin amaçları arasında uyum sağlayacağına inanılmaktadır.

İlkeler, yatırım ufku uzun erimli ve portfolyası çeşitlendirilmiş büyük yatırımcılar gurubunun çekirdek değerlerini yansıtıyorsa da, bütün kurumsal yatırımcıların ve profesyonel servis ortaklarının desteğine açıktır.

### **İlkeler:**

1- ESG (Environment, Social and Governance-Çevre, Sosyal ve Şirket Yönetimi) konularını yatırım analizlerimize ve karar alma süreçlerimize dahil edeceğiz.

Bu konuda olası aksiyonlar:

- ESG konularını yatırım politika beyanlarında açıkla
- ESG'yle ilgili araçların ölçümlerin ve analizlerin gelişimini destekle
- Kurum içi yatırım yöneticilerinin ESG konularını değerlendirmeye dahil etme yeteneklerini değerlendir
- Harici(External) yatırım yöneticilerinin ESG konularını değerlendirmeye dahil etme yeteneklerini değerlendir
- Yatırım Hizmet Sağlayıcılarından(finansal analistler, danışmanlar, brokerler, araştırma firmaları veya derecelendirme kuruluşları gibi) ESG faktörlerini yürüttükleri araştırma ve analizlerine dahil etmelerini iste.
- Akademik ve diğer araştırmacıları bu tema üzerinde özendir
- Yatırım profesyonelleri için ESG eğitimini savun

2- ESG konularını kendi politikalarımıza ve pratiklerimize dâhil edeceğiz ve aktif olarak sahipleneceğiz

Bu konuda olası aksiyonlar:

- Prensiplerle uyumlu aktif bir sahiplenici politika geliştir ve açıkla
- (Eğer dışardan temin ediliyorsa-outsourced), oylama hakkını uygula veya oylama politikasına uyulduğunu denetle
- (Ya doğrudan ya da dışardan hizmet alarak) bir bağlantı yeteneği geliştir
- Politika, yönetmelik ve standart geliştirmeye katıl(hissedar haklarının desteklenmesi ve korunması gibi)
- Ortakların kararlarını uzun dönemli ESG değerlendirmeleriyle uyumlu olarak dosyala
- Firmalarla ESG konularında görüş
- İşbirlikçi bağlantı girişimlerine katıl
- Yatırım Yöneticilerinden ESG ile ilgili faaliyetleri üstlenmelerini ve raporlamalarını iste

3- Yatırım yaptığımız kuruluşlardan ESG konularında uygun açıklamaları isteyeceğiz.

Bu konuda olası aksiyonlar:

- ESG konularında standardize edilmiş rapor iste(Global Raporlama Girişimi gibi araçları kullanarak
- ESG mevzularının yıllık finansal raporlara dâhil edilmesini iste
- Firmalardan ilgili normların, standartların, davranış kurallarının veya uluslararası girişimlerin(UN Global compact gibi) kabulü/uygulanması ile ilgili olarak bilgi iste
- ESG açıklamalarını teşvik eden ortak girişimlerini ve kararlarını destekle

4- Yatırım Endüstrisinde ilkelerin kabulünü ve uygulanmasını teşvik edeceğiz.

Bu konuda olası Aksiyonlar:

- Teklif taleplerine ilkelerle ilgili gereklilikleri dâhil et
- Yatırım talimatlarını, denetleme prosedürlerini, performans göstergelerini ve teşvik yapılarını uygun şekilde ayarla(Örneğin, uygun olduğu zaman yatırım yönetim süreçlerinin uzun dönemli zaman ufuklarını yansıtmasını güvenceye al)
- Yatırım servis sağlayıcılarına ESG beklentilerini ilet
- ESG beklentilerini karşılamakta başarısız olan servis sağlayıcılarıyla ilişkileri tekrar değerlendir
- ESG entegrasyonu mukayesesi(benchmarking) için araçların geliştirilmesini destekle
- İlkelerin uygulanmasını mümkün kılan düzenleme veya politika geliştirmelerini destekle

5- İlkeleri uygulamada etkinliğimizi arttırmak için birlikte çalışacağız

Bu konuda olası aksiyonlar:

- Amaçları paylaşmak, kaynakları birleştirmek ve yatırımcı raporlarından bir öğrenme kaynağı olarak faydalanmak için ağları ve bilgi platformlarını destekle/katıl
- Ortaya çıkan uygun mevzuları birlikte yönet
- Uygun işbirliği girişimlerini geliştir ve destekle

6- Her birimiz çalışmalarımız ve ilkelerin uygulanmasına yönelik ilerlemelerle ilgili olarak rapor vereceğiz.

Bu konuda olası Aksiyonlar:

- ESG konularının yatırım pratikleri içine nasıl entegre edileceğini açıkla
- Aktif sahiplenme çabalarını açıkla(oylama, görevlendirme-angagement, ve/veya politika diyalogu)

- İlkelerle ilgili olarak servis sağlayıcılardan ne istediğini açıkla
- ESG konuları ve ilkeleri hakkında yararlanan taraflarla iletişim kur
- Bir “Uy veya Açıkla”<sup>a</sup> yaklaşımıyla ilkelerle ilgili ilerlemeler ve/veya kazanımlar konusunda rapor ver
- İlkelerin etkilerini belirlemeyi iste
- Daha geniş bir paydaş gurubu arasında farkındalığı arttırmak için raporlardan yararlan

<sup>a</sup>: “Uy veya Açıkla” yaklaşımı imzacıların İlkeleri nasıl uyguladıkları konusunda rapor vermelerini veya nelerde onlara uymadıkları konusunda bir açıklama sunmalarını gerektirir.

### 3. SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA VE MADENCİLİK

İnsanlığın gelişiminde madenciliğin önemini tartışmaya gerek yok. Eğer madencilik ve insanın madenleri ayrıştırma ve işleme yetisi olmasaydı, bu gün bildiğimiz anlamda bir insanlık ve onun yarattığı medeniyette olamazdı demek hiçte abartı olmayacaktır. Medeniyetimizi şekillendiren üç temel malzeme türü var: metaller, Polimerler ve seramikler(bunlar olmasa olamayacak kompozitleri saymıyoruz).Bunların her üçü de kaynağını yer kabuğundan alıyor ve günlük hayatta karşılaştığımız son şeklini almadan önce bunların öncül maddeleri yer kabuğundan değişik madencilik yöntemleri ile çıkarılmak zorunda.

Elbette madenciliğin kapsamı ve uygulamaları sadece bu üç temel malzeme ile de sınırlı değil. Her türlü inşaat ve yapı malzemesinin hazırlanması, yolların yapılması, barajların, tünellerin vb. bir şekilde madencilik yöntem ve tekniklerinin uygulanmasını gerektiriyor. Tarihte insanoğlunun kat ettiği bazı önemli aşamaları, o dönemin yeniliği olan madencilik ürünleri ile adlandırıyoruz: Taş devri, Bronz çağı, tunç çağı, demir çağı gibi.

Madenciliğin bu önemi ve vazgeçilemezliği, nasıl insan uygarlığının devamının bir zorunluluğu ve kabullenilmesi gereken bir gerçeklik ise, madenciliğin çevre yönünden kirlenici ve doğayı tahrip etme potansiyeli olduğu da bir diğer gerçek. Bu mesleğin içinden insanlar olarak biz mühendislere ve bilim insanlarına düşen temel görev, bu iki gerçeklik arasındaki çelişkiyi çözmek: Madenler olmadan varlığımızı sürdüremeyeceğimize ve temiz ve yaşanılabilir bir çevre ye olan gereksinimiz de en az madenlere olan gereksinimimiz kadar acil ve önemli olduğuna göre, çevreyi kirlenmeden ve doğayı tahrip etmeden nasıl madencilik yapabiliriz sorusu üzerinde durmak zorundayız.

Temel sorumuz madencilik yapalım mı yapmayalım mı değil, çünkü eğer bu gün olduğumuz formatta var olacaksak, yapmak zorundayız. Sormamız gereken soru, nasıl madencilik yapalım, hangi teknolojiyi, yöntemi vs kullanalım ki, doğayı en az tahrip edelim ve doğayı, doğanın massetme kapasitesinin ötesinde kirlletmeyelim. Nasıl ve hangi yöntemle madencilik yapalım ki, bozduğumuz doğayı (eski haline getiremesek bile) insana uyumlu bir şekilde yine doğaya geri kazandırabilelim?

Sürdürülebilir madenciligi, sürdürülebilirliğin Brundtland raporunda verilen kısa tanımı bağlamında ele aldığımız zaman, madencilik ve metal sektöründe bu, madencilik projelerindeki yatırımların finansal olarak karlı, teknik olarak uygun, çevre yönünden muteber ve sosyal olarak sorumluluk sahibi olmalıdır anlamına gelir. Sürdürülebilir kalkınma kavramının uluslararası kamuoyunun gündemine düştüğü andan itibaren konunun içeriği bağlamında madencilğin taşıdığı öncelikli önemi göz önüne alarak ekonomisinde madencilğin önemli olduğunu düşünen ülkeler ve sektördeki rollerinin farkında olan firmalar, konuyu gündemlerine aldılar. Sürdürülebilir Kalkınma ve madencilik konusu bizzat sektörün kendisi tarafından raporlara ve araştırmalara konu olmaktadır (United Nations, 2015; Aubynn, 2013; Australian Government/Australian Trade Commission, 2015).

Madencilğin, minerallerin ve metallerin sürdürülebilir gelişmeye katkısını arttırmak ve performansını katalize etmek için 2001 yılında Uluslararası Madencilik ve Metal Konseyi (The International Council on Mining and Metals-ICMM) kuruldu. Konsey, 22 madencilik ve metal firmasının yanında 34 ulusal ve bölgesel madencilik örgütünü ve küresel Emtia birliğini(Global commodity assocaition) bir araya getiriyor<sup>(24)</sup>. ICMM üyesi 22 madencilik ve metal firmasının 62 ülkede 800 iş yerinde 800.000 insanı istihdam ettiği ve 34 üye birlik üzerinden 1500 firmaya ulaştığı ifade edilmektedir (International Council on Mining and Metals, 2015).

2002 yılında Johannesburg'da yapılan Dünya Sürdürülebilir Kalkınma zirvesinde, madencilğin ekonomileri için önemli olduğunu düşünen ülkeler, madencilğin kalkınmanın önemli bir aracı olabileceğini kayda geçirmek için Johannesburg Uygulama Planı'nın (Johannesburg Plan of Implementantation -JPOI) 46. paragrafını hazırladılar<sup>(25)</sup>. Bu paragraf, bir yandan madencilğin sürdürülebilir kalkınmaya pozitif katkılarını vurgularken, bir yandan da katkıyı arttırabilmek için öncelikle yapılması gerekenlere işaret etmektedir. Johannesburg Uygulama Planını daha etkin kılmak amacıyla mobilize ve koordine etmek için çabalayan ülkeler arasında gelişen işbirliği sonucu, Madencilik, mineraller ve Metaller ve Sürdürülebilir Gelişme ile ilgili Devletlerarası Forum(Intergovernmental Forum on



Mining, Minerals and Metals and Sustainable Development-IGF) oluşturuldu ve IGF BM tarafından bir paydaş olarak tanımdı. İGF, üyeleri tarafından yönetilen gönüllülük esasına dayalı bir işbirliği platformu olup, küresel bazda madencilik ve sürdürülebilir kalkınma konusunda devletlerarası bir politika platformu haline gelmiş durumdadır (The İntergov, 2015).

Formun amaçları madencilik, mineral ve metal sektörlerinin sürdürülebilir kalkınmaya ve yoksulluğun azaltılmasına katkısını geliştirmek, güçlendirmek ve teşvik etmektir ve 52 madencilik ülkesi üyesi durumundadır (<http://www.globaldialogue.info>).

Madencilik için iyi yönetişimin (Governance) anahtar unsuru, madencilik faaliyetlerinin kendisinin iyi yönetilmesi ile ilgilidir fakat sürdürülebilirlik söz konusu olduğunda yönetişim, madencilik faaliyetinin ötesine geçmek zorundadır. Herhangi başka bir işte olduğu gibi bir maden de bir gün muhakkak kapanacaktır, fakat Sürdürülebilirlik, madencilik faaliyeti sırasında yaratılan varlıkların madenin kapatılması ötesi varlığını sürdüren ve madencilik sektörünün ötesinde gelişmenin araçları olan başka varlık biçimlerine dönüştürülmesinin sonuçlarıdır. Bu süreç aynı zamanda yaratıcı sermaye girişi, telif hakları, lisans ücretleri, doğrudan ve dolaylı vergi gelirleri, alt yapı yatırımları vb. gibi madencilik yatırımlarından kaynaklanan bütün gelir kalemlerinin yönetiminde iyi yönetişimi gerektirir.

Gerek İGF (2010) gerekse ICM (2015) tarafından üyelerinin performansının sürekli gelişimini sağlamak ve sürdürülebilir gelişmeye katkıları arttırmak için sürdürülebilir madencilikle ilgili ilkeler oluşturulmuştur.

### **3.1. ICM'nin Sürdürülebilir Madencilikle İlgili İlkeleri**

1- Etik İş pratikleri ve Muteber firma yönetimi uygula ve muhafaza et:

- Yönetimin yürürlüğe koymak istediği etik iş prensipleri ve pratikleriyle ilgili firma beyanlarını geliştir ve uygula
- Rüşvet ve yolsuzluğu önlemeyi hedefleyen politikaları ve pratikleri uygula
- Çalışılan ülke kanunlarının ve yönetmeliklerinin gerekliliklerine uy veya (bunları) aş.
- Ulusal sürdürülebilir gelişme stratejileri içinde sürdürülebilir gelişmeye madencilik, mineral ve metal sektörlerinin katkısına imkân sağlayacak uygun ve etkin toplumsal politikaların, kanunların, yönetmeliklerin ve prosedürlerin oluşturulması için hükümetler, endüstri ve diğer paydaşlarla (birlikte) çalış

2- Sürdürülebilir gelişme değerlendirmelerini firma karar alma süreçlerinin bir parçası haline getir:

- Sürdürülebilir gelişme ilkelerini firma politikaları ve pratiklerine entegre et
- İşletmeleri sürdürülebilir gelişmeyi güçlendirecek bir davranış içinde planla, tasarla, çalıştır ve kapat
- Paydaş değerini arttırırken sosyal, çevresel ve ekonomik performansı geliştirmek için pratik uygulamaları iyileştir ve yenilik( İnovasyon ) yap
- Müşterileri, iş ortaklarını ve malzeme ve hizmet tedarikçilerini bizimize benzer prensipleri ve pratikleri benimsemeleri için teşvik et
- Kendi çalışanlarımız ve taşeronlarımızın çalışanları arasında her seviyede yeterli etkinliği sağlamak üzere, sürdürülebilir gelişme eğitimi sağla
- Açık ve rekabetçi pazarların gelişmesi için kamu politikalarını destekle.

3- Temel İnsan Haklarını destekle ve çalışanlarla ve faaliyetlerimizden etkilenen başkalarıyla ilişkilerde kültürlere, geleneklere ve değerlere saygı göster:

- Bütün çalışanlar için uygun ücret ve çalışma koşullarını garanti et ve zora dayalı, zorunlu veya çocuk işçiliği kullanma
- İki tarafı ilgilendiren konularda çalışanların yapıcı katılımına imkân ver
- Aktivitemizin her hususunda taciz ve uygunsuz ayrımcılığı elimine etmek için tasarlanmış politikalar ve pratikler uygula
- Güvenlik personeli dahil bütün ilgili personele uygun kültürel ve insan hakları eğitimi ve rehberliği sağlandığından emin ol
- İstem dışı taşınmaları minimize et ve önlemenin mümkün olmadığı durumda toplum üzerindeki olumsuz etkisini uygun şekilde kompanse et
- Yerli insanlar dahil yerel toplumların kültür ve mirasına saygı göster.

4- Uygun ve geçerli bilime dayalı risk yönetim stratejileri uygula:

- Faaliyetlerimizle ilgili bütün önemli sosyal, sağlık, güvenlik, çevresel ve ekonomik etkilerin belirlenmesinde, değerlendirilmesinde ve yönetiminde, ilgili ve etkilenen guruplarla işbirliği et
- Risk yönetimi sistemlerinin düzenli olarak gözden geçirilip güncellendiğinden emin ol
- Madencilikten, mineral ve metal operasyonlarından kaynaklanabilecek önemli riskler ve potansiyel riskleri etkin bir şekilde yönetmek için alınacak tedbirler hakkında, potansiyel olarak etkilenme olasılığı olan tarafları bilgilendir
- Potansiyel olarak etkilenebilecek taraflarla işbirliği içinde etkin acil eylem prosedürleri geliştir, muhafaza et ve test et.

5- Sağlık ve Güvenlik performansının sürekli gelişimi için çalış:

- Bizim kendi çalışanlarımızın, taşeronlarımızın çalışanlarının ve çalıştığımız yerdeki toplulukların sağlık ve güvenliği üzerinde önemli etkiye haiz olabilecek operasyonları her yönden sürekli iyileştirmeye odaklanmış bir yönetim sistemi uygula
- Kendi çalışanlarımız ve taşeronlarımızın çalışanları arasında ölümcül iş kazalarını, yaralanmaları ve hastalıkları elimine etmek için her türlü pratik ve makul tedbiri al
- Bütün çalışanlara sağlık ve güvenlik eğitimi sağla ve taşeronların çalışanlarının böyle eğitimleri almış olmalarını talep et
- Çalışanların düzenli sağlık kontrolünü ve risk değerlendirmesini yap
- Mümkün olduğu durumda hastalık ve yaralanma sonrası çalışanları operasyonlara tekrar yerleştir ve oryante et

6- Çevresel Performansımızın sürekli iyileştirilmesi için çalış:

- Arama aşamasından kapanana kadar yeni projelerin pozitif ve negatif, doğrudan ve dolaylı, ve kümülatif çevresel etkilerini değerlendir
- Olumsuz çevresel etkileri denetlemek, önlemek, azaltmak veya düzeltmek için sürekli gelişmeye odaklanmış çevre yönetim sistemleri uygula
- Operasyonlarca bozulan veya işgal edilen arazileri uygun madencilik sonrası toprak kullanımlarına uygun olarak rehabilite et
- Bakiye atıkların ve proses atıklarının güvenli stoklanmasını ve bertarafını sağla
- Bütün operasyonların kapatılma gereksinimlerini karşılayacak yeterli kaynakların varlığını güvence altına alacak işlemleri tasarla ve planla: Bunlar için gerekli kaynakları ayır

7- Biyolojik çeşitliliğin korunması ve toprak kullanımı planlamasına bütünsel yaklaşımlara katkıda bulun:

- Legal olarak ayrılmış koruma altındaki alanlara saygı göster
- Biyoçeşitlilik değerlendirme ve yönetimi konularındaki pratikleri ve tecrübeleri teşvik et ve bu konulardaki bilimsel verileri yaygınlaştır
- Toprak kullanımına, planlamasına, biyoçeşitliliğe, çevre koruma ve madencilige bütünsel yaklaşım için, bilimsel olarak doğru, kapsayıcı ve şeffaf prosedürlerin geliştirilmesini ve uygulanmasını destekle

8- Sorumlu ürün tasarımı, kullanımı, tekrar kullanımı, geri kazanımı ve ürünlerimizin bertarafına imkân yarat ve teşvik et:

- Metallerin ve minerallerin özelliklerinin ve bunların insan sağlığı ve çevre üzerindeki yaşam döngüsü etkisinin anlaşılmasını destekle
- Enerji, doğal kaynaklar ve diğer malzemelerin kullanımlarında güvenli ve etkin olan ürünlerin ve teknolojilerin kullanımını teşvik eden araştırma ve yenilikleri yürüt veya destekle
- Metaller ve mineraller değer zincirinin genelinde bütünlük malzeme yönetimi anlayışını geliştir ve teşvik et
- Düzenleyici kararlar için bir dayanak olarak ürünlerimiz ve operasyonlarımızla ilgili olarak düzenleyici merci ve diğer paydaşlara bilimsel olarak doğru veri ve analiz sağla
- Mineral ve metal ürünlerin güvenli kullanımını teşvik eden bilimsel olarak doğru politikaların, düzenlemelerin, ürün standartlarının ve malzeme seçim kararlarının gelişimini destekle

9- İçinde faaliyet gösterdiğimiz toplumun sosyal, ekonomik ve kurumsal gelişimine katkıda bulun:

- Sosyal etkilerin yönetimi ile ilgili konuları ve çatışmaları tartışmak ve tepki vermek üzere etkilenme olasılığı olan guruplarla en erken pratik aşamada temasa geç
- Azınlıkların ve diğer marjinalize gurupların eşit ve kültürel olarak uygun katılma araçlarına sahip olmalarını güvence altına al ve etkilenen guruplarla etkileşimi sürekli kılabacak uygun sistemlerin varlığından emin ol
- Projenin gelişiminden kapanana kadar ev sahibi toplumlar ve onların temsilcileri ile işbirliği halinde toplumun gelişimine katkıda bulun
- [Toplum sağlığı, eğitim, yerel iş geliştirme ] gibi programların iyi tasarlanmasını ve etkin bir şekilde hayata geçirilmesini sağlamak için hükümetlerle ve hükümet dışı organizasyonlarla işbirliklerini teşvik et
- Yoksulluğa karşı imkânlar yaratmaya çalışarak sosyal ve ekonomik gelişmeyi destekle

10- Paydaşlarımızla etkin ve şeffaf ilişki, iletişim ve bağımsız olarak doğrulanmış raporlama düzenlemeleri uygula:

- Ekonomik, sosyal ve çevresel performansımızla ilgili olarak bilgilendir(raporla) ve sürdürülebilir gelişmeye katkıda bulun
- Zamanlı, doğru ve ilişkili bilgi sağla
- Paydaşlarımıza açık danışma süreci yoluyla tepki ver ve ilgilen

ICMM ilkelerinin uygulamasını güvenceye almak için ICMM tarafından Güvence Prosedürü (Assurance Procedure) hazırlanmış ve 2008 yılında kabul

edilmiştir. Prosedürün, Avusturalya Mineral Konseyinin(Mineral Council of Australia) Sürekli Değer Kılavuzu (Enduring Value Guidance)<sup>(30)</sup> ve Kanada Madencilik Odasının(Mining Association of Canada) Sürdürülebilir Madencilik Çerçevesine Doğru(Towards Sustainable Mining Framework) rehberleri ile uyum içinde olması amaçlanmıştır. Güvence prosedürü, üyelerin ICMM ilkelerine ve GRI'nin(Global Reporting Initiative-Küresel Raporlama İnisyatifi) 2006 G3 Sürdürülebilirlik Raporlama kurallarına bağlılıklarına uygulanır (ICMM, 2010). Üye firmalar, Sürdürülebilirlik konusundaki çalışmalarını ve Güvence Prosedürüne uygun çalıştıklarını her yıl GRI G3 Sürdürülebilirlik Raporlama kurallarına göre kamuoyuna raporlamak durumundadırlar. Sürdürülebilirlik bütün sektörlerin gündeminde olup, uygulamanın denetimi için standartlar geliştirilmiştir (Assurance Standard, 2008).

Madencilik alanında sürdürülebilirlik konusunda uluslararası beş firmayı içine alan bir araştırmada Çizelge 1'deki kıstaslar değerlendirme konusu yapılmıştır (Lins vd., 2007).

Çizelge 1. Sürdürülebilirlik Denetim kıstasları <sup>(33)</sup>

Çevresel	Sosyal	Ekonomik ve Yönetişimsel
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biyoçeşitlilik ve arazi yönetimi</li> <li>• İklim değişimi</li> <li>• Su yönetimi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• İşçi ve toplum güvenliği</li> <li>• Paydaşlar ilişkileri</li> <li>• HIV/AIDS azaltma</li> <li>• Maden ömür çevrimi için politikalar</li> <li>• İnsan hakları</li> <li>• Toplum geliştirme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tedarik zinciri yönetimi</li> <li>• Şeffaflık ve hesap verebilirlik</li> <li>• Harici performans göstergeleri</li> <li>• Sektöre özgü/küresel girişimler</li> </ul>

Sürdürülebilir kalkınma ve sürdürülebilir madencilik artık üniversitelerin ders programlarına giriyor<sup>(38)</sup> ve bu konuda özel enstitüler kuruluyor. Avusturalya'da Queensland Üniversitesi sürdürülebilir Madencilik Enstitüsü (Sustainable Minerals Institute) buna bir örnektir (Brereton, 2003). Enstitüde Kaynakların Sürdürülebilir Yönetimi ana başlığı altında lisans ve lisansüstü eğitimler veriliyor ve

- Sürdürülebilir kalkınmanın temel prensipleri
- Maden projelerinin sosyoekonomik yönleri
- Toprak kullanımı planlaması
- Yerli hakları ve yerli(indigenous) meseleleri

- Madencilik ve maden zenginleştirmenin çevresel etkileri vb. gibi konular işleniyor ([www.smi.uq.edu.au/education](http://www.smi.uq.edu.au/education)).

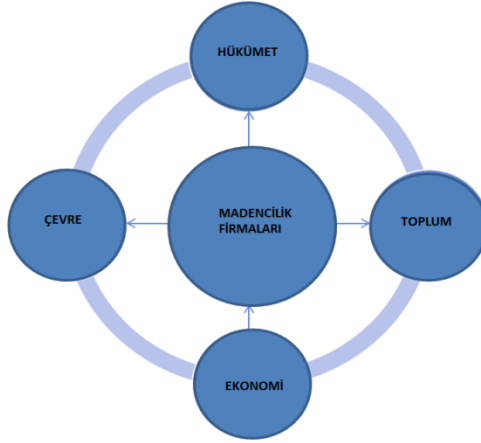
#### 4. NASIL BİR GELECEK?

Madencilik sektörünün içinden çalışanlar, işverenler, yöneticiler vb. olarak madenciliğin işleyişi açısından bizi nasıl bir gelecek bekliyor?

Şu ana kadar yaşanabilir bir tek dünya olduğunu ve eğer dikkatli olmazsak onu da riske atabileceğimizin farkına varmaya başladık. Bir kaç on yıl önce tüten bacalar ve her türlü üretim faaliyeti kalkınmanın, gelişmenin sembolleri olarak görülüp, gurur okşarken bu gün karışık duygulara neden oluyor. Bir taraftan ekonomik olarak kalkınıp zenginleşmek istiyoruz ama diğer taraftan temiz bir çevre, içilebilir nitelikte su ve solunabilecek hava olmadan zenginleşmenin de yeterli olmadığını anladık. Daha önce sadece kendi ülkemizden sorumlu olduğumuzu, bizde olanın biz de kaldığını düşünürken, artık anlamaya başladık ki dünyamız düşündüğümüz kadar büyük değil ve herkesin ayrı kompartımanları yok. Dünyanın bir ucunda bir kelebek kanat çırpırsa, o aynı zamanda bizi de etkileyebiliyor. Yerküremiz üstünde(içinde, yüzeyinde, atmosferinde) yaşayan en küçük mikroorganizmadan tonlarca ağırlığında canlılar, biz insanlar dahil, aynı ekosistemi paylaşıyoruz. Birbirimizi tamamlıyoruz. Birbirimize muhtacız.

Milyarlarca yılda oluşarak gelen dünyamız sadece bizim neslimize tahsis edilmiş de değil: Her nesil sonraki nesillerin emanetçisiyiz. Onun için dünyayı, bize emanet edileni iyi muhafaza etmek durumundayız. Elbette kalkınmalıyız, daha iyi bir hayatı istiyoruz. Sorun bunu istememizde değil, bunu nasıl yapacağımızda ,“daha iyi” nin içini nasıl dolduracağımızda. Artık insanlık ailesi olarak bir uyanış içindeyiz. Kalkınma çabamızda, bu gün kendi gereksinimlerimizi karşılarken gelecek nesillerin kendi gereksinimlerini karşılama becerilerinin imkânlarını yok etmeden bunu yapabilmek zorundayız.

Bu tebliğin önceki bölümlerinden Yeni bir dünyanın oluşmakta olduğunu açıkça görebilmemiz gerekir. Eğer dünyamız var olacak ve bize ev sahipliği yapacaksa, bu sürecin sonu ve geri dönüşü olmadığını, er ya da geç bizim de bu gelişmelere uymak zorunda olduğumuzu anlamak durumundayız. Bu süreç, yani Sürdürülebilir Kalkınma paradigmasının yerleşmesi ve bu bağlamda Sürdürülebilir Madencilik anlayışının gelişmesi tarihsel bir zorunluluk olarak bizleri de kendi çekim alanına alacaktır. Sürdürülebilir madencilik sadece maden firmalarına bırakılabilecek, yönetmeliklere hapsedilebilecek bir konu değildir. Konunun paydaşları sürekli etkileşim içinde birlikte çalışmak durumundadırlar (Şekil 4).



Şekil 4. Sürdürülebilir madencilik paydaşları

Demokratik bir toplumda herkesin hakları vardır ama haklar sorumluluklarla dengelenmezse, kaos, kargaşa hakim olur ve kalkınma yerine yoksulluk baki kalır. Madencilik firmaları, kamuoyuna karşı şeffaflık içinde işini yapma ve başarma konusunda kendisine güvenebilmelidir. Toplum da, madencilik faaliyeti olmadan sahip olduğu yaşam biçimini sürdürmesinin imkânsızlığının farkına varmalı( bir an için zamanın durduğunu ve taş devrine mağaranıza döndüğünüzü hayal edin) ve madencilik yapalım mı yapmayalım mı konusunu değil, nasıl yapalım, en iyi, en güvenilir teknolojik çözüm nedir bağlamında konuyu ele alabilmelidir: Birincisi yoksulluğu perçinlerken, ikincisi yeniliği ve gelişmeyi getirecektir. Devlet, ben sadece yönetmelik hazırlarım ve uymazsan ceza yazarım diyemez. Çözümün bir parçası olmak zorundadır. Devletin uzmanlık birimleri madencilik firmaları ile beraber projeler geliştirmeye hazır olmalı ve bu konuda sadece denetleyici değil aktif katılımcı olmalıdır.

Medeniyetimizin devamı için gerek duyduğumuz her şeyi bir şekilde yer küremizin kabuğundan elde ediyoruz. Her yaptığımız işte de, bu ister madencilik faaliyeti, ister yol inşaatı, isterse HES olsun onu değiştiriyoruz. Yaptıklarımızı yapmaktan vaz geçme şansımız olmadığına göre temel sorumuz, Yaptıklarımızı:

- En az hasarla doğanın kendi kendini tamir etme kapasitesi içinde nasıl yapabiliriz
- Değiştirdiğimiz doğal yapıları tekrar doğal habitata nasıl uyumlu hale getirebiliriz
- Doğadan aldıklarımızı en az fire ile en verimli şekilde nasıl değerlendirebiliriz

- Bir işlemde çıkan proses artığını başka bir amaç için kullanabilme imkanımız nedir
- Eğer bir prosesin artığını başka amaçla kullanma imkânı varsa, ekonominin genelinde bunu ekonomik olarak nasıl planlayabiliriz
- Bütün yaptığımız işlerde suyun, havanın ve çevrenin kirlenmesini nasıl önleyebiliriz
- Biyosfer in diğer üyelerine ve geneline zarar vermemek için neler yapabiliriz.
- Vb.

Sürdürülebilir madencilik yapmanın, gerek çevre gerekse sosyal sorumluluklar açısından, ekstra maliyetler oluşturacağından, bunun da firmaları sıkıntıya sokacağından kaygı duyabiliriz. Ama arama aşamasından madenin kapatılacağı ve kapatma sonrası yapılması gereken çalışmalara kadar, madencilik projesi her aşama için ciddi bir şekilde bütün boyutları ile değerlendirilir ve ona göre yatırım kararı alınır, yeni durumun firmalar için normalden daha riskli olması için bir neden görmüyoruz. Ülkemiz madenciliğinde gözlediğimiz aşağıdaki davranış kalıpları Sürdürülebilir bir ekonomik kültürde çalışmayı güçleştirecektir. Normal bir madencilik projesinin ömür çevrimi aşağıdaki aşamalardan geçerek gerçekleşir.

- Arama
- Tesis tasarımı ve inşası
- İşletme
- Son kapatma ve demontaj
- Kapatma sonrası işler

Bu aşamaların süreleri çevre koşullarına, madenin cinsine, rezervin büyüklüğüne, kurulacak tesisin kapasitesine vb. durumlara göre değişir.

Ülkemizde genellikle arama aşamasına pek yatırım yapılmamakta, kısa bir ön etüt sorası mostra verilerine vs. bakarak ciddi bir rezerv çalışması yapılmadan tesis kurma aşamasına geçilmektedir: Hâlbuki ciddi madencilik projelerinde arama süresi bazen 10 yıla kadar çıkabilmektedir<sup>(24)</sup>. Kurulan tesisin kapasitesi ile mevcut cevher rezervi ve cevherde olabilecek değişkenlikler arasında bir ilişki kurulmadığı için, tesisler çoğu zaman tam randımanlı çalıştırılmamakta, ya kapasite olarak yetersiz kalmakta ya da atıl duruma düşmektedir. Bu güne kadar çevre konusu bir maliyet kalemi olarak görülmemiştir. Sosyal sorumluluk ise bilinçli ve şeffaf bir yaklaşımdan ziyade “örtülü ödeneklerle” ele alınmıştır. Mevcut durumda bilhassa çevre konusunda yeni çıkan her türlü “yatırım” zorunluluğu firmaları zorlamaktadır. Çünkü bunlar yatırım aşamasında ele alınmış konular olmayıp, tam



rezerv durumu da bilinmediği için, finansal olarak kaynak ayırmak ciddi sıkıntı oluşturmaktadır. Bir de psikolojik olarak böyle bir duruma hazır olmama durumu var tabii. Yeni dönemde sürdürülebilir madencilik koşullarında maden arama aşamasını ciddiye alınıp, ciddi bir arama faaliyeti sonrası cevherin miktar ve niteliğini belirledikten sonra tesis kurulmasına karar vermek ve proje ömrünü belirlemek, projelendirmeye projenin bütün çevresel, sosyal ve ekonomik veçhelerini dâhil etmek ve proje maliyetinde daha sonraki bütün aşamalardan gelebilecek maliyetleri göz önüne aldıktan sonra projenin ekonomiklik durumunu karar vermek beklenmedik sürprizleri önleyecektir.

## 5. SONUÇ

1. Biz farkında olmasak ta sürdürülebilir kalkınma paradigması bütün dünyanın temel algısı haline gelmektedir.
2. Türkiye BM üyesi bir ülke olarak bu yeni anlayışın hem kurucusu hem uygulayıcısı olmak durumundadır
3. Sürdürülebilir kalkınma anlayışı içinde biz madencilerin sürdürülebilir madencilik yapmamız bir keyfiyet değil, gelecek nesiller adına emanet aldığımız dünyayı onlara yaşanabilir bir biçimde devredebilmemiz için bir zorunluluktur.
4. Başta maden Mühendisleri Odası olmak üzere madencilik camiasının konuyu tartışmaya başlaması ve bu konuda usul kılavuzları geliştirme çalışmaları yapması yararlı olacaktır
5. Konunun Üniversitelerimizde ders programlarına dahil edilmesinin de zamanı gelmiştir.

## KAYNAKLAR

- Alcaraz, J., M. ve Thiruvattal E., 2010. An Interview With Manuel Escudero The United Nations'Principles for Responsible Management Education: A Global Call for Sustainability", *Acad. Manag. Learn & Education*, Vol:9, No:3, 542-550.
- Aksu, C., 2011. Sürdürülebilir Kalkınma ve Çevre, Güney Ege Kalkınma Ajansı.Aslan, F., 2010. İktisadi Büyümenin Ekolojik Sınırları ve Kalkınmanın Sürdürülebilirliği, *Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara
- Aubynn T, 2015. Mining and Sustainable Development, The case of Gana, *The Gana Chamber of Mines*.

- Brereton, D, 2003, Promoting sustainable Development in the Minerals Industry: A Multy-Disciplinary Approach, *Centre for Social Responsibility in Mining*, [www.csr.mq.edu.au/docs/SD\\_Minerals.pdf](http://www.csr.mq.edu.au/docs/SD_Minerals.pdf)
- Costanza, R., Hart, M., vd., 2009. Beyond GDP: The Need For New Measures of Progress, *The Pardee Papers*.
- Harris, J.M., 2000. Basic Priciples of Sustainable Development, *Global Development and Environment Institute Working Paper*, Tufs University
- Harris, J., M., 2013. Sustainability and Sustainable Development, <http://isecoeco.org/pdf/susdev.pdf>
- The Intergov, 2010. A mining Policy Framework, Mining and Sustainable Development, managing one to advance the other. Forum on M M M and Sustainable Development.
- Kubiszewski, I., Costanza, R., ve d., 2013. Beyond GDP: Measuring and Achieving Global Genuine Progress, *Ecological Economics* 93, 57-68. Lins, C. ve Horwitz, E., 2007. Sustaibility in the Mining Sector. <http://www.fbds.org.br/IMG/pdf/doc-295.pdf>
- OECD, 2008. Measuring Sustainable Development, United Nations New York, Genova.
- National Research Council, 1999. Our Common Journey: A transition Towards Sustainability, *Board on Sustainable Development Policy Division, National Research Council, National Academy Press*, Washington, D.C.
- REC Türkiye (Bölgesel Çevre Merkezi), 2015. Avrupa Birliği Katılım Sürecinde Türkiye İçin Sürdürülebilir Kalkınma Yaklaşımları, *Toplantı Sunumları ve Tartışmalar*, Ankara.
- Tıraş, H, 2012. Sürdürülebilir Kalkınma ve Çevre: Teorik İnceleme, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 2/5.
- Toprak, D., 2006. Sürdürülebilir Kalkınma Çerçevesinde Çevre Politikaları ve Mali Araçlar, *SDÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, v:2, Sayı:4.
- United Nations, 2015. Berlin II: Guidelines for mining and Sustainable development. [http://commdev.org/files/903\\_file\\_Berlin\\_II\\_Guidelines.pdf](http://commdev.org/files/903_file_Berlin_II_Guidelines.pdf)
- Uysal, A. 2003. Sürdürülebilir Kalkınma:Genel Bakış, Yönetici Özeti, TÜBİTAK, Vizyon 2023. <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>
- [www.unglobalcompact.org](http://www.unglobalcompact.org)
- [http://caringforclimate.org/wp-content/uploads/C4C\\_Constitution\\_FINAL.pdf](http://caringforclimate.org/wp-content/uploads/C4C_Constitution_FINAL.pdf)
- [http://pacinst.org/wp-content/uploads/2013/04/ceo\\_water\\_mandate-1.pdf](http://pacinst.org/wp-content/uploads/2013/04/ceo_water_mandate-1.pdf),
- <https://d3n8a8pro7vhm.cloudfront.net/polarisinstitute/pages/31/attachments/original/14111065839>
- [www.unglobalcompact@un.org](http://www.unglobalcompact@un.org)
- [https://www.uwo.ca/hr/form\\_doc/pension/doc/investing/principles.pdf](https://www.uwo.ca/hr/form_doc/pension/doc/investing/principles.pdf)
- <http://www.malksp.com/wp-content/uploads/2012/07/UNPRI-Guide-for-Private-Equity-Fund-Managers.pdf>,

[http://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD\\_POI\\_PD/English/WSSD\\_PlanI  
mpl.pdf](http://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD_POI_PD/English/WSSD_PlanI mpl.pdf).

[http://www.commddev.org/userfiles/files/748\\_file\\_icmm\\_sustainable\\_developmen\\_  
framework.pdf](http://www.commddev.org/userfiles/files/748_file_icmm_sustainable_developmen_ framework.pdf)

<https://www.icmm.com/document/439>

[http://search.standardsmap.org/assets/media/InternationalCouncilonMiningandMet  
als/English/AtA Glance\\_EN.pdf](http://search.standardsmap.org/assets/media/InternationalCouncilonMiningandMet als/English/AtA Glance_EN.pdf)

[http://www.minerals.org.au/file\\_upload/files/resources/enduring\\_value/EV\\_Summ  
aryBooklet\\_June2005.pdf](http://www.minerals.org.au/file_upload/files/resources/enduring_value/EV_Summ aryBooklet_June2005.pdf)

[https://www.icmm.com/document/1349,](https://www.icmm.com/document/1349)

<http://www.accountability.org/images/content/0/5/056/AA1000AS%202008.pdf>

[http://www.oxfamamerica.org/static/media/files/metals-mining-and-sustainable-  
development-in-centralamerica.pdf](http://www.oxfamamerica.org/static/media/files/metals-mining-and-sustainable- development-in-centralamerica.pdf)

[https://www.austrade.gov.au/ArticleDocuments/1358/Sustainable-Mining-  
ICR.pdf.aspx](https://www.austrade.gov.au/ArticleDocuments/1358/Sustainable-Mining- ICR.pdf.aspx)

[http://www.qaa.ac.uk/en/Publications/Documents/Education-sustainable-  
development-Guidance-June-14.pdf](http://www.qaa.ac.uk/en/Publications/Documents/Education-sustainable- development-Guidance-June-14.pdf)

# Sürdürülebilir Mermer Madenciliği İçin Su Yönetimi Uygulamalarının Değerlendirilmesi

## *Evaluation of Water Management Practices for Sustainable Marble Mining*

M. Özçelik, G. Sarp

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta*

**ÖZET** Su kaynakları küresel olarak kamu ve özel kuruluşlar için önemli bir konudur, hatta daha fazlasıyla suya erişim bir insan hakkı olarak son zamanlarda kabul edilmesi gereken husustur. Diğer taraftan, su birçok sanayi için önemli bir girdidir, temiz su temini yüzey ve yeraltı kaynakları ve iklim değişikliğinin etkilerinin sonucunda azalmakta ve kaynaklara ulaşmak için rekabet artışının olduğu görülmektedir. Bu çalışma Türkiye'deki mermer maden endüstrisi için su kaynaklarını yönetmek için bir su stratejik plan gelişimini değerlendirmek ve bu önemli sorun ile şirketlere yardımcı olmak için genel bir metodoloji sunar. Makale paydaşlara su stratejileri geliştirmek için bir çerçeve sunmakta, bugün endüstrideki zorlukları ve sanayiye karşıya risklerin tanımlanmasını ele almaktadır.

**ABSTRACT** Water resources are a major topic of concern for public and private entities globally, even more with access to water being recognized lately as a human right. On the other hand, water is also a key input to many industries, which see how the competition for the resource has increase while supply of fresh water has decreases as a result of exploitation of surface and groundwater sources and effects of climate change. This work presents a general methodology to assess the development of a water strategic plan to manage water resources for the marble mining industry in Turkey, as an effort to help companies with this important challenge. The paper addressed the identification of key stakeholders, challenges and risks that face the industry today, giving them a framework to develop water strategies.

## 1. GİRİŞ

Dünyanın en zengin doğal taş oluşumlarının bulunduğu Alp kuşağında yer alan Türkiye, çok çeşitli ve büyük miktarda mermer rezervine sahiptir. Türkiye, bu kaynaklarla birlikte gelişmekte olan sanayisi ve üretimde kullandığı teknoloji ile dünyanın en önemli doğal taş üreticileri arasında yer almaktadır. Bu önemli rezervler Anadolu ve Trakya boyunca geniş bir bölgeye yayılmıştır. Afyon, Bilecik, Balıkesir, Denizli, Muğla, Burdur, Isparta, Amasya, Elazığ ve Diyarbakır rezervlerin yoğunlaştığı illerdir. Ülkemizde 80'nin üzerinde değişik yapıda, 120'nin üzerinde değişik renk ve desende mermer rezervi belirlenmiştir. Sektörde 500'den fazla ocak, 900'ün üzerinde fabrika ve 5000 civarında atölye faaliyet göstermektedir. Üretimin tamamına yakın kısmı özel sektör tarafından gerçekleştirilen mermer madenciliğinde yıllık blok üretimi 4.500.000 m<sup>3</sup> civarında olup işleme tesislerinin toplam plaka üretim kapasitesi 13 milyon m<sup>2</sup> civarındadır. Dünya mermer rezervi bakımından önemli bir yeri olan Türkiye, 400'e varan renk ve doku kalitesine sahip mermer çeşitleri ile pazar şansı çok yüksek bir ülkedir.

Doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilir yönetiminin sağlanması 21.yüzyılda insanlığın en önemli sorunlarından biri olmaya devam etmektedir. Dünya nüfusundaki hızlı artışla beraber, doğal kaynakların hızla tüketilmesi, düzenli yerleşim alanlarının daralması, çevre kirliliği ile ilgili problemler, ülkeleri ortak çözüm arama yolunda giderek daha sıkı bir işbirliğine yöneltmektedir. Çevreyi korumak ve bize emanet edilen bu paha biçilmez değeri gelecek kuşaklara aynı şekilde, hatta daha da iyileştirilmiş bir biçimde devredebilmek için çevreyi oluşturan tüm bileşenler bir bütün olarak düşünülmeli ve bütünün parçalarından herhangi birisinde meydana gelecek bozulmanın diğer parçaları da etkileyeceği bilinci geliştirilmelidir (Acuña ve Peñailillo, 2014). Su kaynaklarının yönetiminde iki temel husus ortaya çıkmaktadır: bunlardan biri su kaynaklarını korumak, diğeri su kaynaklarının kullanımını yönetmektir.

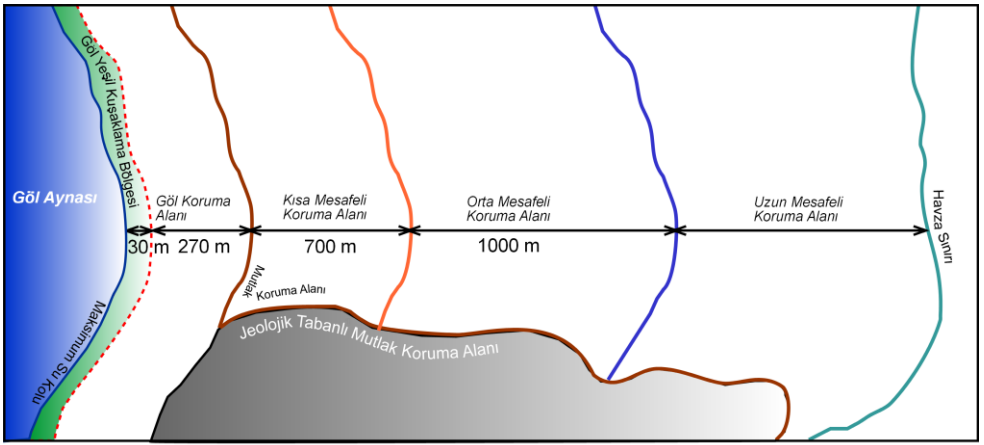
## 2. SU KAYNAKLARINDA KORUNMA ALANLARININ BELİRLENMESİ VE MERMER MADENCİLİĞİ

Su kaynaklarının korunması, gelecekte içme ve kullanma suyu temini bakımından çok önemlidir. Su kaynaklı sorunların üstesinden gelinmek isteniyorsa, öncelikle suya karşı ekolojik açıdan rasyonel bir duruş geliştirmek ve suyun üstün ve içkin bir değere sahip olduğunu kabullenmek gerekmektedir. Çünkü su, insanların olduğu kadar, diğer canlıların yaşamında ve gelişiminde çok önemli bir yere sahiptir. Su, sadece yaşamı sürdürmek için gerekli değil, aynı zamanda yaşam

destek sisteminde, ekonomik gelişimde, topluluk refahında ve kültürel değerlerde bütüncü bir rol oynaması bakımından çok değerli bir kaynaktır (Çolakoğlu, 2009).

## 2.1. Koruma Alanı

İçme ve kullanma suyu temin edilen veya edilecek olan yüzeysel su kaynakları için içme ve kullanma suyu temin edilmek üzere kullanılan veya kullanılması amaçlanan her türlü yapay veya doğal göller ile bunları besleyen sulara alanlardır. Kısaca yeraltı suyu kalitesinin yüzey kirlenmelerine karşı korunması için gerekli tedbirlerin alındığı alanlara koruma alanı denir. Koruma alanı 4 kola ayrılır (Şekil 1).



Şekil 1. Koruma alanlarının şematik gösterimi

## 2.2. Mutlak Koruma Alanı

İçme ve kullanma suyu temin edilen veya edilecek yapay veya doğal göller etrafında en yüksek su seviyesinin su ile karanın oluşturduğu çizgiden itibaren yatayda 300 metre genişliğindeki karasal alandır. Söz konusu alanın sınırının su toplama havzası sınırını aşması halinde, mutlak koruma alanı havza sınırında son bulur. Bu alanda aşağıda belirtilen koruma tedbirleri alınır.

a. Maksimum su seviyesinden itibaren 300 metre genişliğindeki şerit kamulaştırılır. Kamulaştırma suyu kullanan idare ve idarelerce yapılır. Ancak 1988 yılı veya su temin projesinin yatırım programına alındığı tarih itibariyle mevcut olan yapılarda bu alanda kamulaştırma yapılmıyca kadar, yapı inşaat alanında

değişiklik yapmamak ve kullanım maksadını değiştirmemek şartıyla gerekli bakım onarım yapılabilir.

b.İçme ve kullanma suyu projesine ve mevcut yapıların kanalizasyon sistemlerine ait mecburi teknik tesisler hariç olmak üzere, bu alanda hiçbir yapı yapılamaz. Bu alanda kalan mevcut yapılar dondurulmuştur (Şekil 2).

c.Çevre düzeni planına uyularak, bu alan içinde gölden faydalanma, piknik, yüzmeye, balık tutma ve avlanma ihtiyaçları için cepler teşkil edilir. Bu cepler su alma yapısına 300 metreden daha yakın olamaz.

d.Kamulaştırmayı yapan idarece gerekli görülen yerlerde alan çitle çevrilir veya koruma alanı teşkil edilir.



Şekil 2. Mutlak koruma alanında yapılmış fakat kullanımı yasaklanmış turizm tesisi

### 2.3. Kısa Mesafeli Koruma Alanı

Mutlak koruma alanı üst sınırından itibaren yatayda 1 kilometre genişliğindeki karasal alandır (Şekil 1). Söz konusu alan sınırının, su toplama havzası sınırını aşması halinde, kısa mesafeli koruma alanı havza sınırında son bulur (Şekil 3). Kısa mesafeli koruma alanı içinde;

- Turizm, iskan ve sanayi yerleşmelerine izin verilemez
- Her türlü katı atık ve artıkların depolanmasına ve atılmasına izin verilmez

c.Bu yönetmeliğin 17. maddesinin (b) bendinde anılan mecburi teknik tesisler ile 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu kapsamına giren uygulamalar dışında hafriyat yapılmaz.

d.Sıvı ve katı yakıt depolarına izin verilmez. Bu alanda kalan mevcut yapılar dondurulmuştur. Dondurulan binalarda mevcut yapı inşaat alanında değişiklik yapmamak ve kullanım maksadını değiştirmemek şartıyla gerekli tadilat ve bakım yapılabilir.

e.Bu alanın rekreasyon ve piknik amacıyla kullanılmasına dönük kamu yararlı ve günü birlik turizm ihtiyacına cevap verecek, sökülüp takılabilir elemanlardan meydana gelen, geçici nitelikte kır kahvesi, büfe gibi yapılara, suyu kullanan idarece onanmış çevre düzeni ve uygulama planlarına ve plan kararlarına uygun olarak izin verilebilir.

f.Bu alanda yapılacak ifrazlardan sonra elde edilecek her parsel 10000 m<sup>2</sup> den küçük olamaz. (e) bendinde belirtilen nitelikteki yapıların kapalı kısımlarının toplam alanı her parselde 100 m<sup>2</sup> yi geçemez.

g.Suni gübre ve tarım ilaçları kullanmamak şartıyla, hayvancılık ile ilgili yapılar hariç olmak üzere kontrollü olatmaya ve diğer tarımsal faaliyetlere Tarım ve Köyişleri Bakanlığının kontrol ve denetiminde izin verilir. Ayrıca erozyonu azaltıcı metodların uygulanması esastır.

h.Zorunlu hallerde, imar planı gereği yapılacak yolların bu alandan geçecek olan kısımlarında sadece ulaşım ile ilgili işlevlerine gerekli tedbirlerin alınması şartı ile izin verilebilir. Dinlenme tesisi, akaryakıt istasyonu ve benzeri tesisler yapılmaz.



Şekil 3. Kısa mesafeli koruma alanı



## 2.4. Orta Mesafeli Koruma Alanı

Kısa mesafeli koruma alanı üst sınırdan itibaren yatayda 2 kilometre genişliğindeki karasal alandır (Şekil 1). Söz konusu alan sınırının su toplama havzası sınırını aşması halinde, orta mesafeli koruma alanı havza sınırında son bulur. Bu alandaki koruma tedbirleri aşağıda belirtilmiştir;

a. Bu alanda hiçbir sanayi kuruluşuna ve iskana izin verilmez

b. Bu alanda yapılacak ifrazlardan sonra elde edilecek her parsel 5000 m<sup>2</sup> den küçük olamaz. Bu parsellerin tapu ve kadastro veya haritasında bulunan bir yol, yapılan ifrazdan sonra en az 25 metre cephesi bulunması mecburidir.

c. Bu alanda bulunan parsellerde sıhhi ve estetik mahzur bulunmadığı takdirde, parsel sathının %5 inden fazla yer işgal etmemek, inşaat alanları toplamı 2 katta 250 m<sup>2</sup> yi, saçak seviyelerinin tabii zeminden yüksekliği h=6.50 metreyi aşmamak, yola ve parsel sınırlarına 5 metreden fazla yaklaşmamak şartı ile, bir ailenin oturmasına mahsus bağ veya sayfiye evleri yapılmasına izin verilebilir. Bu alanda ayrıca, yerleşik halkın ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla entegre tesis niteliğinde olmayan mandıra, kümes, ahır, ağıl, su ve yem depoları, hububat depoları, gübre ve silaj çukurları, arhaneler ve un değirmenleri gibi konut dışı yapılara, mahreç aldığı yola 10 metreden, parsel hudutlarına 5 metreden fazla yaklaşmamak ve inşaat alanı kat sayısı %40 ı ve yapı yüksekliği h=6.50 metreyi geçmemek şartı ile suyu kullanan idarece izin verilebilir. Beton temel ve çelik seralar yaklaşma mesafelerine uyulmak şartı ile inşaat alanı katsayısına tabi değildir.

d. (c) bendinde belirtilen tesislerin atık suları, ancak teknik usuller tebliğinde verilen sulama suyu kalite kriterlerine uygun olarak arıtıldıktan sonra sulamada kullanılabilir.

e. Hiçbir şekilde maden ocağı açılmasına ve işletilmesine izin verilmez (Şekil 4)

f. Bu alanda suni gübre ve tarım ilaçları kullanılmaz

g. Bu alanda hiçbir surette katı atık ve artıkların depolanmasına ve atılmasına izin verilmez

h. İmar planı gereği yapılacak yolların bu alandan geçirecek kısımlarında sadece ulaşım ile ilgili fonksiyonlarına izin verilir. Akaryakıt istasyonu yapılamaz.



Şekil 4. Orta mesafeli bir sahadan su kaynağının görünümü

## 2.5. Uzun Mesafeli Koruma Alanı

Orta mesafeli koruma alanının üst sınırından başlamak üzere su toplama havzasının nihayetine kadar uzanan tüm yatay karasal alandır (Şekil 1). Bu alanda aşağıda belirtilen tedbirler alınır;

a. Bu alanın, orta mesafeli koruma alanı sınırından itibaren yatay olarak 3 kilometre genişliğindeki kısmında tamamen kuru tipte çalışan, tehlikeli atık üretmeyen ve endüstriyel atık su oluşturmayan sanayi kuruluşlarına izin verilebilir. Bu tesislerden kaynaklanacak katı atık ve hava emisyonunun rezervuarın kalitesini etkilemeyecek ölçüde ve şekilde uygun bertarafının sağlanması gerekir. Çöp depolama alanlarına ve bertaraf tesislerine izin verilmez. Bu alanda galeri yöntemi patlatmalar, kimyasal ve metalurjik zenginleştirme işlemleri yapılamaz. Madenlerin çıkarılmasına; sağlık açısından sakınca bulunmaması, mevcut su kalitesini bozmayacak şekilde çıkartılması, faaliyet sonunda arazinin doğaya geri kazandırılarak terk edileceği hususunda faaliyet sahiplerince Bakanlığa noter tasdikli yazılı taahhütte bulunulması şartları ile izin verilebilir. Bu alandaki faaliyetlerden oluşan atık suların; bu yönetmelikte belirtilen ilgili sektörün alıcı ortama deşarj standartlarını sağlayarak havza dışına çıkartılması ya da geri dönüşümlü olarak kullanılması zorunludur (Şekil 5).

b.(a) bendinde belirtilen alanın bittiği yerden itibaren su toplama havzasının sınırına kadar olan alandaki faaliyetlerden kaynaklanan atık suların, yönetmelikteki

deşarj standartlarını sağlayarak havza dışına çıkarılması veya geri dönüşümlü olarak kullanılması zorunludur.



Şekil 5. Uzun mesafeli alanda açılmış bulunan mermer işletme sahasından su kaynağının görünümü

### **3. SU KAYNAKLARINDA KORUMA ALANININ BELİRLENMESİ VE SÜRDÜREBİLİRLİK**

Her ne kadar üzerinde tartışılan bir kavram olsa da sürdürülebilirlik, kaynak etkinliğini, günümüz ve gelecek kuşaklar arasında dağıtım eşitliğini, ekosistemin korunmasını ve planlamaya ve yönetime halkın katılımını benimseyen bir etiği içermektedir ve bu temel ilkeler, suyun planlamasında, yönetiminde ve buna yönelik kararların alınmasında rehberlik edecektir (Aksungur ve Firidin, 2008).

Koruma alanlarının sınırları; akiferin çeşidine, hidrolik iletkenlik katsayısına, iletim katsayısına, porozite katsayısına, hidrolik eğime, depolama katsayısına, yer altı suyu seviyesi derinliğine, negatif sınır şartlarına, jeolojik yapı ve topoğrafya gibi faktörlere bağlı olarak belirlenir (Şekil 6). Koruma alanlarının tespiti sırasında akiferin hidrojeolojik özelliklerini belirlemek için yeterli kuyu gibi tesislerin bulunmaması halinde, uygun yerlerde yeterli derinlik ve sayıda su sondaj veya araştırma kuyuları açılarak akiferle ilgili gerekli değerlendirmeler yapılır.



c.Deşarj limitlerinin değerlendirilmesi alıcı ortam kalite standartlarına göre yapılır ve deşarj limitleri alıcı ortam kalite standartlarını aşmaz.

Kıyı suları dahil her bir su kaynağı tedbirler programı, havza yönetim programlarında ve havza koruma eylem planlarında havzanın bütüncül olarak korunmasını sağlayacak temel ve gerektiğinde tamamlayıcı tedbirler kapsayacak şekilde, bakanlık koordinasyonunda hazırlanır. Tedbirler programının hazırlanmasında havzaya özgü önemli su yönetim konuları öncelikle dikkate alınır.

Havza yönetim planlarındaki tedbirler programı, referans şartlar ve çevresel hedefler arasındaki boşluğu dolduracak şekilde hazırlanır. Tedbirler programı altı ayda bir bakanlıkça izlenir ve izleme sonuçları rapor haline getirilir. Rapora göre belirlenen tedbirlerin uygulanmasına rağmen su kütlelerinde iyileşmenin ve düzelmenin hedeflenen seviyede olmaması durumunda, tedbirler programı yeniden düzenlenir. Bu durumlara göre koruma alanları belirlenir.

## **5. KORUMA ALANLARI İLE İLGİLİ YASAL DÜZENLEMELER**

Türkiye’de su kaynaklarının korunması ve kullanılmasında kurumsal koordinasyon birçok Bakanlık tarafından sağlanmamaktadır. Tarım ve Köy İşleri, Çevre ve Orman, Bayındırlık ve İskan, Enerji ve Tabii Kaynaklar ve İçişleri Bakanlıkları ile yerel yönetimler yasal sorumlulukları çerçevesinde görev üstlenmişlerdir (Resmi Gazete, 2004; 2012).

Yayımlanan yönetmeliklerle kirlетici etkileri doğuran her türlü deniz ve kıyı suyu kullanımı ile boşaltımlar tamamen yasaklanmış veya izne bağlanmıştır. Türkiye’nin karasularına doğrudan yapılacak deşarj ve atık boşaltımlarının izinsiz yapılmasına getirilen yasaklama hükümleri, ülkenin ekonomik kullanım hakkı olan sulara dışardan gelecek dolaylı etkileri de ihtiva eder. Bu tür durumlarda idare, bu etkileri yaratan veya yaratama tehdidini oluşturanlara karşı gerekli tedbirleri alır. Buna göre;

a.Hiç kimse gerekli izni almadıkça yukarıda belirlenmiş sulara veya bu suları etkileyebilecek yakın sulara yasaklanmış veya izne tabi kılınmış maddeleri, Türkiye’den veya Türkiye dışından getirerek boşaltamaz ve atamaz.

b.Türkiye’nin hükümlerlik bölgesine giren denizlerde; gemilerden çöp, petrol ve petrol türevleri ile bunlarla bulaşık sıntıne suları, kirli balast suları, slaç, slop, yağ ve benzeri katı ve sıvı atıkların, her türlü kargo artıklarının ve bu denizler üzerindeki hava sahasında seyreden uçakların atıklarının boşaltılması yasaktır. Gemilerden kaynaklanan atıklar lisanslı atık kabul tesislerine veya lisanslı atık alma gemilerine verilir.

c.Yüzme ve rekreasyon amacıyla kullanılan kıyı sularının kirlenmesinin önlenmesi için sahillerin kum bandı üzerinde veya burayı etkileyecek yakınlıkta inşa edilen fosseptiklerin sızdırmaz olması ve oluşan atık suyun arıtma tesisi ya da kanalizasyon sistemine verilmesi gerekir.

d.Petrol ve türevlerini işleyen, doldurup-boşaltan, depolayan işletmeler kaza sonucu ve istenmeyen özel durumlar nedeniyle su ortamlarına petrol boşalması ihtimali göz önünde bulundurularak, gerekli acil müdahale planlarını yapmakla, personel, ekipman ve malzemeyi her an hazır bulundurmakla yükümlüdürler.

e.Kaza nedeniyle yangın tehlikesinin bulunduğu durumlar hariç olmak üzere Bakanlığın uygun görüşü alınmadan su ortamına dağılmış petrolün dibe çöktürülmesi veya kimyasal çözücü kullanılarak seyreltilmesi yasaktır.

f. Hafriyat artıkları, moloz, arıtma ve proses artığı çamurlar ve benzeri atıkların bertaraf amacıyla deniz ve kıyı sularına boşaltımı yasaktır.

g.Balıkçılıkla ilgili olarak yapılan, su ürünleri ekimi ve balık, sünger ve diğer su ürünleri kalıntılarının geri boşaltımı ve buna benzer işlemlerin liman, koy ve körfezlerde Bakanlığın uygun görüşü alınmadan yapılması yasaktır.

h.Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı tarafından gerçekleştirilen, kıyı ve açık denizlerde su ürünleri yetiştiriciliği amacıyla yapılan potansiyel alan belirleme çalışmalarında Bakanlığın görüşünün alınması zorunludur.

## 6. DEĞERLENDİRME

Bu çalışma ile mermer maden şirketleri, politikacılar ve hükümetler tarafından daha önce yapılan çabalara katkıda bulunmayı amaçlayan, mermer maden şirketleri için su yönetimine bir metodoloji sunması amaçlanmıştır. Sürdürülebilir bir mermer madenciliğinin yapılması isteniyorsa; öncelikle su kaynaklarının niteliğinin ve niceliğinin korunması gerekir. Su kaynaklarının yönetiminde ekolojik restorasyon, su kalitesinin yükseltilmesi, su tüketiminin sanayi, tarım ve doğa ihtiyaçlarına göre yeniden düzenleyecek mekanizmaların kurulması ve yönetim önemli yer tutmaktadır. Bu çerçevede mevcut ve planlanan projeler gözden geçirilmek zorundadır. Su paylaşım problemlerinin çözümü, bütün tarafların temsil edildiği kurullarca idaresi gerçekleştirilecek havza yönetimi planlarının oluşturulmasından geçmektedir.

Mermercilik faaliyetleri sırasında ve hatta tüm kaynakların sürdürülebilir bir maden projesinin planlanmasından itibaren su yönetimi yapılmasının gerekliliği ortaya konmuştur. Mermer madenciliği sektörüne ilişkin olarak uluslararası önemde doğa koruma statüsünün gerekçesi olan su kaynakları, göl ekosistemi, orman varlığı, doğal yaşam, yeraltı suyu gibi çevresel değerler ile insan yaşamı

açısından riskleri gözetilen yaklaşım benimsenmelidir. Bu yaklaşım doğrultusunda mermer madenciliğinin bilim ve tekniğine uygun uygulama kuralları çerçevesinde yapılması benimsenmelidir.

## KAYNAKLAR

- Acuña, A.P., Peñailillo, R., 2014. Water resources management at the mining industry in Chile, *IAIA14 Conference Proceedings' Impact Assessment for Social and Economic Development 34th Annual Conference of the International Association for Impact Assessment*, 8 - 11 April 2014, Enjoy Hotel and Casino, Viña del Mar, Chile (www.iaia.org)
- Aksungur, N., Firidin, Ş., 2008. *SUMAE YUNUS Araştırma Bülteni*, 8:2
- Çolakoğlu, E., 2009. Ortak bir değer olarak su ve su etiği, *ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt 5, Sayı 9, s.109–116
- Resmi Gazete Tarihi: 31.12.2004, Resmi Gazete Sayısı: 25687, Su kirliliği kontrolü yönetmeliği, Ankara
- Resmi Gazete Tarihi: 10 Ekim 2012 Resmi Gazete Sayı:28437, İçme suyu temin edilen akifer ve kaynakların koruma alanlarının belirlenmesi hakkında tebliğ, Ankara

# Maden Sahalarında Potansiyel Su Kalitesi ve Kirlilik Hafifletme Etkisini Hesaplayabilirmiyiz?

## *Potential Water Quality and Pollution Mitigation Impact of Mines, Can We Calculate them?*

C. Güneş, S. Tokgöz Güneş

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İzmir*

**ÖZET** Global ölçekte madencilik çalışmalarının en önemli çevre sorunu, su kaynakları üzerinde yarattığı olumsuz etkiler nedeni ile oluşmaktadır. Olumsuz etkileri sınırlama amaçlı yapılandırılan Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED), su kaynaklarını etkileyebilecek seviyede kirlenici ve asit üretebilen maden materyali potansiyelinin laboratuvar, saha teknikleri ve çeşitli tahmin modeli yaklaşımları ile değerlendirmelerini içerir.

Sularla ilgili araştırmaların başarısında, veri elde etmek için gerekli prosedürleri uygulayabilmek ve beklentileri karşılayabilecek yeterlilikte ortamın doğru, hassas, temsili, geçerli ve yeterli kapsam ve içerikte kavramsallaştırılması kritik öneme sahiptir. Günümüzde birçok hesaplama yazılım desteğinde yapılabilmektedir. Bu durum, uygulamalara başlamadan gidilecek yol ile ilgili çok önemli öngörülerin yapılabilmesini sağlayabilir. pH Redoks Dengesi C Dili (PHREEQC) desteğinde jeokimyasal modelleme, mühendislik ve bilimsel sorunların yaklaşık çözümlerinin oluşturulmasında çok yararlı bir araçtır.

**ABSTRACT** The most important environmental problems of the mining operation have caused a negative impact on water resources. Environmental Impact Assessment (EIA), the potential of the mined materials to generate acid and contaminants and to affect water resources is evaluated using laboratory and field techniques and a variety of predictive modeling approaches.

Conceptualization of environment within a correct, representative, valid and



sufficient scope and context to perform necessary procedures required to obtain data and to meet the expectations is of critical importance in the success of the studies on waters. Today many calculations can be performed with the support of software. This may allow very important projections about the way to be followed before starting the applications. Geochemical modeling with PHREDOX Equilibrium C Language (PHREEQC) is a useful tool for approximate solution to complex problems of scientific and engineering.

## 1. GİRİŞ

Global ölçekte madencilik çalışmalarının en önemli çevre sorunu su kaynakları üzerinde yarattığı olumsuz etkiler nedeni ile oluşmaktadır. ABD Çevre Koruma Ajansı (U.S. Environmental Protection Agency, US EPA), (2013) verilerine göre doğal ve insan kaynaklı kirlilik etkileri baskın olarak metal madenciliği (%47), elektrik (%13) ve kimyasallar (%12) nedeni ile oluşmaktadır. Doğal etkiler kısaca maden materyallerinin jeokimyasal kimliği, iklim ve su kaynaklarına yakınlığına bağlı oluşmaktadır. İnsan kaynaklı etkiler ise var olan bilginin etkin olarak kullanım yoğunluğundan (bakış açısı) üretilen verilerin temsil, doğruluk ve gerçekleştirme etkinliğine, yöntem, yaklaşım, tahmin, olasılık, güvenlik ve tasarım hatalarından (düşük anlaşılabilirlik) saha çevre şartlarının yeterince anlaşılabilmesine bağlı önlem alma tasarımlarındaki (hafifletme) başarısızlığa kadar geniş kapsamlıdır (Kuipers vd. 2006, Güneş ve Tokgöz Güneş, 2014).

Sumi ve Gestrin tarafından 2013'de madenlerden yıllık olarak kirlilik yaratan su miktarının bilinen 40 madenden 64-102 milyon m<sup>3</sup> aralığında, olası 13 ve tahmin edilen 4 madenden ise toplam miktarın 140-180 milyon m<sup>3</sup> arasında olduğu ve sahalarda önemli sorunlar oluşturduğu rapor edilmiştir. Kirlilik oluşumunda yasal yetersizliklerin yanı sıra çevre yönetim tasarımı, mineralojik ve hidrolik karakterizasyon yetersizliğine bağlı tahmin ve önlem hataları gibi temel ya da birçok gözden kaçan saha özelliklerine bağlı hatalı kimlik tespitleri bulunmuştur.

Su kalitesi üzerinde jeoloji/mineraller, hidroloji, iklim, temsili arazi ve laboratuvar test programı sonuçlarına göre oluşturulan tasarım, temsilde kullanılan ile gerçekteki bileşen özelliklerinin değişimini anlayamama, saha kavramsal, benzetim ve tahmin modeli yapılandırması ve atık yönetim-tasarım etkileri gibi birçok etken bulunmaktadır. Sahadan elde edilen verilere göre belirlenen potansiyel su kalitesi ile olası olumsuzlukların giderim tahmini (hafifletme) ÇED içeriklerindeki en önemli iki bileşendir (Kuipers vd., 2006). İşletme öncesi ana

resmin parçalarını oluşturan ÇED çalışmalarındaki taslak veri ve yüksek belirsizlik, kapanış öncesinde (temsili veri ve yüksek kesinlik) temel bir resim oluşmasını sağlayabilecek seviyeye gelir. ÇED içeriğinde yapılandırılan test ve benzetimlerdeki belirsizlik, hata ve sınır koşullar su kalitesinin korunmasında hatalı potansiyel tahmini ve ilişkili olarak hafifletmede uygulanan yöntem başarısızlıklarını getirdiğinden en genel sorunlardır. Günümüzde sorunların çözümünde teknik ve bilimsel çalışmaların desteğinde yeni test tasarımları, konuya hakimiyeti arttıran saha benzetim modelleri, yeni ÇED içerik öneri ve yasal gereklilikleri gibi sorunları azaltan yenilikler, artan oranlarda yapılandırılmaktadır.

Ülkemizde son yıllarda incelediğimiz ÇED rapor içeriklerinde sahayı dikkate alan çalışmaların artmasına rağmen su kalitesi çalışmaları açısından oldukça yetersiz durumdadır. Yüze ve yeraltı suyu üzerinde etki yapabilecek fiziksel ve kimyasal etkilerin doğası, boyutu ve bu etkileri kontrol altına alacak mühendislik veya endüstriyel adımları tanımlayabilecek içeriklerin artırılması ilerde karşılaşılabilecek sorunları azaltabilecek bir durumdur. Hatta bazı ÇED içeriklerinde saha benzetim-tasarım, kısa süreli çözünme testleri ile statik ve kinetik testler potansiyel belirleme ve önlem alma amacından çok yasal gereklilikleri ve sorun çıkmayacağını göstermek amacı ile yapılandırılmıştır. Testlerde hangi karışım ve reçetelerin ne amaçla denendiği, hangi benzetim şartlarının göz önünde bulundurulduğu ve işletme döneminde nasıl doğrulama ve gerekli tasarım güncellemeleri ile uzun dönem sürdürülebilir yönetim sağlanacağı ve neden sonuç ilişkileri belirsizdir. Testlerden elde edilen sonuçlara göre sahada oluşması muhtemel tepkimeler ve bu tepkimelerin nasıl yönetilebileceği konusunda alınacak önlem senaryoları (tepkisel bariyerler gibi) bulunmamaktadır. Kavramsal modellerin desteği olmadan işletme döneminde sadece izleme çalışmaları ile olası sorunların çözümünün sağlanması oldukça zordur. ÇED çalışmalarının büyük bir kısmında su kalitesi potansiyel belirleme çalışması yer almamaktadır. Raporlarda olası kalite sorunları da tanımlanmadığından geleceğe yönelik önlem alma tasarımları da bulunmamaktadır yada hedeften uzak genel yapılandırmalar şeklindedir.

Tarafımızdan yapılan çalışmaların desteğinde güncel teknik ve bilimsel kaynaklardan yararlanarak hazırlanan bu değerlendirme, maden alanlarında ÇED içeriklerinin oluşturulmasında yardımcı olabilecek genel bir anlayışı ve ilişkili su kalitesi problemlerinin azaltılmasında kullanılan yöntem ve model tasarımlarını özet olarak vermektedir. Konu ile ilgili daha detay bilgiler Zhu ve Anderson (2002), Appelo ve Postma (2005), Maest vd., (2005), Kuipers vd., (2006), Bethke (2008), TheNationalAcademiesPress (2007), Merkel ve Planer-Friedrich (2008),

EPA CREM (2009), Bundschuh ve Zilberbrand (2012) ve INAP (2015) gibi kaynaklardan sağlanabilir.

## 2. KAVRAMSAL ANLAYIŞ

Günümüz teknik ve yasal zemininde maden sahasında kazı alanı ve pasa malzemeleri gibi bileşenler ile etkileşimde olan yüzey ve yeraltı suyu kalitesinin ilksel şartlarını değiştirmeyeceğinin veya alınacak önlemlerle kalite sorunlarının önüne geçileceği öngörüsüne bağlı olarak çalışılabilmektedir. Bu durumda öngörü yapabilmek için sahadaki mevcut durumu anlamalı, işletme yöntemlerine göre olası değişimleri ve sorunları tanımlamalı, önlem senaryoları oluşturularak işletme ve kapanış dönemlerinde gerekli olması durumunda tahmin ve önlemler güncellenerek uzun dönem koruma şartları uygulanmalıdır.

Su kalitesi tahmini için bir sistemin öğrenilmesi ve en uygun tasarımın yapılabilmesi öncelikle kavramsal olarak farklı boyut ve ölçekteki verileri farklı seviyelerde algılayabilme becerimiz ve verileri karşılaştırma (fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin farkındalığında) ile düşüncelerimizde yarattığımız kavram ile başlar. Herhangi bir düşünsel (teorik) tasarımı olmayan bir sistemden (modelden) yararlanma olasılığının az olması gibi eksik kavramsal bilgi ile tasarlanan sistemlerde de başarı şansı gözden kaçırılan şartların sistemde oynadığı rol ile ilişkilidir. Pasa, atık ve kalıntı materyaller gibi sorun oluşturabilecek kaynakların sularla ilişkileri, alıcı ortam şartlarına kadar hafifletme yöntemleri ve nasıl bir algılama-izleme sistemi uygulanabileceği kavramsal tasarımın genel elemanlarıdır.

Su kalitesi tahmini doğası gereği çalışma alanı ölçeği ve sistemde rol alan bileşen miktarı, sayısı ve türüne bağlı olarak oldukça karmaşıktır. Günümüzde hemfikir olunan son nokta, öncelikle sahaya özel genel tasarım elemanlarını kullanarak elde edilen verilerden kavramsal bir veya birkaç bölümlü anlayış (model) geliştirmektir. Model, sorun ve çözümlerin sahada nasıl belirlenip, doğrulanıp gerçekleştirilebileceğine yönelik olarak yapılandırılacak testlerintemelini oluşturmaktadır. En genel yaklaşım; mevcut doğal şartları tanımlama, hidrolik, hidrojeolojik ve jeokimyasal özellikleri belirleme, kavramsal model geliştirme, kütle akışı ve girdi-süreç-çıkıtı dengesini tahmin etme, olası sorunlar ve hafifletme tasarımlarıdır.

### 2.1. Kavramsal Model Kurulumu

Eğer bir konuda doğru cevabı biliyor iseniz o konuda modele ihtiyacımız yoktur. Ancak doğada doğru cevap demek, birçok etkenin sistemde yarattığı değişimleri ve sonuçları zamana bağlı anlamak ve tahmin edebilmek demektir ki bu ortamın



mineroloji, jeomorfoloji...), hidroloji (sahaya giren yağış, yüzey ve yeraltısuyu, alıkonan ve çıkan su dengesi, dolum/akımyolu/boşalım ilişkileri...) ve jeokimyası (sahada su/kaya/gaz etkileşimine bağlı oluşan temel ve baskın tepkimeler “çözünme/çökme, asit/baz, sorpsiyon/desorpsiyon, yükseltgenme/indirgenme...”, sülfür oksitlenmesine bağlı asit oluşturma ve metal çözünlüklerinin belirlenmesi ve veri sağlama) tanımlamalarda kullanılan ana başlıklardır.

## 2.2. Su kalitesi Tahmin Altyapısı

Su kalitesi tahmininde kullanılan birçok kod olmasına rağmen bu çalışmada dünya çapında diğer rakiplerine göre yüksek oranlarda başarı sağlayan ve kabul gören PHREEQCI v.3 (Parkhurst ve Appelo, 2013) yazılımı temel alınmıştır. Potansiyel su kalitesinin tahmini için alandan üretilen kimlik verileri ile hidrojeolojik ve jeokimyasal model yaklaşımlarının kavramsal model tasarımında birleştirilmesi gerekir.

Su kalitesi için en önemli kimlik verileri major element ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{Mn}^{+2,+6,+7}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ...) kimyası ve ilişkili pH-Eh değişimini kontrol eden çözünme-çökme, redoks (yükseltgenme-indirgenme), sorpsiyon ve katyon değişimi gibi baskın süreçlerdir. Atmosferik oksijenin sudaki çözünmesine bağlı indirgenmesi ve pirit gibi sülfür içeren minerallerin oksidasyonu kalite sorunlarının en genel örneği olarak verilebilir. Bu durumda suda OH<sup>-</sup> iyonlarının kullanılmasına bağlı oluşan Fe türleri ve serbest kalan hidrojen iyonu derişimi nedeni ile oluşan düşük pH, ortamdaki karbonat ve silikat içerikli mineraller tarafından tamponlanabilme oranına göre içeriğindeki çözülmüş içeriği azaltır. Bu tamponlanma sayesinde pH değerinin yükselmesi düşük pH değerini yaratan Fe, Al, Mn ve sülfat içeriğinin çökme reaksiyonlarını başlatır. Bu reaksiyonların birçoğu anlık seviyede oluşabilirken tamponlamayı yapan çözünme reaksiyonları mineralin türü, içeriği gibi kimyasal ve parçacık boyutu (yüzey alanı), yoğunluğu ve yapısı gibi birçok fiziksel ve ortamdaki canlı etkinliği gibi biyolojik etkinliğin kontrolünde uzun zaman alabilir. Ayrıca suların akım yolları boyunca oluşan karışımlar ve iyon değişimleri majör element derişimlerini denetler. Suların karışımları, porsiyondaki payı yüksek olan nötr suların asit özellikteki suları seyrelterek hızlı bir pH yükselmesi sağlayarak çökecek mineral şartlarını değiştirebilir. Örneğin metal hidroksitler ya da oksihidroksitler yerine sülfatların çökmesi ortamdaki asit ortamın direncinin daha kolay kırılmasını ve pH değerinin daha kolay tamponlanmasını, dolayısı ile adsorpsiyon süreçlerini hızlandıran ve daha istenen bir su kalitesini sonuçlayabilir. İz element kimyasını kontrol eden süreçler ise redoks reaksiyonları, oksanyonlar, yüzeysel

kompleksleşme yapan anyonik veya katyonik yapıli elementler, fosfat reaksiyonları, katı çözeltili (solidsolutions: kısaca çökelen mineral içeriğine farklı katyon ya da anyonların katılımı), Fe, Mn, Al, Ti, Si içerikli oksitler, hidroksitler, karbonatlar, sülfatlar ve killeri oluşturan minerallerdir. Düşük pH değerleri yüzeylerin tercihi olarak H<sup>+</sup> iyonu ile kaplanması ve dolayısı ile desorpsiyonu arttırarak adsorpsiyon süreçlerinin oluşumunu sınırlamaktadır. Bu durumda ortamdaki pH ve Eh yönetimi iz elementleri kontrol eden süreçlerin gerçekleşmesindeki en önemli faktörlerden birisidir.

Genellikle yeraltı sularında bu süreçlerden ancak bir veya birkaç tanesi baskın olarak yer alırken asit/yüksek metal içerikli suların oluşumunda oldukça karmaşık reaksiyonlar bir arada anlık ve/veya uzun zaman sürecinde oluşabilmektedir. Oldukça karmaşık ve fazla sayıda olan bu süreç ve reaksiyonların anlaşılmasında ve modeller içinde oluşturularak ileriye dönük tahminler yapılmasında güncel doğal ortamda hangilerinin olduğunu belirleyebilmek oldukça büyük kolaylıklar sağlayabilir. Ortamdaki katı ve karışımındaki hisselerine göre yüksek kütleli suların (tipik yağış, yüzey ve yeraltı suları vb.) temsili karakterleri belirlenmelidir. Bundan sonra ana başlıklar halinde; çözünme-çökeltme, asit-baz, redoks, sorpsiyon, iyon değişimi, yüzeysel kompleksleşme ve gaz çözünmesi veya çözeltiliden ayrılması gibi süreçlerin hangilerinin ortamdaki kompozisyonu kontrol ettiği model çalışmaları desteğinde tahmin edilebilir. Genel bir model yazılımı (örneğin PHREEQCI,U.S. GeologicalSurvey(USGS) tarafından desteklenen ücretsiz yazılımdır) ve kimyasal termodinamik veri tabanı bir araya getirildiğinde yukarıda anlatılan majör ve iz element kimyasını kontrol eden süreçler girdi parametresi olarak tanımlanarak kavramsal modellerde tanımlanan potansiyel su kaliteleri tahmin ve test edilebilir. İleriye dönük tahminlerle sürprizlerin azaltılması, belirlenen olumsuzlukların boyutu ve maliyeti, planlanan tedbirlerle risklerin boyutunun ve hangi oranlarda azaltılabileceğinin tasarımı gibi birçok sorunun çözüm yolları daha işletim aşaması başlamadan yapılandırılabilir.

PHREEQC Interactive yazılımı (v3.1) süreç gruplamalarını başlangıç şartları, ileri ve geri modelleme, çıktı ve sayısal metotlar, stokiyometri ve termodinamik veri başlıkları altında sınıflamıştır. Başlangıç şartlarında, çözeltili ve çözeltiliye uygulanabilecek yüzeysel kompleksleşme, katyon değişimi, denge fazları, gaz fazlar ve katı çözeltili gibi temel süreçler yer almaktadır. İleri ve geri modellemelerde, başlangıçta tanımlanan çözeltili veya çözeltilere uygulanabilecek karışım, reaksiyon, reaksiyon sıcaklığı, oran, ters model, kinetik, advektif ve tepkisel taşınım gibi model yapılandırma modülleri ve içsel yapılandırma bileşenleri yer almaktadır. Yazılımda termodinamik veri tabanı içeriğindeki

fazların dışında kullanıcı tanımlı reaksiyonlarla da çalışabilmektedir. Sulardaki çözünmüş bileşenlerin, tür ve aktiviteleri, yük dengesi, zehir etkisi yaratan türler, tuzluluk ve biyolojik yararlanabilme, pH-Eh ve iletkenlik karşılaştırması, mineral doygunlukları, su kompozisyonu ile sahadaki minerallerin dengesi ve karşılaştırılması, ters kütle denge modellemesi (sahadaki minerallerin su kompozisyonuna katkısı, farklı karakterli suların karışımları ve/veya karışmış suların ilksel durumlarına göre karışım oranları, katyon değişimleri) ve ileri kütle denge modeli (akım yolu reaksiyon modeli) ile termodinamik temelde asit-baz tamponlama ve geleceğe yönelik baskın şartların sürücülüğünde (atmosfere açık-kapalı mineral denge reaksiyonları..) su kompozisyonunun sorgulanması ve anlaşılmasında gerekli hesaplama çalışmaları yapılabilir.

Model çalışmalarında sahadan elde edilen ve model gerekliliklerini sağlayan ölçüm, analiz ve gözlemsel veriler tutarlılık, geçerlilik, kesinlik, doğruluk-güven, tamlık, karşılaştırılabilirlik, temsil, anyon-katyon denge hatası, alkalinite-pH uygunluğu, arazi ölçümlerinin uygunluğu ve saha süreç temsil etkinliği gibi bir çok değişken PHREEQCI ve excel yazılımları yardımı ile bir ön değerlendirmeden geçirilmektedir. Laboratuvar analizlerinde örnek parçalama ve saflaştırma teknikleri, farklı ölçüm cihazları ve yöntemleri, matriks değişimi yaratan düşük-yüksek derişimli bileşenleri ölçme ve hataları değerlendirmelerde göz önünde bulundurulmuş şartlardır. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde laboratuvarların birimleri (mg/L, µg/L, mg/kg, µg/kg, ppt, ppb, ppm) nasıl belirlendiğinden farklı birimleri uyumlandırmaya ve sonuçların tutarlılığına kadar titiz ve farkındalıklı bir çalışma gözetilmeye çalışılmaktadır. Model ayarlamaları, duyarlılık, belirsizlik ve geçerliliklerde, farklı risk seviyelerine göre prosedürler uygulanmaktadır. Ayrıca model seçimi ve kullanımı, yapılandırma, geliştirme, değerlendirme ve raporlanmasında olabildiğince şeffaf, anlaşılır, sade ve gerekli ayrıntılı içerikleri barındıracak bir şekilde olmasına özen gösterilmektedir (NRC, 2007; EPA CREM, 2009).

Modellerde statik ve kinetik test sonuçları, ortamdaki güncel su kimlikleri, karışımları ve buharlaşma oranları, mineraller ve gaz içeriklerinin dengedengesizlik halleri gibi birçok bileşen dikkate alınmaktadır. Duyarlılığın yeterli seviyede sağlanabilmesi için çözünmüş içerik değişikliği, farklı zaman ve yağış şartlarında (yıllık değişim) oluşan değişimlere dikkat edilmektedir. Belirsizliklerin önemli sonuçlar yaratmaması için ilgilenilen bileşenler bazında oluşan değişimlerin kümülatif etkilerine, temsiline, geçerliliklerinin sağlanmasına ve karşılaştırmalar yapılarak gidilen yol ile ilgili güven aralıklarına dikkat edilmeye çalışılmaktadır. Baskın süreçlerin, reaksiyonların ve sonuç kompozisyonlarının belirlenmesinde

duyarlılık-belirsizlik dengesi kurulmaya çalışılmaktadır. Tahmin hatalarını azaltmak için model çalışma farkındalığı, saha ve model şartlarındaki anahtar süreçlerin gözden kaçırılmaması, verilerin tamamlanmışlık ve uygunluk değerlendirmelerinin yapılmasına dikkat edilmektedir. Sınırlı sayıda gözlemlenen etkilerin genele yada genel etkinin sınırlı alandaki temsile etkisinin saha karşılaştırmalı ve gerekli ölçeklerde sınırlarının akım yolu özelliklerinden belirlenmesine çalışılmaktadır. Karşılaştırmalar önceki, günümüz, benzer saha şartları ve literatürde yer alan yol gösterici çalışmalar dikkate alınarak yapılmaktadır.

Su kalitesi ile ilgili araştırmaların başarısında ortamın doğru, hassas, temsili, geçerli ve yeterli kapsam ve içerikte kavramsallaştırılması kritik öneme sahiptir (Nordstrom, 2012). Sular içinde çözülmüş türlerin (Garrels ve Thompson, 1962), çözülmüş içeriği değiştiren reaksiyonların hesaplanmasından ve ilk bilgisayar ile hesaplanmış reaksiyon yollu modelin kullanılmasından günümüze kadar jeokimyasal modellemenin su kaynakları yönetimi uygulamalarında su kalitesi değişimlerine neden olan süreçleri anlamamızda çok önemli katkısı olmuştur. Yüze-yeraltısuyu sisteminde oluşan reaksiyonların anlaşılabilmesi için gerekli en gelişmiş teknolojik içerikler, ileri ve ters kütle dengesi problemleri, model yapılandırma geçmişi, test ve mantıksal olasılıklar, model gereksinimleri, tahmini ve geçerlilikleri gibi özellikler Plummer vd., (1983), Plummer, (1984), Glynn ve Brown, (1996), Zhu ve Anderson (2002), Glynn ve Plummer (2005), Konikow ve Glynn, (2005), Appelo ve Postma (2005) ve Zilberbrand (2012) gibi birçok araştırmacı tarafından oldukça geniş kapsamlı bir şekilde özetlenmiştir.

Atıksu, yüze ve yeraltı suları ile ilişkili çevresel sorunlar Türleştirme-Çözünürlük (T-Ç), Ters Kütle Dengesi (TKD), İleri Modelleme (reaksiyon yollu modelleme, İM) ve Tepkisel Taşınım Modelleri gibi modeller kullanılarak anlaşılabilir ve sorunlara çözüm yolları araştırılabilir. Bu model türleri günümüzde bilim ve mühendislik alanında kullanımı olan en gelişmiş yöntemlerdir. PHREEQCI, ölçüm ve analiz parametrelerini girdi olarak tanımlanmış bir su kompozisyonuna ve termodinamik veri tabanına bağlı olarak, ilişkili olası çözülmüş iyonik türleri, çözünen ve çökelen katı fazların kütle dengesi ve kütle hareketi denklemlerini kullanarak kısa zamanda hesaplayabilir. Çözülmüş türlerin aktivite katsayıları Debye-Hückel yaklaşımı veya Davis (>0,5 yüksek iyonik şiddetlerde) deneysel denklemleri kullanılarak hesaplanabilir. Çözünenler ve katı yüze arasında oluşabilecek iyon değişimleri Gaines-Thomas bağıntısı kullanılarak, olası değiştirici miktarı, kompozisyonu ve yüküne bağlı adsorblanabilecek iyonlar ters veya ileri yönde modeller tasarlanarak, çözülmüş



kompozisyon miktar ve değişim sınırları Newton-Raphsonmetod kullanılarak hesaplanabilir. Örneğin, ters kütle dengesinde Newton-Raphsonmetod ile su çözünmüş içeriğinde katkısı olan olası mineral çözünmeye ve çökeltme miktarları ve reaksiyon katsayıları hesaplanarak çözünen-çökelen mineral miktarı alternatifleri ile birlikte belirlenebilir.

Türleştirme hesaplarında sıcaklık, pH ve redoks potansiyel (kısaca pe, Eh, ortamdaki oksijen kısmi basıncı, sudaki doygunluk miktarı ve yüzdesi...) ölçümü, suyun kimyasal analizi ve göz önünde bulundurulmuş elementler için gerekli termodinamik veri çok büyük önem kazanır. Diğer model adımlarının başlama noktasıdır ve model sisteminin oluşturulup ileri adımların hesaplanmasında temel teşkil eder. Kimyasal analiz ile elde ettiğimiz çözünmüş bileşenlerin konsantrasyonları (Ca, Mg, Na, K, Cl, SO<sub>4</sub>, alkalinite, As, B, Fe, Al, Mn,...) ve çözünmüş şartların pH-Eh, oksijenlenme, sıcaklık ve temsilde nereyi, ne zaman ve nasıl temsil ettiği, ortamda oluşması muhtemel türlerin aktiviteleri ve sonrasında sırası ile olası mineral çözünmeye ve doygunlukları, ters ve/veya ileri yönde karışımlar, mineral ve gazlar ile denge ve dengesizlikleri gibi hesapların geçerliliği için suyun örnek alınan ortamı istenilen özelliklerde yansıtılması hayati öneme sahiptir. Bu nedenle sahada yapılan çalışmalarda örneklerin temsil etkinliğinin sağlanabilmesinden ortam şartlarının anlaşılabilmesine kadar farklı ölçek ve boyutta sahaya özel ve değişen koşullara uygun titiz bir gözlem, örnekleme, ölçüm ve analiz programı gereklidir.

T-Ç modelleri, dinamik bir sistemin kararlı denge halindeki (kabul edilen) hesaplamalarını yaparak anlık gaz, mineral ve çözültü arasındaki kimyasal kütlelerin dağılımını (iyon ve moleküler türleri) ve mineral doygunluk (SI) görüntüsünü sağlar. Katı, sıvı ya da gaz bir bileşenin derişimi türün aktivitesini yansıtan direkt ölçüm yada toplam türlerinin aktivitesini sağlayan tek bir bileşenin ölçümü ile sağlanabilir. Örneğin bir gölde veya yeraltı suyunda belirli bir derinlikteki suda çözünmüş Fe<sup>+2</sup> miktarını belirlemek için örnek ortamının pH ve redoks şartlarını zincirleme koruyan bir tasarım ve/veya uygun filtrasyon yöntemleri ile ayrılmış ve korunmuş örnekte ölçüm gerekir. Üstelik örnek çözünmüş içeriği iyi bir arıtım ile organik ve inorganik içerik açısından ölçüm yöntemini bozmayacak ve istenen bileşene girişim yapmayacak özelliklerde olmalıdır. Herhangi bir ortamdaki pH, Eh, O<sub>2</sub>, Ec,... ve çözünmüş organik inorganik içerik miktarları gibi temsili ölçüm ve analizler biliniyor ise istenen türler (örneğin Fe<sup>+2</sup>, Fe<sup>+3</sup>, As<sup>+5</sup>, As<sup>+3</sup>, As<sup>-3</sup>,...) termodinamik temelde çalışan PHREEQCI gibi yazılımlar ile hesaplanabilir. Bu hesaplama sistemi ortamdaki şartların anlaşılabilmesi ve

ileriye dönük tahmin yapılmasında çok önemli tepkimelerin anlaşılması ve öngörülerin yapılmasına yardımcı olabilir.

TKD modelleri, ilgilenilen her bir kimyasal element ve gaz konsantrasyon değişimini dikkate alarak, akiferde aynı akım yolunda evrimleşmiş doğal (veya kirlenmiş) bir yeraltı suyu sonuç kompozisyonunun hangi ilksel bir veya birkaç yeraltı suyu veya farklı kimyasal karakterli suların karışımından oluştuğunun hesaplanmasında kullanılabilir. Dahası sonuç kimyasal kompozisyonunu en iyi açıklayan mineral kütle transferini (su ile etkileşimde olan minerallerin çözünme/çökelmeleri), akifer matrisi katı yüzeyi ile su çözünmüş içeriği arasındaki katyon değişimini (Ca, Mg, Na, K,... değişimi) ve uygun fazların (heterojen kimyasal reaksiyonlar, gazlar, vb.) birlikteliğindeki en olası reaksiyonların kütle dengesi prensiplerinde anlaşılmasını sağlayabilir. Aynı akım yolunda olduğu düşünülen en az iki su örneğindeki ölçüm ve analizler ile belirlenmiş her bir tür, hangi mineralin çözünme-çökmesi veya katyon değişimi ile ilişkisi olduğunu ortaya koyabilecek bir tasarımdır. Örneğin asit drenajı ile ilişkili olduğu düşünülen bir su örneğinde sülfat ve demir çözünmüş içeriği pirit minerali ile ilişkilendirilerek çözünen pirit miktarı alternatifleri ile birlikte belirlenebilir. Hatta bu çözünmenin pH ve Eh üzerinde yarattığı etki ve varsa ortamdaki hidrojen iyonu konsantrasyonunu arttıran ve azaltan diğer minerallerin çözünmüş su konsantrasyonundan elde edilen veriler ile takibi sağlanabilir. Elde bulunan temsili saha verileri ile model sonuçlarının karşılaştırılması gibi birçok öngörü kanıt tasarımları oluşturularak ileriye dönük tahminler sağlanabilir.

Doğada Asit Kaya Drenajı (AKD) ve yeraltısuyu gibi karmaşık sistemlerde çalışırken sonuç su kompozisyonunda yer alan ilksel su karışımlarının doğru seçimi, hidrolojik sistemin anlaşılabilirlik derecesi ve yeterli oranda sistemin kavramsallaştırılması, elde edilecek sonuçların geçerliliğini de doğrudan etkiler. Tepkimeye az giren (inert veya ihmal edilebilir seviyede tepkime veren, örn. klorür) bileşenlerin kullanımı, son su örneğine katkısı olan suların oranlarını doğru olarak verebilmesine rağmen, su-kaya etkileşimine bağlı oluşan kimyasal reaksiyonlar karışımdaki sonuç su kompozisyonunda ek belirsizliklere neden olacağından yanlış seçilmeleri karışımda ve kütle transferinde gerçekte olmayan değişimlere neden olabilir. Bu nedenle geniş kapsamlı sorgulama ve kanıta dayanan izleme tasarımlı ve yargılayıcı, sahaya özel çalışma programı gibi güncellenebilen bir yapılandırma kullanılmalıdır.

İM, termodinamik sınırlarda işleyen veri tabanını kullanarak yeraltı suyu sisteminde bir akım yolu boyunca oluşan tepkisel süreçlerin ve buna bağlı ortaya çıkan kimyasal kompozisyonun tahmininde kullanılır. Akım yolu boyunca oluşan

denge ya da tersinmez (organik madde oksidasyonu, sülfat indirgenmesi, silikat minerallerinin çözünmesi, basınçlı akiferde gaz çözünümü veya kayıpları) kimyasal reaksiyonların sürücülüğünü çözünme/çökelme, katyon değişimi, sorpsiyon, gaz etkinliği, karışım ve pH-Eh değişimi gibi süreçler üstlenir. Ortama uygun baskın süreçleri, mineral ve/veya kirlilik kaynaklarının olası miktarlarını ve termodinamik sınırları tanımlayarak suyun kazandığı kimliğin kavramsal olarak tahmin edilebilmesi ve modelden elde edilen sonuçların gerçekte gözlemlenen veriler ile karşılaştırılabilmesinin, ortamın anlaşılabilirlik seviyesine yüksek oranda katkı sağlayacağı aşikârdır. Ayrıca, TKD sonuçları, yeraltı suyu sistemindeki tahmin için gerekli İM girdilerinin oluşturulmasına çok büyük katkı sağlayabilir.

### 2.3. Su Kalitesi, Hafifletme ve İzolasyon Temeli İçin Birkaç Örnek

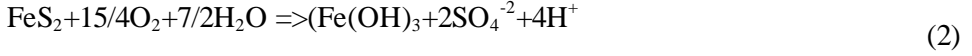
Sülfür mineralleri içeren pasanın mineral içerik, oran ve dağılımına göre oluşturulan depolama şekli iklimsel özelliklerden konuya bakış açısına kadar birçok etki altındadır. Önemli olan sahada depolamaya bağlı oluşabilecek baskın etkileri anlayabilmek ve önlem alabilmekten geçmektedir. Elberling ve Nicholson'un (1996, Appelo ve Postma, 2005'den alıntı) yaptığı çalışma konuyu temel seviyede bilimsel bir bakış açısından açıklayıcı bir şekilde özetlemektedir. 0,33 mmol O<sub>2</sub> içeren (10,6 mg/L) bir yeraltısuyu denklem 1'e göre oksijenini tüketerek 18,2 mg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> (4/7x0,33=0,19mmol) ve 5 mg Fe<sup>+2</sup> (2/7x0,33=0,09 mmol) çözebilmektedir. Ancak bu durum oksijen difüzyonunun olmadığı hava izolasyonunun başarılı olduğu şartlarda geçerlidir.



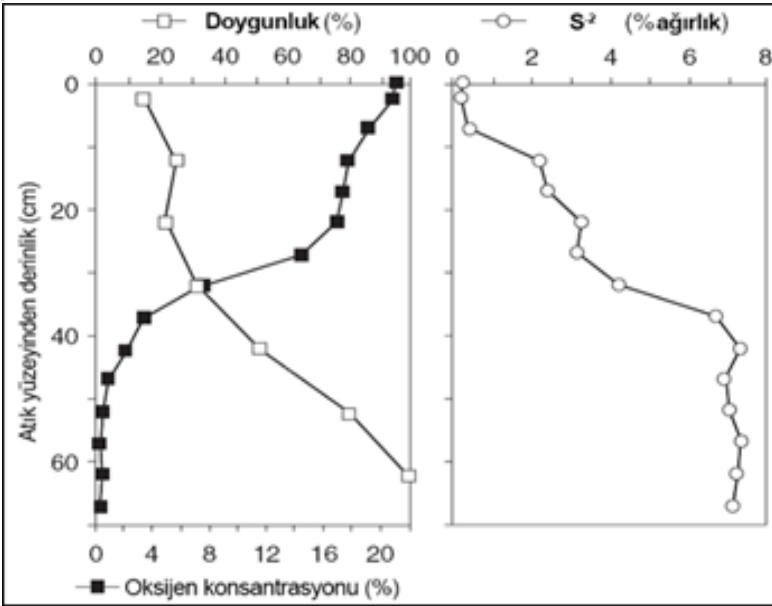
Şekil 2'ye göre uygun geçirimsizlik şartlarında pasa alanlarında özellikle yüzeyin 60 cm altında oksijen difüzyon ve advektif taşınımı yüksek oranlarda sınırlanabilmektedir. Toprak zeminde ise, yüzeyden 40 cm altta oksijen doygunluğu sifıra yakın olabilmektedir. Bu durumda oksijen difüzyonunu sınırlayan ve arttıran süreçlerin farkındalığında iyi bir pasa yönetim planı ile suda çözülmüş olarak taşınımı da dahil sınırlandırılabilir ise asit suların oluşma riski yüksek oranlarda engellenebilir, sınırlanabilir yada kontrol altında tutulabilir.

Bir diğer örnek Appelo ve Postma'dan (2005) framboidal pirit oksidasyonunun pH ve oksijen konsantrasyon değişimlerine göre verdiği tepkiyi görebilmek için tasarlanmıştır. Örneğin denklem 2 temel alınarak pH 7 değerinde, 0,4 m<sup>2</sup>/g yüzey alanı ve 0,3 mmol O<sub>2</sub> ortamında maksimum 7 mmol (0,840 g) FeS<sub>2</sub>/(g pirit)/yıl okside olurken aynı oksijen ve pirit varlığında ancak pH 2 değerinde maksimum

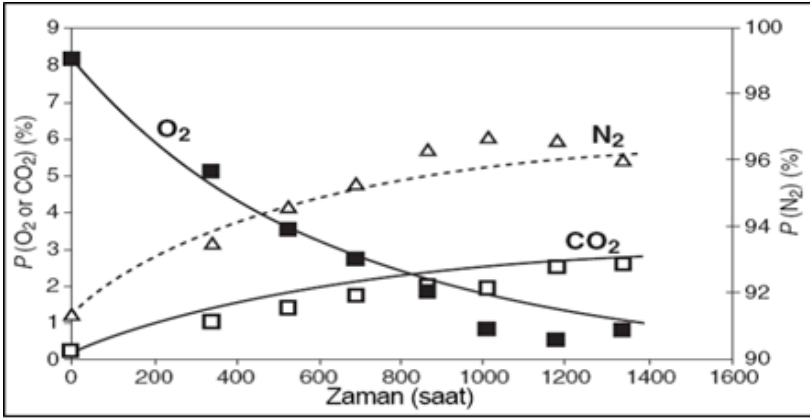
1,7 mol (204 g)  $\text{FeS}_2$ /(g pirit)/yıl ve oksijensiz şartlarda ise  $(\text{Fe}(\text{OH})_3:\text{FeS}_2=14:1$  elektron dengesi ile) 0,38 mmol (0,045 g) okside olabilmektedir.



Andersen vd., (2001) alınan bir diğer örneğe göre pirit içeren doymamış akifer zonunda asit oluşum süreçlerinin engellenmesinde oksijen difüzyonunun sınırlanması yanında nötrleme tepkimelerinin oluşabilmesinin de çok büyük önemi vardır. Durgun şartlarda yüzeyin hemen altında oluşan nötrleme tepkimeleri oksijen tüketirken, karbondioksit üretip birlikteliğinde ortamdaki azot miktarının daha da artmasını sağlayarak geçirimsiz bir gaz bariyer oluşmasını sağlayabilir (Şekil 3).



Şekil 2. Cevher atık alanında sülfür ( $\text{S}^{2-}$ ) oksidasyonu: solda  $\text{O}_2$  konsantrasyonu ve sudaki doygunluk yüzdesi, sağda ise katı faz içindeki ağırlıkça sülfür dağılımı (Elberling ve Nicholson, 1996)



Şekil 3. Doygun olmayan akifer zonunda (sedimentler arasındaki gözeneklerde) pirit oksidasyonu ve nitrlenme tepkimeleri sırasında gelişen gaz faz kompozisyonları. Başlangıç gaz hacmi 21,3 ml (%8 O<sub>2</sub> ve %92 N<sub>2</sub>), gaz/su oranı 3:1, sediment miktarı 82,79 kg ve pirit içeriği 1,59 mmol/kg (%0,02). Semboller deneysel verileri, çizgiler ise PHREEQC ile yapılmış model sonuçlarını temsil etmektedir (Andersen vd., 2001, Appelo ve Postma, 2005'den alıntı).

#### 2.4. Örnek Su Kalitesi ve Hafifletme Etkisi Tahmini

Laboratuvar testleri saha ortamında bulunan minerallerin tepkiselliğinin artırılmış ve süreçlerin hızlandırılmış şartlarını içermektedir. Bu nedenle elde edilen sonuçlar arazi şartlarında oluşabilecek sorunları en geniş aralıkta görebilme ve buna göre kapsamlı önlem tasarımı yapılması esasına dayanmaktadır. Örneğin pasa alanı ile etkileşimi olabilecek yağış sularının kısa ve uzun dönemli su kalitesi üzerinde malzeme fiziksel-kimyasal özellikleri ve depolanma şekli, yüzey özellikleri, yağış miktarı ve kalite özellikleri, yüzey akış ve içine filtrasyon, suyun hareketi sırasında karşılaştığı mineral sırası, içeriği ve karışımları gibi birçok ana ve alt bileşen etki edebilmektedir. Bu durumda testlerden elde edilen sonuçların saha şartlarındaki yapılandırmaya çok önemli katkısı olur. Tahminlerde en düşük pH değeri ve yüksek çözünmüş içerik oluşumu gibi olumsuz şartlar ve hızlı tepkime oranları kullanılarak en kötü benzetim şartlarına göre çevreyi koruyan bir tasarımın neleri gerektirdiğinin anlaşılması, sürpriz, kaza veya gözden kaçan şartların sınırlandırılmasında oldukça önemli öngörü ve avantajlar sağlamaktadır.

Statik testlerde temel amaç ne kadar asit ve nitrleme potansiyeli olduğu, kinetik testlerde ise çözünme-oksidasyon oranı ile zamana bağlı davranışı anlamaktır. Her iki test tasarımı en basit bakış açısı ile belirli oranlardaki su-mineral karışımının hangi sonuçları (ölçüm-analiz-karşılaştırma) ürettiğine yoğunlaşsa da gerçekte

tasarımda eklenen mineral oranlarına göre oluşan su kalitesinin nedeni sorgulanır. Örnek çalışma olarak Balya (Balıkesir) Pb-Zn maden atıklarından alınan 9 gram öğütülmüş pasa örneği 1 litre saf suya aşamalı ilave (su:kaya 111:1) edilerek suyun kapsamlı ölçüm ve analizleri yapılmıştır (Çizelge 1 Kalite Testi, KT). Elde edilen analiz sonuçlarından hangi minerallerin hangi oranlarda çözünme-çökeltim reaksiyonları oluşturarak su kalitesini oluşturduğu ve olası sorunları azaltan basit bir tasarım benzetimi yapılmıştır. Model PHREEQCI v3.1 yazılımı ile wateq4f.dat ve phreeqc.dat termodinamik veri tabanları kullanılarak pirit, jips, kalsit, halit, jurbanit, siderit, amorf (a)  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  ve  $\text{Al}(\text{OH})_3$  mineral denge katsayı ve entalpi değerleri ile  $\text{CO}_2$  (SI -3) ve  $\text{O}_2$  (SI -7) gaz dengeleri dikkate alınarak yapılandırılmıştır (Çizelge 1). Ters ve ileri kütle denge model girdileri altta verilmektedir.

Örnek pasa sahasında uzun yıllardır atmosferik şartlar altında kalmış/oluşmuş sert kabuk içinden (oksidasyon zonu) alınmıştır. pH ve su kalitesi üzerindeki etkin şartları anlayabilmek ve model çalışmalarında kullanabilmek için hem literatür verilerinden (Karadeniz, 2009; Şimşek vd., 2012; Balcı vd., 2014) hem de ayrıntılı arazi ve laboratuvar çalışmalarından yararlanılmıştır. KT analiz sonuçlarına göre pH 5,1 değeri karışımında katı/su oranının yaklaşık 1/100 olması nedeni ile oldukça yüksek ölçülmüştür. Diğer benzer testlerde katı/su oranı 1/1 ile 1/20 arasında değişmektedir. PHREEQC yazılımı ile aynı çözünme oranları korunarak yapılan hesaplamada su/katı oranı 1/1 olduğunda pH 2,74 ve 1/20'de ise 3,47 olarak hesaplanmıştır (aynı numuneden yapılan testlerde bu sonuçları desteklemektedir). Su çözünmüş içeriği Ca,  $\text{SO}_4^{2-}$  tipinde, doğal su kaynakları ile yüksek miktarlarda karışması durumunda zehir etkisi yapabilecek seviyede Al, Fe, Mn ve Zn elementlerini içeren türleri barındırmaktadır. Bu durum sahada su yosunlarının yaşamasını olanaksız kılması ile de doğrulanmıştır. Türleştirme model sonuçlarından elde edilen mineral doygunluklarına göre çözeltili jips (gypsum,  $\text{CaSO}_4$ ) ve jarosit ( $(\text{H}_3\text{O}, \text{K})\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ) minerallerine aşırı doygun jurbanit ( $\text{AlSO}_4\text{OH}$ ) minerali ise doygunluk seviyesinde veya hemen altındadır.

Alınan örneğin mineral tanımlama (tür ve miktar) analizleri olmamasına rağmen sahada yapılmış çalışmalardan oksidasyonzonunun jips, jurbanit, siderit ( $\text{FeCO}_3$ ), pirit ( $\text{FeS}_2$ ) ve kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) gibi mineralleri içerdiği belirlenmiştir. Bu durumda çözeltideki su kalitesinde etkin olan çözünme tepkimeleri ters kütle denge modeli ile tanımlanmaya çalışılmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 1. Model çalışmalarında kullanılan suların fiziksel ve kimyasal özellikleri (analiz birimi ppm'dir)

Tanım	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Si	Al	Fe	Mn
Saf su	5,75	0,06	0,09	0,14	0,05	0,8	0,1	0,01	0,2	0,01	0,001
KT İleri Model	5,1	0,1	0,3	688	1,1	1	1710	0,6	2,2	1	1,5
	6,4	0,1	0,09	591	0,05	0,7	1372	0,3	0,14	0,001	0,001

### Ters kütle model girdileri

```

INVERSE_MODELING 1
-solutions 1 0 # çözelti 0 safsu, 1 ise Kalite Testi
-uncertainty 0.1 0.1
-phases
Halite
Gypsumdis # çözünme
Jurbanite
CO2(g)
O2(g)
Siderite
Pyrite
Calcitedis # çözünme
-minimal
-tolerance 1e-010
-mineral_watertrue
    
```

Model sonuçlarına göre suda baskın çözünme tepkimeleri sırası ile jips ve/veya kalsit, oksijen, pirit, karbondioksit, jurbanit, anortit ve halit, siderit minerali çökme ve gaz kaçıışı olarak karbondioksit hesaplanmıştır. Saha şartlarında yoğun olarak jips gözlenmesi nedeni ile 2 ve 3 numaralı model sonuçları dikkate alındığında pH değerini oldukça düşük seviyede çözünen pirit (0.16-0.089 mmol/L) kontrol etmektedir. Bu durumda düşük oksijen ve karbondioksit harcanarak düşük miktarlarda siderit çökelişi su kompozisyonunu sağlamaktadır. Ancak sahada derin zonlarda oksijen yetersizliğine bağlı siderit çökelişiminin gözlenebilecek olmasına rağmen deneyin laboratuvarında atmosferik şartlara açık olması nedeni ile Fe suda +2 değerlikli olmaktan çok +3 değerlikli olarak bulunabilir. Bu nedenle model girdi şartları amorf Fe(OH)<sub>3</sub> ve Al(OH)<sub>3</sub> içerecek şekilde genişletildiğinde model çıktı sayısı 6'ya yükselmiştir (Çizelge 3). Yeni model çıktılarında pH denetiminin pirit çözünmesi yanında (1 ve 3 numaralı modeller) Fe ve jurbanit çözünmesi nedeni ile oluşan Al hidroksit çökelişimleri tarafından kontrol edilebileceği söylenebilir. Ayrıca doğal ortamda kalsit varlığı

tespit edilmiş olmasına rağmen çözelti  $H^+$  iyonu konsantrasyonunun (0,15 mmol/L) yeterince tamponlanmamış olması (model sonucunda 0,14 mmol/L kalsit çözülebileceği tahmini) nötrleme potansiyelinin az olduğunu göstermektedir. 1 ve 3 numaralı modellerde düşük oranlarda oksijen harcanırken karbondioksit etkinliğinin olmaması ortamda gaz bariyer oluşumunu engellediğini göstermektedir.

Çizelge 2. Ters kütle dengesi model sonuçlarına (mol/L) göre olası mineral çözünme (pozitif sayılar), çökeltme (negatif sayılar) ve gaz reaksiyonları (negatif sayılar gaz kaçıışı, pozitif harcanan gaz miktarları).

Model	Jips	Kalsit	O <sub>2</sub> (g)	Pirit	CO <sub>2</sub> (g)	Jurbanit	Anortit	Halit	Siderit
1		1.72E-2	3.05E-2	8.69E-3	-8.53E-3	6.67E-5	4.92E-6	1.62E-6	-8.67E-3
2	1.72E-2		4.04E-4	8.90E-5	7.19E-5	6.67E-5	4.92E-6	1.62E-6	-7.19E-5
3	1.71E-2	1.44E-4	6.56E-4	1.61E-4		6.67E-5	4.92E-6	1.62E-6	-1.44E-4

Balya maden atıklarının döküldüğü alanda geçmiş atmosferik şartların yarattığı yatay ve düşey zonlanmalar oluşan su kalitesi üzerinde doğrudan etkilidir. Model tasarımlarında katı karakterizasyonuna bağlı değişen her bir zonun ve varsa ortamdaki temsili su karakteristiklerinin yaratabileceği etkileri tahmin edebilmek için her zonayrılanmalıdır. Bu model çalışmasında sadece atıklar üzerinde oluşan oksidasyon zonu incelenmiştir. Sahada şiddetli yağış durumunda bu model çalışmasındaki pH ve su kalitesine benzer (hızlı akış şartlarına bağlı seyrelme etkisi) sonuçlar oluşabilecek iken düşük ve uzun süreli yağış şartlarında düşük pH ve yüksek çözülmüş madde içeren suları sonuçlayabilir. Ancak literatür ve saha gözlemlerinden elde edilen bilgilere göre şiddetli yağış durumlarında erozyon etkisi ile atıklar askıda katı olarak çok uzun mesafelere taşınmaktadır.

Sadece bu örnek dikkate alınarak ters kütle denge model sonuçlarını sorgulayabilmek ve kimyasal bariyer oluşumuna katkıda bulunabilmek için üst zona kalsit karıştırılan bir ileri model oluşturulmuştur. Modelde ters kütle denge modelinden elde edilen çözünme oranları, yağış suyu ölçüm ve analizi ile kalsit minerali girdilerde tanımlanarak pH yükselimine bağlı oluşabilecek su kalitesi araştırılmıştır. Hesaplamalar termodinamik temelde çalışan veri tabanını kullanan ileri model tasarımında (tepkisel yollu model – titrasyon modeli) atmosfere açık ve denge şartlarına ulaşmış olduğu varsayımı ile yapılmıştır.



Çizelge 3. Ters kütle dengesi model sonuçlarına göre (mol/L) olası mineral çözünme (pozitif sayılar), çökeltme (negatif sayılar) ve gaz reaksiyonları (negatif sayılar gaz kaçıışı, pozitif harcanan gaz miktarları).

Model	Jips	Kalsit	Pirit	CO <sub>2</sub> (g)	O <sub>2</sub> (g)	Siderit	Jurbanit	Fe(OH) <sub>3</sub> (a)	Al(OH) <sub>3</sub> (a)	Anorthite	Halite
1	1.72E-02		8.90E-05		4.22E-04		6.67E-05	-7.19E-05		4.92E-06	1.62E-06
2	1.72E-02			-1.71E-05	9.25E-05	1.71E-05	2.45E-04		-1.78E-04	4.92E-06	1.62E-06
3	1.72E-02		1.71E-05		1.52E-04		2.11E-04		-1.44E-04	4.92E-06	1.62E-06
4		1.72E-02	8.69E-03	-1.72E-02	3.27E-02		6.67E-05	-8.67E-03		4.92E-06	1.62E-06
5		1.72E-02		-1.72E-02	9.23E-05	1.71E-05	1.74E-02		-1.74E-02	4.92E-06	1.62E-06
6		1.72E-02	1.71E-05	-1.72E-02	1.52E-04		1.74E-02		-1.73E-02	4.92E-06	1.62E-06

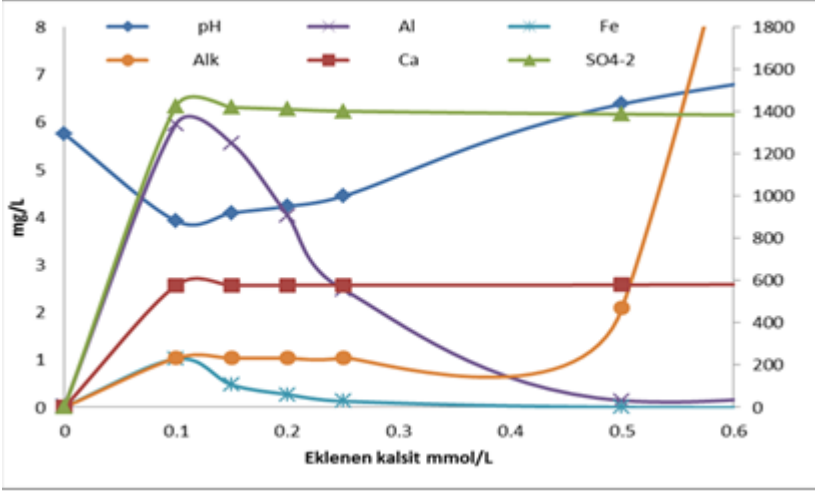
### İleri model girdileri

```

EQUILIBRIUM_PHASES 1 #dengedeki mineral ve gaz fazlar
Al(OH)3(a) 0 0
Anorthite 0 4.9e-06 #mol/L
Fe(OH)3(a) 0 0
Gypsum 0 0.0172 #mol/L
Halite 0 1.6e-06 #mol/L
Jurbanite 0 0.00021 #mol/L
Pyrite 0 1.7e-05 #mol/L
O2(g) -7 10 # SI -7= %21 oksijen
CO2(g) -3.5 10 # SI -3.5 = %0,0035 karbondioksit
REACTION 1 #
Calcite 1 # kalsit minerali ve bağlı stokiyometrisi
0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 1 milimoles
    
```

Model sonuçlarına göre Ca (591 mg/L) ve SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> (1372 mg/L) konsantrasyonu oldukça dikkat çekici seviyede düşük hesaplanmıştır. Bu durum termodinamik veri tabanı ve/veya su analiz hatasından kaynaklanabileceği gibi jips minerali kaynaklı çözünme dışında farklı minerallerinde çözünerek içeriğe katkı sağlaması gibi birçok nedene bağlı olabilir (Şekil 4). Su çözünmüş içeriğinden elde edilen analiz sonuçları örnek alımından, uygulanan analiz yöntemi, majör ve iz element bileşen türü gibi birçok etkene bağlı yüzde oranlarda değişen hata oranlarına sahiptir. Bu durumda örnekte analiz hataları ve tutarlılık analizleri gibi çalışmaların yapılmasının çok büyük önemi vardır. Örneğin analiz sonuçlarının hatasız olduğu varsayılır ise çözeltideki sülfat miktarına (1710 mg/L) ulaşabilmek için çözünmesi gereken pirit miktarı 1,9 mmol/L veya eşdeğeri sülfat ve Ca içeren bir veya birkaç mineral olmalıdır. Eğer çözünen pirit ise bu durumda Ca artışı ve istenen pH değerine gelebilmek için örneğin Ca içeren kalsit minerali (2.2mmol/L) de çözünmelidir. Bu durum gerçekleşti ise, asit ve nötrleme potansiyelinin belirlendiği statik test sonuçlarından doğrulanabilir. Bulmaca parçalarının birleştirilerek büyük

resmin anlaşılması ortamdaki şartların nasıl yönetilebileceğine dair önemli öngörülerini alternatifleri ile birlikte sağlayabilir.



Şekil 4. Ters kütle denge model sonuçlarından (mg/L) elde edilen verilere kalsit minerali ekleyerek ileri model girdisi oluşturulmuş tepkisel yollu titrasyon model sonuçları. Ca (591 mg/L) ve  $SO_4^{-2}$  (1372 mg/L) ikincil eksen diğer bileşenler ilk eksen kullanmaktadır.

### 3. SONUÇLAR

Günümüzde global ölçekte madencilik çalışmalarının en önemli çevre sorunu su kaynakları üzerinde yarattığı olumsuz etkiler nedeni ile oluşmaktadır. Ülkemizde son yıllarda incelediğimiz ÇED rapor içeriklerinde sahayı dikkate alan çalışmaların artmasına rağmen su kalitesi için potansiyel belirleme ve hafifletme etkisi yaratma tasarımlarında oldukça yetersizdir. Mevcut ÇED içeriklerinin büyük bir kısmı işletme döneminde sadece izleme çalışmaları ile olası sorunların çözümünü sağlayacağını belirtmektedir. Raporlarda potansiyel kalite sorunları belirlenmediğinden geleceğe yönelik önlem alma tasarımları da (hafifletme) çok genel tanımlamalar seviyesinde kalmaktadır. Örneğin pas izolasyonunda, oksidasyon zonunda hangi tepkimeler ile ne tür asitli suların oluşabileceği ve hangi nötrleme tepkimeleri ile fiziksel ve kimyasal bariyerlerin oluşmasının beklendiği ve bunun işletme döneminde hangi araştırma, izleyici bileşen ve tasarım güncellemeleri ile kapanış sonrası döneme hazırlanacağı belirsizdir.

Su kalite çalışmalarında kullanılan birçok yazılım ve yöntem olmasına rağmen, en yaygın ve kapsamlı kullanım potansiyeli PHREEQC yazılımı ile kütle denge modelleridir. Çalışmalarda saha kavramsal modeli geliştirerek amaç-süreç-sonuç

tanımlamalarını içeren temsili veriler (saha, laboratuvar...) elde edilmesi ve kabul edilebilir su kalitesi tahmin modellerinin geliştirilmesi en temel basamaktır. Model sonucunda elde edilen tahminlerin duyarlılık ve belirsizlik değerlendirmeleri ile potansiyel tahminlerinin ve olası hafifletme etkilerinin tanımlanması gerekir.

ÇED kapsamında sahada pasa malzemesinin yaratabileceği olumsuz etkilerden kazı gölü su kalitesinin belirlenmesine ve hangi tip izolasyon, tepkisel bariyerler ve hafifletme tasarımları gibi çalışmaların sorunlara nasıl ve ne oranda çözüm olabileceği gibi birçok konunun temel seviyede çözümü saha özelinde elde edilen ön verilerin değerlendirilmesinden başlamaktadır. İşletme dönemi, ÇED içeriğinde öngörüsü ve tahminleri yapılmış çalışmaların gerçekleşmesi ve güncellenmesi ile uzun dönem tasarımlarının yapılandırılması safhasıdır. Harmanlama ve enkapsülasyon gibi izolasyon, kazı gölü dengeleme ve/veya doldurulması gibi potansiyel belirleme, hafifletme ve tepkisel bariyer tasarımlarının araştırma ve geliştirme çalışmaları olmadan izleme çalışmaları ile uzun dönemli korunmanın başarılması oldukça tesadüfidir.

Maden alanlarında kavramsal olarak girdi, oluşan süreçler ve çıktı verilerinin tasarımının iç yüzünü kavrayabilecek altyapı ve alana özgü veri bilgisinin yeterliliği ve bu bilginin en uygun maden işletme tasarımını oluşturmada kullanılabilmesi başarı için en temel esaslardır. Tasarımın başarı şansı, gözden kaçırılan şartların sistemde oynadığı rol ile ilişkilidir. Bu durumda, öncelikle sonuçları tahmin edilebilecek ölçekte veri içeren teorik kavramsal bir işletim tasarımının oluşturularak bu tasarımın deneysel olarak laboratuvar ve arazi şartlarında test edilmesi ve alana özel değişen şartlara adapte olabilecek bir kavramsal model oluşturulması çevresel açıdan olumsuz şartların öngörülerek zamanında önlem alınabilmesini sağlayacaktır.

Suyla ilgili çevre problemlerinin birçoğu çözünen konsantrasyonunun zaman ve mekanda tahmini veya bilgisine ihtiyaç duyar. Geleceğin tahmini sıklıkla bilimsel çalışmaların bir parçasıdır ve tahminin doğruluğunu gelecek geçmiş oluncaya kadar belirlemek zordur. Bu tür bir tahminin zorluğu hem yüksek miktarda veri birlikteliği gerektirmesi hem de gelecekteki şartlar ile ilgili belirsizliklerdir. İlave olarak, çevresel şartlar ve maden arasındaki doğal değişkenlik kirliliğin hafifletilmesinde kullanılan tekniklerin genelleme yapılarak tüm maden alanlarında etkin bir metod ile uygulanabilirliğini de olanaksız kılmakta sahaya özel çözümleri gerektirmektedir.

Tahminde kullanılan yaklaşımlar ve temel karakteristikler devam eden bir gelişim içerisinde. Genellikle madencilik tüm safhalarında; katı ve su karakterizasyonu için gözlem, örnek ve analizler, asit-baz kimliği, statik-kinetik

testler, hidrolik özellikler, yüzey ve yeraltısuyu testleri, maden atıkları için kesikli testler, başka alanlardaki madenler ile benzeşimler, alana özgü tanımlayıcı testler, su kalitesi ve miktarı için sayısal modeller ile tahmin ve gözlemlerin karşılaştırma, doğruluk, geçerlilik, etkinlik analiz ve değerlendirmeleri uygulanmaktadır.

Kullanılan metotların güvenilirliği, potansiyel su kalitesi ve hafifletme etkileri tahminleri çalışmalarda başarıyı doğrudan etkileyen parametrelerdir. 15.07.2015 tarihinde yayımlanan ve Temmuz 2016 da hayata geçirilecek olan 29417 Sayılı Maden Atıkları Yönetmeliği burada bahsi geçen çalışmaları zorunlu kılmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Andersen, M.S., Larsen, F. and Postma, D., 2001. Pyrite oxidation in unsaturated aquifer sediments; reaction stoichiometry and rate of oxidation. *Env.Sci. Technol.* 35, 4074–4079.
- Appelo CAJ, Postma, D., 2005. *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. 2nd edition, CRC Press, Balkema; Rotterdam, 668 p.
- Balcı, N., Ç., Gül S., Kılıç, M., M., Karagüler N., G., Sarı, E., Sönmez M., Ş., 2014. Balya (Balıkesir) Pb-Zn Madeni Atık Sahasının Biyojeokimyası ve Asidik Maden Drenajı Oluşumuna Etkileri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, Cilt 57, Sayı 3, Ağustos 2014.
- Bethke, C.M., 2008. *Geochemical and Biogeochemical Reaction Modeling* 2nd edition, Cambridge University Press, New York, 543 pp.
- Bundschuh, J., (Ed.), Zilberbrand, M., (Ed.), 2011. *Geochemical Modeling of Groundwater, Vadose and Geothermal Systems*. CRC Press, 321 p.
- Nordstrom, D. K., 2012. Models, validation, and applied geochemistry: Issues in science, communication, and philosophy, *Applied Geochemistry*, Volume 27, Issue 10, Pages 1899-1919
- Elberling, B. and Nicholson, R.V., 1996. Field determination of sulphide oxidation rates in mine tailings. *Water Resour. Res.* 32, 1773–1784.
- EPA, 2013 Toxics Release Inventory (TRI) National Analysis 2013: Releases of Chemicals [www2.epa.gov/toxics-release-inventory-tri-program/2013-tri-national-analysis](http://www2.epa.gov/toxics-release-inventory-tri-program/2013-tri-national-analysis) Updated January 2015
- EPA CREM, 2009, Guidance on the Development, Evaluation, and Application of Environmental Models, Council for Regulatory Environmental Modeling, U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC 20460.
- Garrels and Thompson, 1962. A chemical model for seawater at 25 C and done atmosphere total pressure. *Amer. J. Sci.* 260, 57-66.
- Glynn, P., Brown, J., 1996. Reactive transport modeling of acidic metal-contaminated ground water at a site with sparse spatial information, Ch. 9. In: Lichtner, P.C., Steefel, C.I., Oelkers, E.H. (Eds.), *Reactive Transport in Porous Media, Reviews in Mineralogy*, vol. 34. Mineralogical Society of America, Washington, DC.

- Glynn, P.D., Plummer, L.N., 2005. Geochemistry and the understanding of groundwater systems, *Hydrogeol. J.* 13, 263–287.
- Güneş C., and Tokgöz Güneş, S., 2014. Inverse and Forward Hydrogeochemical Modeling of Acid Mine Drainage. *14th International Mineral Processing Symposium & Exhibition*, Kuşadası, Ekim 2014, s 903-916.
- INAP, 2015. The International Network for Acid Prevention, [http://www.gardguide.com/index.php?title=Main\\_Page](http://www.gardguide.com/index.php?title=Main_Page)
- Karadeniz M., 2011. Balıkesir-Balya-Kurşun-Çinko Madeni Flotasyon Artıklarının Asit Maden Drenajı Oluşum Potansiyelinin Derinlikle Değişiminin Araştırılması. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği ABD, Ankara
- Konikow, L.F., and Glynn, P.D., 2005. Modeling groundwater flow and quality. In Selinus, O. (Ed.), 2<sup>nd</sup> edition, *Essentials of Medical Geology*: Springer-Verlag, p. 727-754.
- Kuipers, J. R., Maest, A.S., Mac Hardy K.A., and Lawson G. 2006. Comparison of Predicted and Actual Water Quality at Hardrock Mines: The reliability of predictions in Environmental Impact Statements. Earthworks, Washington, D.C., pp.196.
- Maest, A.S., Kuipers, J.R., Travers, C.L., and Atkins, D.A., 2005. Predicting Water Quality at Hardrock Mines: “Methods and Models, Uncertainties, and State-of-the-Art” (<http://www.earthworksaction.org/pubs/PredictionsReportFinal.pdf>).
- Merkel, B., and Planer-Friedrich B., 2008. *Groundwater Geochemistry: A Practical Guide to Modeling of Natural and Contaminated Aquatic Systems* Edited by Darrell Kirk Nordstrom 2nd Edition, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
- Nordstrom, D., K., 2012. Models, validation, and applied geochemistry: Issues in science, communication, and philosophy, *Applied Geochemistry*, Volume 27, Issue 10, Pages 1899-1919.
- NRC, 2007. National Research Council, *Models in Environmental Regulatory Decision Making*. Washington, DC: The National Academies Press, 286 p., ISBN: 978-0-309-11000-6 [http://nap.edu/catalog.php?record\\_id=11972](http://nap.edu/catalog.php?record_id=11972)
- Parkhurst, D.L., and Appelo, C.A.J., 2013. Description of input and examples for PHREEQC version 3—A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations: *U.S. Geological Survey Techniques and Methods*, book 6, chap. A43, 497 p., available only at <http://pubs.usgs.gov/tm/06/a43/> .
- Plummer, L.N., 1984, “Geochemical Modeling: A Comparison of Forward and Inverse Methods” *Proceedings First Canadian/American Conference on Hydrogeology, Practical Applications of Ground Water Geochemistry*, Banff, Alberta Canada, Published by National Water Well Association Worthington, Ohio, U.S.A.
- Plummer, L.N., Parkhurst, D.L., Thorstenson, D.C., 1983. Development of reaction models for ground-water systems, *Geochim. Cosmochim. Acta* 47, 665–686.,

- Şimşek, C., Gündüz O., Elçi A., 2013. Terkedilmiş Balya (Balıkesir) Pb-Zn Maden Atıklarının Ağır Metal ve Doğal Radyoaktivite İçeriği ve Çevre Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* Cilt:2 Sayı:1 s.43-55.
- Sumi, L., and Gestrin B., 2013. Polluting the Future: How mining companies are contaminating our nation's waters in perpetuity. *Earthworks*, 52 p., [www.earthworksaction.org](http://www.earthworksaction.org)
- Zhu C., Anderson G. M., 2002. Environmental Applications of Geochemical Modeling, Cambridge University Press, London. 304 pp.
- Zilberbrand, M., 2012. Elaboration of a geochemical model, in: *Geochemical Modeling of Groundwater, Vadose and Geothermal Systems*, Bundschuh J. & Zilberbrand M. (eds), CRC Press, Chapter 6 Pages 143–152.

# Çevre Mevzuatına Göre Madencilik Faaliyetine Başlama Koşulları, Çevresel İzinler

## *Start-up Conditions According to Environmental Legislation in Mining Activities, Environmental Permits*

E. Doğutepe

*Koza Altın İşletmeleri A.Ş., Çevre Baş Mühendisi, Ankara*

**ÖZET** Ülkemizde, son yirmi beş yıl içerisinde, Avrupa Birliği uyum süreci kapsamında Anayasa'mızdaki birçok kanunda sayısız değişiklik yapılmıştır. Doğası gereği yer seçim alternatifi olmayan maden sektörü mevcut yasal çerçeve içerisinde sorunlar yaşarken bir de bu sayısız mevzuat değişiklikleri ne yazık ki çalışmaları aksatmıştır. Ancak Çevre Kanunu kapsamında baktığımızda, son yıllarda direk madencilik sektörüne dönük çözümler üretiliyor olması da umut verici olmuştur. Mevzuat kapsamında bu denli aktif şekilde çalışmalar yürütülürken madenciler bu dinamizme nasıl ayak uyduruyor? İşte bu noktada, madencileri, Maden Kanunu'nun belirlemiş olduğu gruplar şeklinde ayrı ayrı değerlendirmek gerekir. Şöyle ki Çevre Kanunu bir faaliyetin yerel ve/veya bölgesel düzeyde çevresel etkileri açısından değerlendirme yapar. Dolayısıyla madenin türüne göre yaratacağı etkiler farklı olacağından mevzuat karşısında aynı statüde değerlendirilmemeleri gerekir. Oldukça karmaşık ve meşakkatli geçen izin, rutin beyan ve denetleme süreçlerinin doğru yönetilmesi için konusunda uzman personel kadrolarının oluşturulması yada dışarıdan danışmanlık hizmetleri bir program çerçevesinde çalışmaların yürütülmesi gerekmektedir.

**ABSTRACT** In our country, in the last twenty –five years, as part of European Union adaptation process, in our constitution there has been changes in countless amount of laws. Mining sector, which has not capability of side selection alternatively as a course of its nature, is in trouble due to legislation requirements. Furthermore, unfortunately, countless time of legislation changes also devastate the work on mining sector. But when we look the scope of environmental law, in

recently years, looking solutions to be produced directly in the mining sector has been also promising. While a lot of works are performed within the scope of this legislation actively how miners can handle with this dynamism? At this point, miners should be considered separately according to in groups which is determined by the mining law. In such a way that environmental law makes assessment of the environmental impact of an activity on the local or regional level. Therefore, effects must not be treated the same status in the face of legislation, as these effects will be different according to the type of mine. The formation of the expert staff or the working schedule with the external consultancy should be performed in order to manage the process of permit, declaration and inspection, which are quite complex and difficult, properly.

## 1. GİRİŞ

Avrupa Birliği uyum süreci kapsamında ülkemizde çok sayıda mevzuat, değişikliğe uğramış yada yeniden oluşturulmuştur. Mevcut çerçevede belli bir bürokratik işleyiş içerisinde yürütülmeye çalışılan madencilik faaliyetleri çevresel izin süreçleri, yeni düzenlemelerle çok daha meşakkatli bir hal almıştır. Bu uyum sürecinin ve yasal düzenlemelerin ülkemizdeki yatırımlara ve işleyişe nasıl bir etkisi olduğu, çok ayrı değerlendirilmesi gereken önemli bir konudur. Ancak madenciler için önemli olan madencilik sektörünün bu çerçevede nerelere geldiği ve nasıl etkilendiğidir. Doğası gereği yer seçim alternatifi olmayan, bulunduğu yerde işletilmek zorunda olan, zorlu coğrafyalarda ve iklim şartlarında faaliyetlerini yürütmeye çalışan sektör temsilcileri mevcut yasal çerçeve içerisinde sorunlar yaşarken bir de bu sayısız mevzuat değişiklikleri sektörde ne yazık ki aksamalara neden olmuştur ve olmaktadır. Ancak önceki dönemlerde madencilik gibi önemli bir sektöre dönük çözümler getirecek mevzuat düzenlemeleri yokken, son dönemde yalnızca madencilik sektörü için bu şekilde düzenlemeler yapılıyor olması da umut verici olmuştur (Maden Atıkları Yönetmeliği, 2015). Çevre Kanunu ve beraberindeki yönetmelikler bir faaliyetin yerel ve/veya bölgesel düzeyde çevresel etkileri açısından değerlendirme yapar. Dolayısıyla madenin türü, yani Maden Kanunu'na göre hangi grupta olduğu yaratacağı etkiler anlamında da farklı olacağından mevzuat karşısında aynı statüde olmamaları gerekir. Oldukça karmaşık ve meşakkatli geçen izin, rutin beyan ve denetleme süreçlerinin doğru yönetilmesi için konusunda uzman personel kadrolarının oluşturulması yada dışarıdan bu hizmetleri alabilecek uzmanlarla bir program çerçevesinde çalışmaların yürütülmesi gerekmektedir.



## 2. ARAMA DÖNEMİ İZİNLERİ

Maden Kanunu kapsamında, Maden İşleri Genel Müdürlüğü'nden (MİGEM) arama ruhsatını alan bir madencinin arama faaliyetlerine başlayabilmesi, öncelikli olarak Çevre Kanunu çerçevesinde izinlerini ve devamında mülkiyet izinlerini alması ile mümkündür (Maden Kanunu, 2014). Şöyle ki; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 25.11.2014 tarih ve 29186 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiş olan Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği'ne göre, her türlü maden arama faaliyeti, Yönetmeliğin EK-2 listesine uygulanacak süreçler çerçevesinde değerlendirilmektedir(ÇED Yönetmeliği, 2014).

Bu nedenle maden firmaları öncelikli olarak arama işlemlerine başlayabilmek için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nca ÇED Yeterlik Belgesi verilmiş olan bir firmaya Proje Tanıtım Dosyası (PTD) hazırlatması gerekir. Raporun hazırlanabilmesi için maden firmalarının ÇED Yönetmeliği'nin EK-4'ünde istenen proje bilgilerini anlaşma sağladığı Yeterlik Belgesi sahibi ÇED firması ile paylaşması, her yıl Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nca belirlenen ve proje yatırım bedeli üzerinden hesaplanan proje başvuru bedelini yatırması ve firmaya tüm iş ve işlemlerin yürütülmesi için vekaletname vermesi gerekir.

Firma tarafından hazırlanan PTD, projenin gerçekleştirileceği ilin Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'ne sunulur. Başvuru ve resmi işlemlerin takibi ÇED firmaları tarafından yapılır. Sürecin sonunda Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü proje için ÇED Gerekli Değildir veya ÇED Gereklidir kararı verir. Bu karar süreci yani PTD dosyasının sunulmasından kararın çıkmasına kadar geçen süre yaklaşık olarak iki ay ile sekiz ay arasında değişim gösterebilmektedir. ÇED Yönetmeliğine göre bazı aşamalar için süreler tanımlanmış olsa da süresi tanımlanmamış olan bazı aşamalar nedeni ile her proje için sabit bir zaman dilimi belirlenmemektedir.

ÇED Gerekli Değildir kararı alan projeler için karar beş yıl süre ile geçerlidir. Yani beş yıl boyunca istenildiği zaman faaliyete başlama hakkı vardır. Ancak beşinci yılın sonunda söz konusu proje alanında PTD de söz edilen işlemlere başlanmamış ise ÇED Gerekli Değildir kararı geçerliliğini yitirir.

ÇED Gerekli Değildir kararı tek başına faaliyete başlamak için yeterli değildir. Arama faaliyetleri için çalışma yapılacak alanların tarım (şahıs) alanı, orman alanı, mera alanı veya hazine arazisi olması durumuna göre mülkiyet izinlerinin alınması gerekir. Muhatap kurumdan da söz konusu izin işlemleri tamamlandıktan sonra sondaj çalışmalarına başlanabilir.

Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden proje ile ilgili olarak ÇED Gereklidir kararı çıktığında ise kesinlikle arama faaliyetine başlanamaz. Bu durumda, ÇED Yeterlik Belgesine sahip bir ÇED firmasına, Yönetmeliğin EK-3'ünde yer alan

format doğrultusunda ÇED Başvuru Dosyası hazırlatılarak Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü'ne başvuru yapılır. Hazırlatılacak olan ÇED Başvuru Dosyası içeriği PTD dosyasında verilen bilgilerin aynısı olabileceği gibi ruhsat alanı içerisinde kalacak şekilde ilave sondaj alanlarını da içerecek şekilde düzenlenebilir.

ÇED Başvuru Dosyası'nın sunumu ile başlayan ÇED süreci, Halkın Katılımı Toplantısı'nın yapılması, ÇED Raporunun hazırlanması ve Komisyon tarafından değerlendirilmesi aşamalarından sonra ÇED Olumlu yada ÇED Olumsuz kararının çıkmasına kadar devam eder. ÇED süreci, yine PTD de olduğu gibi, belli aşamaları takvim günleri çerçevesinde tanımlanmış olsa da paydaş kurumların katılımı ve kurum görüşlerinin alınması nedeniyle her proje için sabit bir zaman diliminde gerçekleştirilememektedir. Bir arama faaliyeti ÇED süreci yaklaşık olarak yedi-sekiz ay içerisinde sonuçlanabilmektedir (ÇED Yönetmeliği, 2014).

ÇED Olumlu kararı geçerlilik süresi yedi yıldır. Yedi yıl içerisinde faaliyete başlanmadığında olumlu karar geçerliliğini yitirir. Kararı alan firma mülkiyet izinlerini aldıktan sonra faaliyete başlayabilir. ÇED Olumsuz kararı alınması durumunda hiçbir şekilde faaliyete başlanamaz. ÇED Kararı olmadan faaliyete başlanması durumunda Çevre Kanunu'nun 20nci maddesi gereğince cezai işlem uygulanır(Çevre Kanunu, 2872 sayılı).

### **3. İŞLETME PROJELERİ İZİNLERİ**

#### **3.1. ÇED Süreci**

3213 sayılı Maden Kanunu'nun 18 inci maddesi gereğince (Maden Kanunu, 3212 sayılı) arama süresi sonrasında işletme ruhsatı almış bir madenci, işletme iznini alabilmesi için işletme ruhsatının kesim tarihinden itibaren üç yıl içerisinde yine aynı Kanununun 7 inci maddesinde belirtilen tüm izinleri alarak üretim faaliyetini gerçekleştirmek zorundadır. İlgili maddede adı geçen izinlerden ÇED kararı, alınacak tüm izinlerde istenilen belgeler arasında yer aldığından öncelikli olarak bu sürecin tamamlanması gerekmektedir.

Madenciler, ÇED Yönetmeliği gereği yürütülmesi gereken tüm iş ve işlemler için daha öncede belirtildiği şekilde ÇED Yeterlik Belgesine sahip bir firma vasıtası ile bu süreci tamamlamak ile yükümlüdür.

Arama çalışmaları ve diğer değerlendirmeleri tamamlanarak fizibilitesi ortaya konmuş projenin hangi yöntemlerle, ne kadarlık alanda, ne şekilde, ne kadarlık bir kapasite ile ve hangi tür madenin işletileceği özelliklerine göre ÇED başvurusu yapmalıdır. Yani proje kapsamında madenin türü, işletme yöntemi, kırma eleme

tesisi, cevher zenginleştirme tesisi ve/veya atık depolama tesisi gibi üniteleri içerip içermeyeceği durumuna göre ÇED süreci farklılık gösterecektir. Şöyle ki; ÇED Yönetmeliği'nin EK-1 listesi 27 nci maddesine ve 10 uncu maddesine giren faaliyetler ÇED Raporu kapsamında, EK-2 listesi 49 uncu maddesine giren faaliyetler ise PTD kapsamında değerlendirilecektir.

Arama projelerinde ele alınmış olan Proje Tanıtım Dosya süreci ile ÇED Raporu süreci işletme projelerinde de aynı şekilde yürütülür. Bir işletme faaliyeti için PTD sunulurken ÇED Gereklidir kararı almış olan faaliyetler için projeye ait ÇED Başvuru Dosyası sunulurken ÇED süreci başlatılır. Halkın Katılımı Toplantısının gerçekleştirilmesi ile devam eder. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından ilgili kurumların dahil edilmesi ile oluşturulmuş olan komisyonun isteği doğrultusunda verilen format alındıktan sonra ÇED Raporu sunulur ve komisyon değerlendirmesi ile halkın istek ve şikayetlerini içeren dilekçeler ile yön verilen Nihai Rapor için ÇED Olumlu yada ÇED Olumsuz kararı verilir.

Başka bir önemli detay ise, madencilik faaliyetlerinin ÇED Raporu hazırlık aşamasında rapor içerisinde sunulması gereken ek çalışmalardır. Bunlar proje sahasının mülkiyet durumuna göre hazırlanması gereken proje ve etüt raporlarıdır. Tarım arazileri için toprak koruma projesi, doğaya yeniden kazandırma planları, orman arazileri için ise rehabilitasyon projeleri, Maden Atıkları Yönetmeliğine göre Atık Yönetim Planlarının hazırlanması gerekir.

### **3.2. İnşaat Aşaması**

ÇED Olumlu ve/veya ÇED Gereklidir kararı alınmış olan projelerin inşaat çalışmalarına başlayabilmesi için mülkiyet izinleri ile İş Yeri Açma ve Çalışma Ruhsatı'nın alınması gerekmektedir. Bu izinlerin alınmasının ardından inşaat faaliyetlerine başlanabilir.

Madencilik faaliyeti yalnızca maden işletme süreçlerinden oluşuyor ise yani kapsamında kırma, eleme tesisi, cevher zenginleştirme tesisi ve atık barajı gibi üniteler yok ise inşaat çalışmaları proje alanının etrafının çevrilmesi, nebati toprağın sıyırılması, ofislerin kurulması, yeraltı giriş bölgesi hazırlıkları ve diğer altyapı işlerinin gerçekleştirilmesi işlemlerini kapsar. Bu işlemlerden sonraki her türlü madencilik faaliyeti işletme sürecine dahildir. Öte yandan eğer proje kapsamında yukarıda adı geçen süreçler mevcut ise inşaat dönemi, cevher zenginleştirme ve kırıcı ünitelerinin kurulumu, atık depolama tesisinin inşaat çalışmalarını kapsar.

Bu konunun özellikle aktarılmasının sebebi yani faaliyetlerin inşaat ve işletme dönemlerinin doğru şekilde anlaşılması, ÇED Olumlu ve ÇED Gereklidir

kararları sonrasında Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği kapsamında alınması gerekli olan izinler için önem taşımaktadır.

### **3.3. İşletme Aşaması**

10.09.2014 tarih ve 29115 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiş olan Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği' nin 5 inci maddesine göre, ilgili yönetmeliğin EK-1 ve EK-2 listesine giren faaliyetler için önce Geçici Faaliyet Belgesi (GFB) ve devamındaki bir yıl içerisinde Çevre İzni ve Çevre İzin ve Lisans'ının alınması gerekmektedir. Söz konusu yönetmelik kapsamındaki tüm iş ve işlemler Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yetkilendirilmiş Çevre Danışmanlık Firmaları veya Çevre Yönetim Birimleri tarafından yürütülür.

Bu hususla ilgili olarak, 21.11.2013 tarih ve 28828 sayılı Resmi Gazete'de yürürlüğe giren Çevre Görevlisi, Çevre Yönetim Birimi ve Çevre Danışmanlık Firmaları Hakkında Yönetmeliğin 5 inci maddesi uyarınca, Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği'nin Ek-1 listesindeki faaliyetleri gerçekleştirecek olan firmalar çevre yönetim birimlerini kurmak yada çevre danışmanlık firmalarından çevre yönetim hizmeti almak zorundadır. Ek-2 listesinde yer alan faaliyetleri gerçekleştirecek firmalar ise çevre görevlisini sürekli istihdam etmek veya çevre danışmanlık firmalarından çevre yönetim hizmeti almak veya çevre yönetim birimi kurmak zorundadır. Çevre Görevlisi, Çevre Yönetim Birimi ve Çevre Danışmanlık Firmalarının yetkinlikleri, yetkileri ve sorumlulukları bağlı buldukları yönetmelikte tanımlanmıştır.

Madencilik faaliyetleri yani açık ocak ve yeraltı işletmeleri Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği'nin EK-2 listesi 2.16 ve 2.17 maddeleri kapsamında değerlendirilirken, cevher zenginleştirme tesisleri EK-1 listesi madde 3.3, atık depolama tesisleri ise yine EK-1 listesi madde 8.1 kapsamında değerlendirilmektedir.

ÇED Gerekli Değildir Belgesi bulunan ancak söz konusu yönetmelik kapsamında yer almayan faaliyetler yani işletme sırasında patlayıcı madde kullanmayan sadece iş makineleri ile üretim yapan ve günde 200 ton'dan daha fazla üretim yapmayan işletmeler Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerine başvurarak ilgili yönetmelik gereği muafiyetlerini almakla yükümlüdürler.

### **3.4. Geçici Faaliyet Belgesi (GBF) Süreci**

İşletmelerde inşaat dönemi bitiminde hemen işletmeye geçilebilmesi için GFB başvuru işlemlerinin inşaat çalışmaları başlamadan yada inşaat sürecinde gerçekleştirilmesi gerekir. Şöyle ki; GFB için gerekli olan evrakların ilgili makama

sunulması sonrasında yönetmelikte tanımlanmış olan yasal süreler kapsamında bakıldığında yaklaşık olarak dört ay içerisinde GFB alınabilmektedir. Ancak bu sürenin daha kısa yada uzun olması projenin işleyişi ile bilgi ve belgelerin uygunluğuna göre değişim gösterebilmektedir. GFB için gerekli olan evraklar yönetmeliğin Ek-3A ve Ek-3B kısmında belirtilmekte olup, EK-1 listesindeki faaliyetler için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na Ek-2 listesindeki faaliyetler için Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerine başvuru yapmak gerekmektedir. Başvurusu yapılacak olan projenin ÇED Olumlu Belgesi alınmış olan Nihai ÇED Raporunda belirtilen kapsamda olması gerekmektedir. İşletmeler GFB'nin alınmasının ardından bir yıl süre ile faaliyetlerini sürdürebilirler.

### **3.5. Çevre İzni ve Çevre İzin ve Lisans Süreci**

GFB bir yıl geçerliliği olan ve Çevre İzni'nin alınması için üretim aşamasındaki süreçlerin neler olduğunun görülebilmesi ve ölçümlerin yapılabilmesi için geçirilen dönemi ifade eder. Bu nedenle GFB alınmasının ardından faaliyete başlayan işletmelerde Çevre İzni ve Çevre İzin ve Lisans çalışmalarına başlanması gerekmektedir. Şöyle ki; Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği'nin 9 uncu maddesi gereğince, GFB'nin alındığı tarihinden itibaren yüz seksen gün içerisinde yönetmeliğin Ek-3C kısmında belirtilen tüm evrakların hazırlanarak ilgili firma veya yetkili kişilerce başvurunun yapılması gerekmektedir.

Başvuru sonrasında ilgili kurumların yönetmelik çerçevesindeki değerlendirmeleri neticesinde Çevre İzni Belgesi yada Çevre İzin ve Lisans Belgesi düzenlenmektedir.

Tüm bu süreç, yani GFB başvurusundan, Çevre İzni ve Çevre İzin Lisans Belgesinin alınmasına kadar geçen süre mevzuatta belli aşamaları takvim günü olarak tanımlanmış olsa da her proje kendi özelinde farklılıklar göstereceğinden, tamamlanma süresi de net olmamak ile birlikte yaklaşık olarak bir yıllık bir dönem içerisinde süreç tamamlanabilmektedir.

Belgenin geçerlilik süresi beş yıldır. İzin işlemleri tamamlanmış olan projede süreç içerisinde kapasite artışı, ekipman yenileme ve benzeri hususlar ile ilgili bir değişiklik söz konusu olduğunda, tüm bu planlanan değişiklikler gerçekleştirilmeden önce Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerine ve/veya Çevre ve Şehircilik Bakanlığına bilgi verilmeli, mevzuatlar gereği değerlendirilmesi istenmelidir.

### 3.6. Atık Depolama Tesisleri İzinleri

Madencilik faaliyetleri kapsamında işletmelerde atık depolama tesisi süreci yer almakta ise, ÇED Raporunda sunulması için hazırlanmış olan ve Nihai ÇED Raporu ile tüm kurum ve kuruluşlar tarafından onaylanarak ÇED Olumlu Kararı verilmiş olan atık barajları için inşaat çalışmalarına başlamadan önce projelerinin onaylatılarak izin sürecinin tamamlanması gerekir.

Bu kapsamda atık barajları için izlenmesi gereken yöntem ve alınması gereken izinler, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 26.03.2010 tarih ve 27533 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiş olan Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (ADDDY) kapsamında belirlenmiştir. Bu yönetmeliğin uygulama esasları ise Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğünce çıkarılmış olan 2014/13 Genelgesi ile belirlenmiştir. Ancak, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 15.07.2015 tarihinde 29417 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiş olan Madden Atıkları Yönetmeliği gereğince atık depolama tesisleri ile ilgili uygulama esasları yönetmeliğin yayımlandığı tarihten itibaren bir yıl sonra yürürlüğe girecektir. Eski işletmeler de yönetmeliğin yürürlüğe girmesi ile birlikte gerekli tüm uyum süreçlerini tamamlamakla yükümlüdürler.

Nihai ÇED Raporu sonrasında son hali oluşturulan atık depolama tesisi kesin projesine göre, “Uygulama Projesi” nin hazırlanması gerekmektedir. Bu projeler yönetmelikte meslek ve tecrübeleri belirlenmiş olan kişiler/firmalarca hazırlanır. Kendi bünyesinde belirlenmiş meslek ve tecrübe yılında personeli bulunmayan madencilik firmaları dışarıdan bu hizmet alımını yaparak projelerini hazırlatabilirler.

Uygulama projesinin Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından onaylanması sonrasında inşaat faaliyetlerinin projeye uygun yürütüldüğünün denetlenmesi için DSİ Genel Müdürlüğü tarafından yetkilendirilmiş “Su Yapıları Denetim Firmaları” yada Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nca yetkilendirilmiş firmalar ile gerekli anlaşma sağlanır.

İnşaat faaliyetlerinin başlaması ile birlikte yetkilendirilmiş firma tarafından aylık olarak denetleme raporları ilgili makama sunulur ve tamamen inşaat faaliyetlerinin tamamlanması sonrasında ise yine firma tarafından denetleme nihai raporu teslim edilir. Bu çalışmaların ardından işletme sahibi tarafından hazırlanacak olan “işletme planı” Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğüne onaylatılır ve Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğünden alınan uygunluk yazısı ile Onay Belgesi başvurusu yapılır. Onay Belgesinin alınması ile birlikte atık depolama tesisi için yasal işletme süreci başlatılmış olur.

#### 4. SONUÇ

Sonuç olarak sektör temsilcilerinin hayata geçirmeyi planladıkları işletmeleri için bu karmaşık mevzuat sistemi içerisinde hızlı ve doğru şekilde yol alabilmeleri, ayrıca işletmeye geçtikten sonra sürdürülebilir madencilik çerçevesinde işletmenin sektöre uğramadan düzenli şekilde eksiksiz faaliyetlerini yürütülebilmeleri için uzman personel istihdamının sağlanması gerekmektedir. Öte yandan yukarıda adı geçen yönetmelikler çerçevesinde kapsam ve kapasitesine göre uzman personel buldurmanın yanı sıra dışarıdan danışmanlık hizmeti alınması zorunluluklarının bulunduğu da göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Bu hizmet alımı işinin yalnızca bir zorunluluk olmasından öte gereklilik olduğu bilincine varılmasının önemi de büyüktür.

Arama döneminden işletme dönemine ve hatta kapatma dönemi süresince de Çevre Kanunu gereği alınması gerekli olan tüm izinler, rutin beyanlar zamanında yerine getirilmez ve şartlar sağlanmadan faaliyete başlanırsa yine Çevre Kanunu gereği, işletmelere para cezası uygulaması ve hatta süresiz işletmenin durdurulması cezaları da uygulanabilmektedir.

Bu nedenle sektör temsilcileri kendi bünyelerinde konusunda uzman personeller ile çevre yönetim birimleri oluşturmalı, öncelikle kendi iç denetimlerini kendi faaliyet alanları özelinde sürekli kontrol etmeli ve devamında meri mevzuat çerçevesinde iş ve işlemlerini yürütmelidirler. Kendi içinde doğru bilgi akışı ve yönlendirme içinde bulunan firmalar resmi denetlemeler ve rutin beyan işlemlerinde aksaklıkları minimuma indirerek işlerin sürekliliğinde büyük problemlerin önüne geçmiş olacaklardır. Sürdürülebilir madencilik doğru politikalar, işin uzmanı personeller ve iç denetimler ile en doğru şekilde hayata geçirilebilir.

#### KAYNAKLAR

- Çevre Kanunu, 2872 sayılı, (20.maddesi)  
Maden Kanunu,3212 sayılı, ( 12. Maddesi, 7. Maddesi, 18. Maddesi)  
ÇED Yönetmeliği, 25.11.2014 tarih ve 29186 sayılı.  
Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği, 10.09.2014 tarih ve 29115 sayılı.  
Çevre Görevlisi, Çevre Yönetim Birimi ve Çevre Danışmanlık Firmaları Hakkında Yönetmelik, 21.11.2013 tarih ve 28828 sayılı.  
Maden Atıkları Yönetmeliği, 15.07.2015 tarih ve 29415 sayılı

# Asit Maden Drenajı Arıtma Yöntemlerin Karşılaştırmalı İncelenmesi

## *Comparative Investigation of the Acid Mine Drainage Treatment Methods*

M.S. Delibalta

*Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Niğde*

**ÖZET** Kömür açık işletmeleri sonrası oluşan üretim çukurlarının dekapaj malzemesiyle doldurulmaması halinde, yüzey suları ve yeraltı su seviyesinin yükselmesi ile küçük veya büyük göletler oluşmaktadır. Düşük pH değeri (asidik karakteristik) ve yüksek metal konsantrasyonu içeren bu göletlerde, baskın halde bulunabilen sülfürlü mineraller ve atık malzemeler, en önemli çevresel sorunlardan birini oluşturmaktadır. Bu araştırmada, asit maden drenajı (AMD) arıtma yöntemlerinin gerek teorik gerekse uygulamalı saha çalışmalarından elde edilen bulguları; ekolojik, ekonomik ve teknolojik olarak karşılaştırmalı metotla ortaya konulmaktadır. Pek çok AMD aktif ve pasif arıtma yöntemleri geliştirilmiştir. Maden yataklarının kendine özgü koşulları sebebiyle, tüm maden sahalarına uygulanabilen tek bir arıtma yöntemi mevcut değildir. Her çözüm yönteminin bazı üstün nitelikleri olduğu gibi, zayıf yönleri de bulunmaktadır. Yöntem seçiminde belirleyici unsurlar; ortam koşulları, güvenilirlik, maliyet ve çevre standartlarıdır

**ABSTRACT** No stripping with the material filling of the production holes after coal opencast production, with the rise of surface water and underground water level, large or small ponds are composed. Low pH (acidic characteristic) and high metal concentrations of these ponds, containing sulfide minerals and the waste materials, for the sustainability of natural resources is one of the biggest environmental problems. In this study, acid mine drainage (AMD) treatment methods applied as well as theoretical findings obtained from field work; ecologically, economically and technologically, it is introduced to the comparative method. Many active and passive AMD treatment methods have been developed.



Due to the unique conditions of mineral deposits, single solution methods that can be applied to all mining fields are not available. There are also weaknesses as some of the outstanding qualities of each solution method naturally. Determining factor in the choice of methods are environmental conditions, reliability, cost and environmental standards.

## **1. GİRİŞ**

Madencilik amacı, ulusal kalkınma ve ekonomik gelişme için gerekli olan hammaddeleri endüstriye sağlamaktır. Ancak; madencilik faaliyetleri sırasında ve sonrasında kaçınılmaz olarak pek çok arazi bozulmaları, atıklar, toz ve gürültü meydana gelmektedir (Pietsch, 1991; Ünver ve Kara, 1994). Günümüz sanayileşme ve hızlı nüfus artışına bağlı olarak doğal hammaddelere olan talep sürekli artmakta, bunun neticesinde söz konusu tahribatlar da yaygınlaşmaktadır.

Kömür açık işletmeleri sonrası oluşan üretim çukurlarının dekapaj malzemesiyle doldurulmaması halinde, yüzey suları ve yeraltı su seviyesinin yükselmesi ile küçük veya büyük göletler oluşmaktadır (Şekil 1). Düşük pH değeri ve yüksek metal konsantrasyonu içeren bu göletlerde baskın halde bulunabilen sülfürlü mineraller ve atık malzemeler, doğal kaynakların sürdürülebilirliği için en önemli çevresel sorunlardan birini oluşturmaktadır.

## **2. MATERYAL VE METOT**

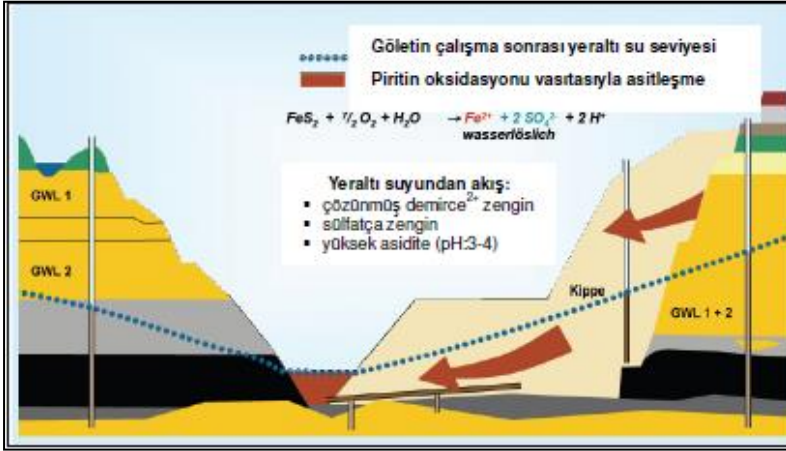
Yapılan araştırmada, kömür işletmelerinde asit maden drenajı arıtma yöntemlerinin gerek teorik gerekse uygulamalı saha çalışmalarından elde edilen bulguları; ekonomik ve teknolojik yönden karşılaştırmalı metotla ortaya konulmaktadır.

## **3. BULGULAR**

Madencilik faaliyetlerinden etkilenen suların fiziksel ve jeokimyasal özellikleri işletilen madenin türüne bağlı olarak değişmektedir. Kömür, baz metal, değerli metal veya bir endüstriyel hammadde olmasına göre, suların niteliklerinde büyük farklılıklar görülebilmektedir (Delibalta ve Uzal, 2012). Yüksek veya düşük pH, metal ve anyon içeriği yüksek olabilmektedir (Şekil 2). Ayrıca; suda çözünmüş katı, askıda katı madde konsantrasyonları artabilmekte ve farklı organik kimyasallar bulunabilmektedir.

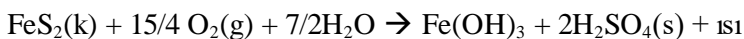
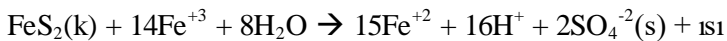
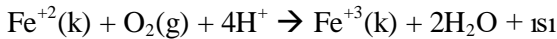
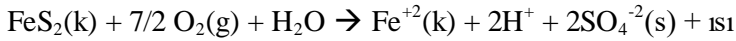


Şekil 1. Milas açık işletme göletinden bir görünüş (Delibalta ve Uzal, 2011)

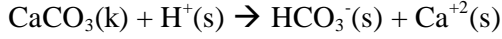


Şekil 2. Kömür açık işletmelerinde yeraltı suyu etkileşimi (Zschiedrich, 2012)

Asidik maden göletlerinin oluşmasındaki en önemli faktör, kayaç içerisinde bulunan demir sülfitlerin (pirit, pirotin ve markazit vs.) su ve hava ile teması sonucu okside olmasıdır. Aşağıdaki reaksiyonlara göre oksidasyona uğrayan pirit sonucunda ortaya çıkan sülfürik asit nedeniyle ortamın pH seviyesi düşmektedir.



Asidik göletlerin tipik özelliklerinden olan koyu kahverengi/kırmızı rengi veren ise, reaksiyon sonucu çöken demir oksit-hidroksitlerdir. Yukarıdaki reaksiyonların oluşması için oksijen ve suyun varlığı ön şarttır. Fe<sup>+3</sup>'ün kuvvetli bir oksitleyici olması bu reaksiyonlarda büyük bir önem taşımaktadır. Ayrıca, mikroorganizmaların varlığı da reaksiyonları hızlandırmaktadır. Bazı sülfidler asit üretimine yardımcı olurken, kimi karbonat mineralleri (kalsit ve dolomit gibi) nötrleştirici rol oynamakta, bazı silikatlar da tampon etkisi yapmaktadır.



Asidik ortam oluşumu ve nötralizasyonu burada verilen kimyasal süreçten çok daha karmaşık bir olgudur. Çünkü reaksiyonları jeomorfolojik olarak hızlandıran, yavaşlatan ve engelleyen çok sayıda faktör bulunmaktadır. Maden yatağının jeokimyasal yapısı, işletmeyle teması olan suların asidik karakter kazanıp kazanmaması bakımından önemlidir (Gündüz ve Baba, 2009; Karadeniz, 2012).

Süzdürülebilir ve çevre uyumlu bir madencilik faaliyeti için, AMD oluşmadan önce tahmin edilmesi, gereken önlemlerin maden arama döneminden maden kapatma dönemine kadar uygulanması ve izlenmesi gerekmektedir (MİTTO, 2015). Aksi takdirde; hem çevresel hem de ekonomik açıdan öngörülemeyen problemler yaşanabilmektedir. Bu tür sorunlara çözüm olarak pek çok AMD arıtma yöntemleri geliştirilmiştir.

#### **4. ASİT MADEN DRENAJİ (AMD) ARITMA YÖNTEMLERİ**

Asidik göletlerin arıtılmasında iki temel yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan aktif arıtma sistemleri olarak adlandırılan birinci yöntemde, suyun asiditesinin nötralize edilmesi ve çözünmüş metallerin giderimi için suya kimyasal eklenmesi yapılmaktadır. Bu kimyasallar arasında en yaygın olarak kullanılanları; kireç, kostik, dolomit, soda külü ve termik santral külleridir. Pasif arıtma sistemleri olarak adlandırılan ikinci yöntemde ise, asidik suyun doğal sulak alanlar vb. sistemler içerisinde iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Benzer olarak; anoksik kireç drenleri olarak adlandırılan bu yöntemde, kireçtaşının açılan hendeklere doldurulması ve asidik suların bu hendeklerden geçirilmesi prensibine dayanan farklı teknikler mevcuttur (Karadeniz, 2005; Pabsch ve ark., 2013). Bu yöntemlere ait ayrıntılı bilgiler aşağıda verilmektedir.

## 4.1 Aktif Arıtma Yöntemleri

Çevre açısından AMD'ı çözeltilinde izlenmesi zorunluluk arz eden parametreler; pH asidite, Fe, Mn ve Al gibi metal iyonu konsantrasyonları ile askıda ve çözülmüş katı madde oranlarıdır. Buna göre; aktif arıtma esas itibarıyla, bir alkali kimyasal madde yardımıyla önce drenaj çözeltilisini nötrleştirme ve sonra metalleri çöktürme (precipitation) işlemidir.

Genel olarak aktif arıtma proseslerinde; AMD uygun bir yerde (gölet gibi) toplandıktan sonra, arıtma işleminde kullanılmak üzere seçilen kimyasal beslemesi yapıp, karıştırılır. Karıştırma mekanik, türbülanslı akış vasıtasıyla sağlanabileceği gibi, doğal çözünme de uygulanabilir. Kimyasal süreç, gerektiğinde havalandırma, oksidasyon (kimyasal veya biyolojik), salkımlaştırma gibi yardımcı işlemlerle desteklenir. Bu aşamayı, berraklaştırıcılar, diğer mekanik ayırıcılar (koyulaştırıcı gibi) kullanmak suretiyle gerçekleştirilen çöktürme izler. Bazen de sadece çöktürme havuzlarından faydalanılır. Katı-sıvı ayrımıyla atık sıvının uzaklaştırılmasını takiben, çamur bertaraf edilerek (derin madenlerde veya uygun mekânda depolama) arıtma işlemi tamamlanır.

Bu yöntemde kullanılacak kimyasallar arasında hangisinin seçileceği, teknik ve ekonomik etmenlere bağlıdır. Drenaj hacmi, asidite seviyesi, çözeltideki metal konsantrasyonu ve türü, askıda ve çözülmüş katı mevcudiyeti ile başlangıç pH değeri gibi drenaj çözeltilisinin geliştiği ortama bağlı olarak kazandığı kimyasal ve fiziksel yapı dışında, doğal ortama verilecek suyun niteliği teknik faktörlerdir. Ayrıca; kullanılan kimyasal maliyeti, ekipman durumu, tesis ömrü, işçilik ve tabii ki çevresel risk faktörü ekonomik açıdan belirleyici rol oynamaktadır.

### 4.1.1 Çözeltideki İyonlar ve Davranışları

AMD'nı sorun haline getiren ilk parametre yüksek  $H^+$  iyonu konsantrasyonu (düşük pH), diğeri de bilhassa mineral asiditesi olarak tanımlanan ve üzerinde daha fazla durulan metal iyonu konsantrasyonudur. Bu nedenle, ilk adım çözeltilinin nötrleştirilmesidir.

Ayrıca, metal iyonları genelde kimyasal olarak suyun pH değeri 6- 9 arasında iken çökeler. Nihai hedefte, pH'nın çok yüksek olması istenmiyorsa (8-8.5), karbonatlı bileşikler yeterli olur. Ancak, ortamın pH seviyesinin daha fazla yükselmesi istenirse, hidroksit bileşikleri ilâve edilmelidir. Bu yalnızca su kalitesine bağlı değildir. Çözeltilinin içerdiği metal iyonlarının davranışlarıyla da yakından ilgilidir. Ortamda oksijen varsa,  $Fe^{+2}$  iyonları oksitlenerek  $Fe^{+3}$ 'e dönüşüp demir hidroksit oluşturur ve pH 3.5'e ulaştığında sarımsı-turuncu renkte bir katı

halinde çökelir. Şayet, oksijen yetersizse, demir  $Fe^{+2}$  iyonları formundadır. Çökeltme ancak, pH 8.5'e çıktığında görülür ve mavimsi yeşil renk verir. Oksijen fakirliği halinde,  $Fe^{+2}$  iyonlarının  $Fe^{+3}$ e yükseltgenmesi için havalandırma yararlı olur.

#### 4.1.2 Kimyasallar

Aktif arıtmada kullanılan kimyasalları; nötrleştiriciler, topaklayıcılar / salkımlaştırıcılar (koagülantlar / flokülantlar) ve oksitleyiciler olmak üzere üç grupta toplamak mümkündür. Potasyum, magnezyum, amonyak ve diğer kalsiyum bazlı olanlar da dahil çok sayıda kimyasal bileşik ve mineral arıtma özellikleri taşımaktadır. Nötrleştirici bileşikler, toprak alkali metallerin oksit, hidroksit veya karbonatıdır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Arıtma kimyasalları ve nötrleştirmede etkinlikleri (Karadeniz, 2005)

Kimyasal	Formül	Nötrleştirme Etkinliği (%)
Kireçtaşı	$CaCO_3$	30
Hidrate Kireç	$Ca(OH)_2$	90
Sönmemiş Kireç	CaO	90
Soda Kulu	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	60
Kostik Soda	NaOH	100
%20'lik Sıvı Kostik	NaOH	100
%50'lik Sıvı Kostik	NaOH	100
Amonyak	NH <sub>3</sub>	100

Ancak, ağırlıklı olarak tercih edilen dört kimyasal; kireçtaşı, hidrate kireç, soda külü ve kostik sodadır. Bu bileşiklerin özelliklerini oluşturan sodyum/kalsiyum ve karbonat/hidroksit arasında karşılaştırma yapılarak uygun kimyasal belirlenir. Kalsiyumlu bileşikler sodyumlulara göre ucuz ve reaksiyon hızları düşüktür (Çizelge 2). Hidroksitler pH'ın yükseltilmesinde ve metallerin çöktürülmesinde etkili, buna karşın kullanımları daha güç ve maliyetleri fazladır. Çöktürme havuzlarında önem taşıyan kalış süresini kısaltabilmek adına, hızlı çökelmeyi temin için çözeltiye topaklayıcılar veya salkımlaştırıcılar ilâve edilmesi bilinen bir uygulamadır.

Çizelge 2. Kalsiyum veya Sodyum bileşiklerin seçimini etkileyen etmenler

Etmen	Kalsiyum	Sodyum
Çözünürlük	Yavaş	Hızlı
Uygulama	Karıştırma gerekli	İyi dağılma
Sertlik	Yüksek	Düşük
Jips Oluşumu	Evet	Hayır
Yüksek Askıda Katı Oranı veya Kil Tanecikleri	Killer çöker	Killer dağılır ve askıda kalır
Kimyasal Maliyeti	Düşük	Yüksek
Tesis ve Bakım Maliyeti	Yüksek	Düşük

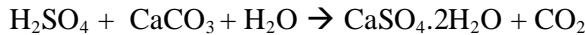
#### 4.1.3 Arıtma Kimyasalları

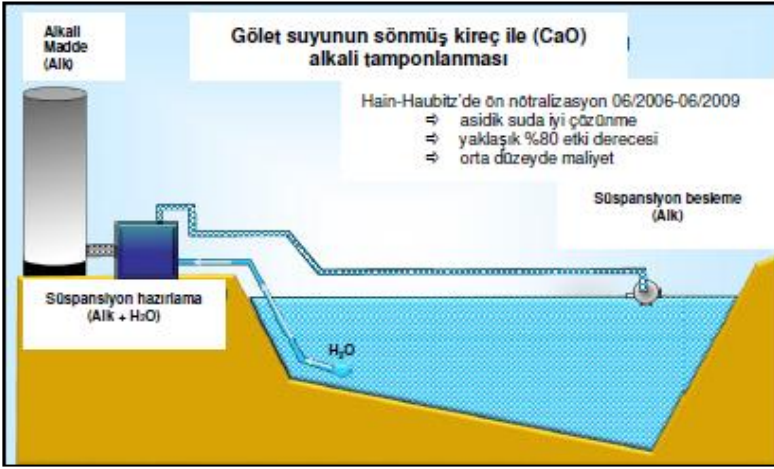
AMD sorununun kimyasal ilâvesiyle artırılması öteden beri bilinen ve yaygın şekilde kullanılan bir yöntemdir. Madenlerdeki yataktan yatağa değişen özellikler nedeniyle, yıllardır sayısız kimyasal bileşik denenmiştir. Burada, genel anlamda başarılı sonuçlar alınan dört tanesine kısaca değinilmiştir.

*Hidrate kireç (Ca(OH))*: Tüm aktif arıtma kimyasallarının en yaygın kullanılanı, özellikle asiditenin yüksek ve drenaj hacminin fazla olduğu yerlerde, bilhassa kömür madenciliğinde tercih edilenidir. Toz halinde bulunması, belli ölçüde de olsa hidrofobik davranması nedeniyle olumlu sonuçlar elde edilmesi, çözültide iyi dağılmasına, diğer bir deyişle karıştırma işleminin etkin yapılmasına bağlıdır. Reaksiyona girdiğinde, jips oluşturur ve çamur hacmi yüksektir.



*Kireçtaşı (CaCO<sub>3</sub>)*: En ucuz ve güvenilir seçenek olan, diğerlerine oranla kullanım kolaylıkları sağlayan kireçtaşı, düşük çözünürlüğü nedeniyle pH'm ve metal iyonu konsantrasyonunun düşük olduğu şartlarda oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Etkinliğini tane boyutu, kalsiyum içeriği ve spesifik yüzey alanı belirlemektedir. İnce tane boyutu (-325 mesh), yüksek kalsiyum, düşük magnezyum oranı ve yüksek spesifik yüzey alanı kireçtaşının verimliliğini arttırmaktadır (Şekil 3).





Şekil 3. Gölet suyu aktif arıtma sistemlerinden bir görünüş (Zschiedrich, 2012)

Kireçtaşı uygulamalarında; düşük çözünürlüğü dışında, reaktivitesi açısından karşılaşılan başlıca sorun, yüzeyinin çözültide bulunan metal iyonları, jips ve demir hidroksit ile kaplanması neticesinde etkisiz kalmasıdır.

*Soda külü (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>):* Soda külü akış hızının, metal konsantrasyonunun ve asiditenin az olduğu koşullarda tercih edilen bir bileşiktir ve maliyeti yüksek, çökeltme süresi uzundur.

*Kostik soda (NaOH):* Akış hızının düşük, asiditenin fazla ve özellikle mangan konsantrasyonunun yüksek olduğu koşullarda tercih edilen kimyasaldır. Yüksek maliyeti ve kuvvetli baz olması nedeniyle, genel kullanım zorluğu en önemli dezavantajdır. Ayrıca, çok soğuk havalarda donma riski taşımaktadır. Bu reaktiflerin dışında, iki değerlikli demir ve mangan konsantrasyonunun fazla olduğu çözültülerde amonyak oldukça etkilidir. Güçlü bir nötrleştiricidir. Kullanım zorluğu, zehirliliği nedeniyle risk taşınması ve alıcı ortamlarda yaşayan canlılar için ciddi tehdit oluşturması, kullanımını büyük ölçüde sınırlamaktadır.

## 4.2 Pasif Arıtma Yöntemleri

Kimyasal ilâvesi gerektirmemesi sebebiyle pasif diye adlandırılan ve aktif arıtmaya alternatif olarak geliştirilen pasif arıtma teknolojileri hakkındaki araştırmalar, son 15 yıllık dönem içinde yoğunluk kazanmıştır. Düşük maliyeti, işletme ve bakım basitliği gibi sebeplerle giderek yaygınlaşmaktadır. Bu sistemlerden beklenen; metallerin, indirgenme veya yükseltgenme reaksiyonlarıyla kimyasal anlamda çöktürülerek sudan uzaklaştırılması ve suyun pH değerinin söz konusu ortamdaki canlıların yaşamlarını idame ettirecekleri seviyeye yükseltilmesidir.

Madenlerin kendilerine özgü koşulları neticesinde, çok sayıda pasif arıtma teknolojisi geliştirilmiştir. Bunlar arasında; Doğal ve Suni Bataklıklar (yükseltgen ve indirgen şeklinde de ayrımlar bilinmekte), Anoksik Kireçtaşı Drenleri (ALD), Ardışık Alkali Üreten Sistemler (RAPS), Kireçtaşı Havuzları (LP) ve Açık Kireçtaşı Kanalları (OLD) başlıca uygulananlardır. Bazen birden fazla sistem bir arada kullanılabilir. Buna göre, uygulama için bir strateji geliştirilmesi gerekmektedir. Arıtma sistemin başarısı; suyun (çözeltinin) kimyasal yapısına, debisine, arazinin topografyasına ve ortamın karakterine bağlıdır. Dolayısıyla; uygulanacak yöntemin seçimi ve tasarımından önce, bu parametrelerin belirlenmesi hayati önem taşımaktadır.

#### **4.2.1 Bataklık Sistemleri**

Drenaj suları doğal veya inşa edilerek oluşturulmuş bataklık alanlardan geçirilmek suretiyle arıtılabilmektedir. Bitki ve hayvan barındırmaları, estetik görünüm sağlamaları nedeniyle, değerli birer ekosistem niteliği taşıdıkları kabul edilmektedir.

##### *4.2.1.1 Doğal Bataklıklar*

AMD kendiliğinden büyümüş yosunlar, sazlar veya kamışların bulunduğu bataklık alanlardan geçirildiğinde, su kalitesinde iyileşme olmaktadır. Suya doygun toprağın veya çökellerin bitkiyle desteklediği bataklıklar, organiklerin varlığıyla indirgen koşullar temin etmektedir. Drenaj içindeki metalleri adsorbe eden organik maddeler bir filtre gibi davranırken, indirgen ve yükseltgen mikrobiyolojik reaksiyonlarla da metaller çökelererek uzaklaşır. Ancak; uzun dönemler dikkate alındığında, doğal ortamda bozulma olasılığı, bu sistemlerin önündeki temel engeldir.

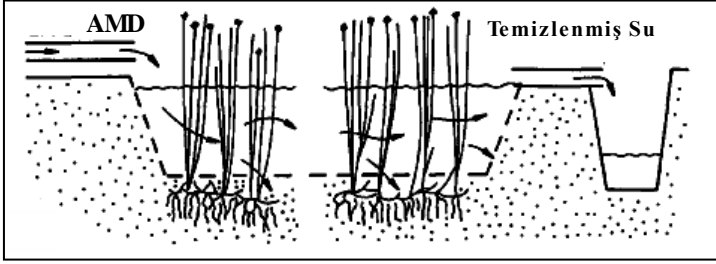
##### *4.2.1.2 Suni Bataklıklar*

AMD'nin arıtılması gayesiyle inşa edilen bataklık sistemleri ya aerobik (serbest oksijenli ortam) ya da anaerobiktir (serbest oksijen bulunmayan ortam). Bataklıklarda metallerin alıkonma mekanizmaları; metal hidroksitlerin oluşumu ve kimyasal çökmesi, organik bileşik oluşumu, negatif yüklü yerlerde diğer katyonlarla değişim ve bitkilerce doğrudan alınmayı içerir. Bunlardan başka, karbonatlar tarafından nötrleştirilme, alt tabaka malzemesine tutunma, algler



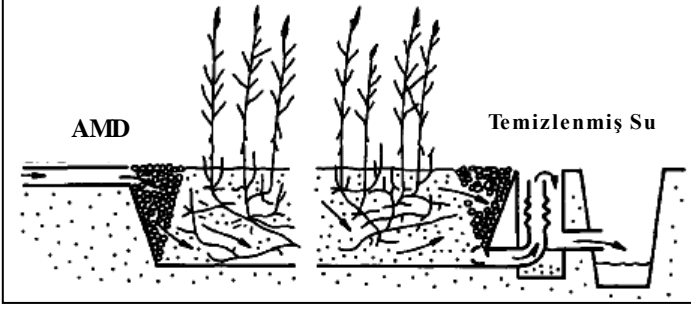
üzerine metal adsorpsiyonu ve değişimi ile demir hidroksitler ve sülfatın mikrobiyolojik olarak indirgenmesi sayılabilir.

*Aerobik bataklıklar:* Sığ bir kazı (30-90 cm) yapılarak açılan boşluğun kum, toprak, kil, maden pasası ve organik maddelerle doldurulup geçirimsizliğin sağlandığı ve saz, kamış gibi bitkilerle desteklendiği, en üstte 3-5 cm derinliğinde su katmanı bulunan yapay ekosistemlerdir. Bitkilendirme ile bir taraftan görsellik hedeflenirken, diğer taraftan da su akış rejimi düzenlenip homojenlik sağlanır. Bitki varlığının önemli bir rolü de biyokimyasal reaksiyonlara ilişkindir. Yüzeyde su derinliğinin az, buna karşın alanın geniş olması metal oksidasyonu ve hidrolizi etkinleştirir. Özellikle Fe, Al ve Mn hidroksitler çökelir. Arıtma esas olarak sığ olan yüzeyde gelişir (Şekil 4). Aerobik suni bataklıkların etkinliği; drenaj çözeltilisinin pH seviyesine, çözülmüş metal ve oksijen içeriğine, alkalilik durumuna, mikroorganizma varlığına ve drenaj çözeltilisinin sistemde kalış süresine bağlıdır. Aerobik suni bataklık uygulamaları asiditenin az veya drenaj suyunun alkali olduğu durumlarda, yüksek Fe konsantrasyonu olduğunda çok başarılı sonuçlar vermektedir.



Şekil 4. Aerobik (yüzey akışlı) sulak alanın görünümü (Çiftçi ve Akçıl, 2006)

*Anaerobik bataklıklar:* Aerobik bataklıklarda olduğu gibi en üstte 3-5 cm derinlikte bir drenaj suyu tabakası, hemen altında 30-60 cm kalınlığında toprak, bataklık yosunu, çürümüş mantar, hızar tozu, gübre gibi organik maddelerden oluşturulmuş geçirgen bir organik katman yer almaktadır. Genellikle en alta da 15-30 cm kalınlığında kireçtaşı yerleştirilmektedir. Kireçtaşı bazen organik tabaka içine karıştırılmaktadır. İnşa edilen diğer bataklık sistemlerindeki gibi benzer ve aynı amaçlı bitkilendirme yapılmaktadır. Drenaj suyu organik tabakadan geçirilmekte dolayısıyla arıtma reaksiyonları bu tabaka çerçevesinde gerçekleşmektedir (Şekil 5). Yüzeyde çözülmüş oksijen varlığına bağlı metal oksidasyonu ve hidroliz reaksiyonları gelişir. Organik tabakanın geçirgen olması nedeniyle, drenaj suyu bu tabakadan süzülür. Biyolojik oksijen ihtiyacı sudaki çözülmüş oksijenin tüketilmesi sonucunu doğurur ve ortam anaerobik hale gelir.

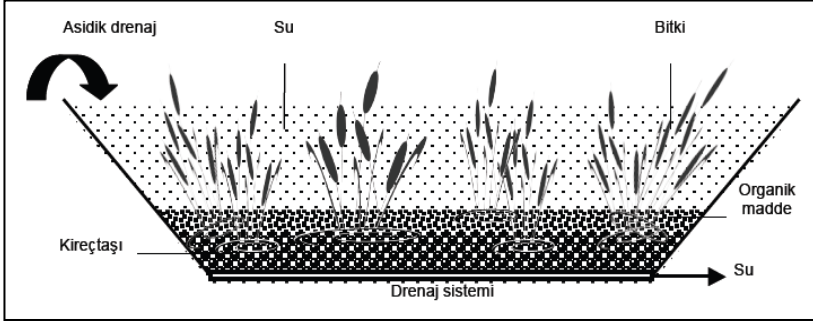


Şekil 5. Anaerobik (yüzeysel akışlı) sulak alanın görünümü (Çiftçi ve Akçıl, 2006)

Aerobik koşullarda kireçtaşının hidroksit iyonlarıyla kaplanması neticesinde işlevini kaybetmesine karşılık, anaerobik şartlarda ve pH 7'nin üzerine iken  $Fe^{+2}$  iyonları çözünür hale gelir ve kireçtaşı yüzeyi kaplanmaz ve reaksiyonlar sürer. Anaerobik bataklık sistemleri aerobik ve anaerobik ortamları birlikte barındırdığından, daha geniş çaplı kullanım imkânı vermektedir. Sadece bazik drenaj suları için değil, çözülmüş oksijen içeriği, asiditesi ve Fe iyonu konsantrasyonu yüksek, pH seviyesi düşük AMD sularının arıtılmasına da uygundur.

#### 4.2.2 Anoksik Kireçtaşı Drenleri (Anoxic Limestone Drains-ALD)

Anoksik (yetersiz veya çok düşük oksijen bulunan ortam) kireçtaşı drenleri, kazılan bir kanala kireçtaşı doldurularak ve plâstik astarla kaplanıp toprak örtüyle kapatılarak hazırlanmaktadır. Sistemde canlı organizma bulunmadığından, süreç biyokimyasal reaksiyon içermez. Arıtma için, drenaj suları drenlerden geçirilir. Kireçtaşıyla temas eden drenaj çözültisi kireçtaşını çözer. pH düzeyi yükselirken, çözülti bazik karakter kazanır. Ortamda oksijen yetersiz olduğundan, kireçtaşı yüzeyi demir hidroksitle kaplanmaz ve çözülmeye devam eder. Drenaj çözültisi yüzeye çıktığında oksidasyon ve hidroliz reaksiyonları gelişir ve çözülti bünyesindeki metaller çöker. Bunun için, çıkışa konacak çöktürme havuz alanının yeterli büyüklükte olması önemlidir (Şekil 6). Anoksik kireçtaşı drenleri asiditesi yüksek, çözülmüş oksijen içeriği düşük ve metal konsantrasyonu fazla olmayan AMD'nin arıtılmasında kullanılabilir.



Şekil 6. Gölet suyu pasif arıtma sistemlerinden bir görünüşü (Karadeniz, 2010)

#### 4.2.3 Ardışık Alkali Üreten Sistemler (Self-Regulating Alkalinity Systems-RAPS)

Anoksik kireçtaşı drenleri ile organik malzemeden oluşan bir katmanın, diğer bir ifadeyle, suni bataklığın ardışık olarak yerleştirildiği sistemlerdir. En üstte 1-3 m derinlikte asit havuzu yer alır. Altta, 20-30 cm kalınlığında organik bir katman bulunur. Tabandaki drenaj boruları ile organik katman arasında ise, 30-50 cm kalınlığında kireçtaşı vardır. Ardışık alkali üreten sistemler asidik karakterli, metal iyon konsantrasyonu ve çözülmüş oksijen içeriği yüksek olmayan drenaj çözeltileri için etkindir.

#### 4.2.4. Kireçtaşı Havuzları (Limestone Ponds-LP)

Kireçtaşı havuzu çözülmüş oksijeni düşük, demir ve alüminyum içermeyen çözeltilerin arıtılmasında kullanılabilir. Sistemin önemli avantajı, kireçtaşının gömülmemesinden dolayı izlenebilmesidir. Yüzey kaplanmasına bağlı olarak reaksiyon durduğunda, müdahale edilebilmekte veya tükendiğinde ilâve yapılabilmektedir.

#### 4.2.5 Açık Kireçtaşı Kanalları (Oxic Limestone Drains-OLD)

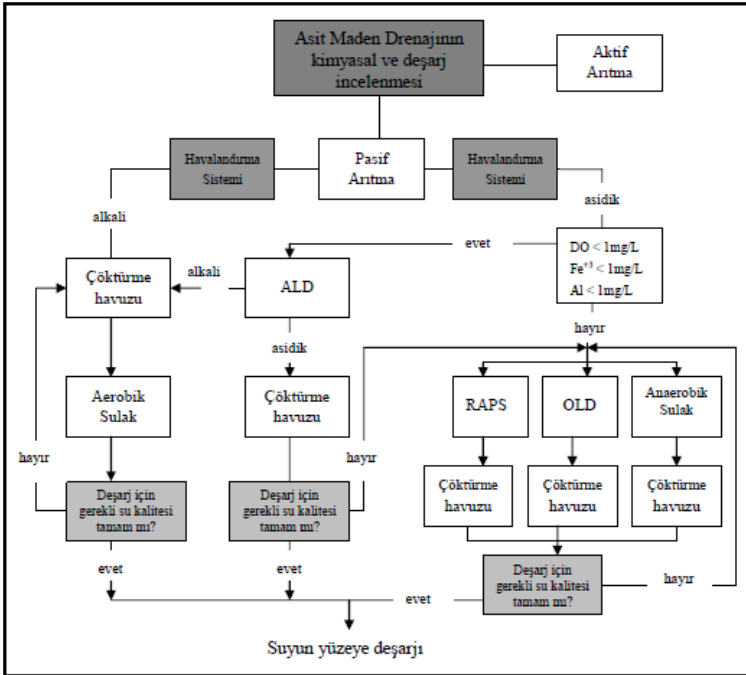
Açılan kanallar kireçtaşıyla kaplandıktan sonra, AMD bu kanallardan geçirilir. Kanal uzunluğu, kanal eğimi, drenaj besleme hızı gibi parametreler sistemin etkinliğinde belirleyici rol oynamaktadır. Açık kireçtaşı kanalları asidik karakterli, çözülmüş oksijen içeriği ve demir konsantrasyonu yüksek çözeltilerin arıtılmasında kullanılmaktadır. Eğim doğru seçildiğinde yüksek debilerde de etkin olabilmektedir. Çünkü; prensipte olmuş malzeme askıda kalmakta, yüzeyi kaplayan çökeller temizlenmektedir. Ayrıca, bu sistemler birbirlerini tamamlayacak şekilde suni bataklıklarla birleştirilebilir.

### 4.3 Aktif ve Pasif Arıtma Yöntemlerin Karşılaştırılması

AMD kapsamındaki işletmelerin yaşadığı sorunların giderilmesinde, yakın geçmişte değin, aktif arıtma yöntemleri alternatifsiz uygulanmıştır. Ancak; sürekli kullanıma bağlı olarak kimyasalların pahalı olması, yüksek işletme ve bakım gideri, uzun zaman ve fazla enerji tüketilmesi gibi nedenler, alternatif çözüm arayışlarını beraberinde getirmiştir.

Pasif arıtma yöntemleri; uzun dönem maliyetlerini azaltan, periyodik bakımın yeterli olduğu, kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonların doğal olarak gerçekleştiği sistemlerdir (Şekil 7). Arıtma mekânı kontrol altındaki yapay ekolojik ortamlardır. Bu kapsamda; hem görsel zenginlik sağlarlar, hem de doğal yoldan birer değerdirlir.

Ancak; uygulamada asidite ile metal konsantrasyonları, yüksek debi ve iklim koşulları belli başlı sınırlayıcıdır. Ayrıca; aktif arıtmaya kıyasla pek çok avantaja sahip olmasına rağmen, işletme sahipleri pasif arıtma sistemlerine karşı şimdilik mesafeli durmaktadır (Çizelge 3). Yine de, hali hazırda AMD sorununu yaşamakta olan kapatılmış veya eski madenler için yakın gelecekte pasif sistemlerin öncelikli seçenek olacağı düşünülmektedir.



Şekil 7. Bir pasif arıtma yöntem seçiminin opsiyonel algoritması (Pabsch ve vd., 2013)

Çizelge 3. Aktif ve pasif yöntemlerin değerlendirilmesi\* (Pabsch ve ark., 2013)

	Aktif Sistemler	Düzy	Pasif Sistemler	Düzy
Uygulama	Düşükten yükeğe deşarj oranları; tüm metal ve sülfat yüksek konsantrasyonları için ve de yüksek metal ve sülfat konsantrasyonları	+	Düşükten ortaya deşarj oranları; tüm metal ve sülfat yüksek konsantrasyonları için ve de yüksek metal ve sülfat konsantrasyonları	0
pH derecesi	Asidikten alkaliye	+	pH > 5	0
Etkinlik	Yüksek arıtma kapasitesi	+	Aktif sistemlere göre daha kötü su kalitesi	0
Alan gereksinimi	Düşük	+	Genellikle büyük	-
İkincil atık üretimi	Yüksek	-	Düşük	+
Yatırım maliyeti	Pasif sistemlerden daha yüksek	0	Küçük ve orta göletler için aktif sistemlerden daha düşük	+
İşletme maliyeti	Yüksek	-	Düşük	+

\* Değerlendirme düzeyleri: "+" "pozitif", "0" "nötr", "-" "negatif".

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Maden yataklarının aranması, üretimi ve zenginleştirilmesi süreçlerinde uygulanan işlemler; hava, toprak, su kaynaklarını, dolayısıyla çevreyi ve çevrede yaşayan canlıları etkilemektedir. Genel olarak, açık işletme madenciliğinin çevre üzerindeki olumsuz etkileri, yeraltı işletmesi ve cevher hazırlama çalışmalarına oranla çok daha fazladır. Kömür açık işletme sonrası oluşan üretim çukurlarının dekapaj malzemesiyle doldurulmaması halinde, yüzey suları ve yeraltı su seviyesinin yükselmesi ile küçük veya büyük göletler oluşmaktadır. Düşük pH değeri (asidik karakteristik) ve yüksek metal konsantrasyonu (Fe, Mn, Al, Cu, Pb, Zn vs.) içeren bu göletlerde, baskın halde bulunabilen sülfürlü mineraller (SO<sub>4</sub>) ve atık malzemeler, doğal kaynakların sürdürülebilirliği için en büyük çevresel sorunlardan birini oluşturmaktadır.

Uzun yıllar yapılan araştırmalar sonucunda, çok sayıda asit maden drenajı (AMD) aktif ve pasif arıtma yöntemleri geliştirilmiştir. Ancak; maden yataklarının ve buna bağlı ortam koşullarının kendine özgü olması sebebiyle, tüm maden sahalarına uygulanabilen tek bir çözüm yöntemi mevcut değildir. Doğal olarak her

çözüm yönteminin bazı üstün nitelikleri olduğu gibi, zayıf yönleri de bulunmaktadır. Yöntem seçiminde belirleyici unsurlar; ortam koşulları, güvenilirlik, maliyet ve çevre standartlarıdır.

Aktif arıtma sistemleri olarak adlandırılan yöntemlerde; suyun asiditesinin nötralize edilmesi ve çözünmüş metallerin giderimi için, suya kimyasal eklenmesi yapılmaktadır. Bu kimyasallar arasında en yaygın olarak kullanılanları; kireç, kostik, dolomit, soda külü ve termik santral külleridir. Pasif arıtma sistemleri olarak adlandırılan diğer yöntemlerde ise, asidik suyun doğal olarak sulak alanlar vb. sistemler içerisinde iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

AMD kapsamındaki işletmelerin yaşadığı sorunların giderilmesinde, aktif arıtma yöntemleri yakın geçmişe değin alternatifsiz olarak uygulanmıştır. Aktif arıtmaya kıyasla pek çok avantaja sahip olmasına rağmen, işletme sahipleri pasif arıtma sistemlerine karşı şimdilik mesafeli durmaktadır. Yine de, hali hazırda AMD sorununu yaşamakta olan kapatılmış veya eski madenler için yakın gelecekte pasif sistemlerin öncelikli seçenek olacağı düşünülmektedir. AMD'nın en etkili ve maliyeti düşük çözümü, asit üretme potansiyelini kaynağında önlemektir.

## KAYNAKLAR

- Çiftçi, H. ve Akçıl, A., 2006. Asit Maden Drenajının (AMD) Giderilmesinde Uygulanan Biyolojik Yöntemler, *Madencilik*, Cilt 45, Sayı 1, s.35-45.
- Delibalta, M.S. ve Uzal, N., 2011. Sustainable Water and Land Rehabilitation in the Surface Mining, *Long Term Vision for the Sustainable Water & Land Use*, Adıyaman University, ISBN: 978-605-60221-3-5, s.56-58, Adıyaman/ Turkey.
- Delibalta, M.S. ve Uzal, N., 2012. Kömür Açık İşletme Göletlerinde Su ve Çevresel Etkilerin Analizi, Pamukkale Üniversitesi, Uluslararası V. Jeokimya Sempozyumu, 1 s., Denizli/ Turkey.
- Gündüz, O. ve Baba, A., 2009. Asidik Maden Gölleri ve Çevresel Etkileri, *3.Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayın No:157, s.95-106, Ankara.
- Karadeniz, M., 2005. Asit Maden (Kaya) Drenajında Aktif ve Pasif Çözüm Yönetimleri, *Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, s.91-97, 5-6 Mayıs, Ankara.
- Karadeniz, M., 2010. Sülfürlü Madenlerin Çevre Sorunu: Asit Maden Drenajı, *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, Sayı 10, s.36-43.
- Karadeniz, M., 2012. Madencilikte Su Yönetimi, *Madencilikte Çevre Yönetimi Semineri*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, s.307-338, Afyonkarahisar.
- MİTTO, 2015. Asit Maden Drenajı Karakterizasyonu ve Genel Prosedürleri, *MİTTO Madencilik Müşavirlik Danışmanlık*, 3 s., <http://www.mittomaden.com.tr>, Nisan 2015, Ankara.

- Pabsch, T., Mler, F. ve Rosner, P., 2013. Signifikante Belastungsquellen des Erzbergbaus und mögliche Maßnahmen im Rahmen der Bewirtschaftungsplanung NRW, *World of Mining* No.6, s.374-384, Germany.
- Pietsch, W., 1991. Landschaftsgestaltung im Bezirk Cottbus, Dargestellt am Beispiel des Senftenberger Sees, *Umweltgestaltung in der Bergbaulandschaft*, Akademie Verlag GmbH, ISBN.3-05-501291-7, s.29-38, Berlin.
- nver, . ve Kara, D., 1994. Türkiye’de Kömür Madencili ve evre, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, *Madencilik*, Cilt XXXIII, Sayı 2, s.3-9.
- Zschiedrich, K. 2012. Wasserwirtschaftliche Sanierung in der Bergbaufolgelandschaft Mitteldeutschland, *LMBV 5. Fachkonferenz*, Germany, 29 s.

# Artık Barajı, Macun ve Jeotekstil Malzeme Yöntemlerinin Maliyet Açısından Karşılaştırılması

## *A Comparison in terms of Costs for Tailing Dam, Paste and Geotextile Material Methods*

A. Başçetin, O. Özdemir, D. Adıgüzel, S. Tüylü, E. G. Savaş, U. Çınar  
*İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

**ÖZET** Son yıllarda gelişen teknoloji ile beraber madencilik sektöründe gerçekleştirilen düşük tenörlü cevherlerin üretimi sonucunda, önemli miktarda maden proses artıkları meydana gelmektedir. Bu artıkların depolanması yadabertarafı sırasında doğru bir yöntem uygulanmadığı takdirde büyük çevresel ve ekonomik sorunları da beraberinde getirdiği, madencilik endüstrisi incelendiğinde açıkça görülmektedir. Ancak, artıkların yerüstünde geleneksel yöntemler kullanılarak depolanmasıyla sebep olabileceği çevresel zararların yeni teknolojiler ve yöntemlerle beraber önemli ölçüde azaltılabileceği çeşitli araştırmalarda ortaya konulmuştur. Günümüzde macun teknolojisi ve jeotekstil malzeme ile depolama yöntemleri, geleneksel artık barajlarına alternatif olarak değerlendirilmekte ve bazı madencilik sahalarında uygulanmaktadır. Bu çalışmada, artık barajı, macun ve jeotekstil malzeme yöntemleri maliyet açısından incelenmiş ve yerüstü macun depolama yönteminin ton başına 2,66\$-3,65\$ aralığında olduğu elde edilen veriler ışığında hesaplanmıştır. Ekonomik yönden geleneksel artık barajı yöntemine yakın çıkan yerüstü macun depolama yönteminin, çevresel ve teknik yönden avantajlı olmasının yanı sıra ekonomik özelliği bakımından da alternatif bir yerüstü depolama yöntemi olduğu ortaya konulmuştur.

**ABSTRACT** The low-grade ore production in mining industry along with emerging technologies in recent years results in a considerable amount of mineral processing tailings. This situation can cause significant environmental and economic problems during disposal or storage of these tailings unless a correct



method is applied. On the contrary, various scientific studies showed that environmental damages due to storage of tailings using conventional methods at the surface can be considerably reduced with the new technologies and methods. Today, storage methods with paste technology and geotextile material methods is regarded as an alternative to traditional tailing dam, and implemented in some mining areas. In this study, tailing dam, paste, and geotextile material methods were evaluated in terms of cost. The results showed that the cost of surface paste disposal method was calculated in the range of 2.58\$-3.03\$ per ton of tailings. Additionally, the cost of surface paste storage was found to be close to that of traditional tailings dam. However, surface paste disposal is put forward as an alternative method from the environmental and technical point of view.

## 1. GİRİŞ

Tüm endüstriyel faaliyetlerde olduğu gibi madenlerin işletilmesi sonucunda da atık ve artık meydana gelmektedir. Cevher hazırlama tesisinden gelen maden proses artıkları, uygun olmayan bir şekilde depolandıkları yada bertaraf edildikleri zaman çevre ve insan sağlığı için tehdit oluşturmaktadır. Dolayısıyla madencilik faaliyetleri öncesi ve sonrasında kapsayan bir artık yönetiminde sürdürülebilir, yerinde, doğru ve yeterli tedbirler alınması meydana gelebilecek olumsuzluklar karşısında bir zarurettir. Aksi takdirde sonrasında oluşan artıkların iyi belirlenememiş bir yöntemle depolanması maden işletmesine her gün ekstra mali yük olarak yansımaya neden olur (BRGM, 2001; MMSD, 2002; Coil vd., 2012).

Artıkların depolanabilmesinde doğru yöntemin seçimi maliyet, çevresel performans ve depolanan malzemenin dağılma yadaduraylılık riski olmak üzere üç temel faktörün değerlendirilmesi esasına bağlıdır. Aynı zamanda bu parametreler doğrultusunda seçilecek yöntemlerin uygulanabilmesi çevresel ve toplumsal hassasiyetlere dayalı çeşitli yasal düzenlemeler içerisinde gerçekleşmektedir.

Bu kapsamda, bir artık depolama tesisi tasarım gereksinimleri belirlemek için, artıkların aşağıdaki özelliklerinin tespit edilmiş olması gerekir (EC, 2004; Meggyes ve Debreczeni, 2006):

- Kimyasal özellikleri ve mineralojik bileşenleri (Asit Maden Drenajı-AMD ve ağır metal mobilizasyonu riski açısından değerlendirilmesi),
- Fiziksel özellikleri (yoğunluk, tane boyut dağılımı, porozite vb.),
- Mekanik özellikleri ve stabilitesi (statik ve sismik yüklerde davranışı, basınç altında dayanımı, konsolidasyon oranları vb.)
- Erozyon stabilitesi (atmosferik koşullarda rüzgar ve su etkisi gibi)

- Yerleşme, kuruma zamanı ve depolamadan sonra yoğunlaşma yada sıkılaştırma davranışı,
- Sert tabaka yada zemin davranışı (örneğin proses artığı üstünde kabuk oluşumu gibi)

Artık yönetimi kapsamında madencilikte kullanılan artık depolama yöntemlerini; atığın türü, uygulanan yöntemin amacı, yeri, yerleşimi, yapım biçimi ve su deşarjı durumuna göre değişik sınıflara ayırmak mümkündür. Bu doğrultuda, maden artıkları yerüstü, yer altı ve su altında depolanabilmekte ve literatürde ilgili uygulamaları görülmektedir. Setlendirilmiş baraj veya havuzlar, kuru artık depolama, macun malzeme formunda depolama ve jeotekstil (geotube) ile depolama başlıca yerüstü artık bertaraf yöntemleridir. Madencilik endüstrisinde en çok kullanılan yerüstü artık bertaraf yöntemi, geleneksel artık bertaraf yöntemi olarak adlandırılan setlendirilmiş artık baraj metodudur. Bu yöntemde artıklar, üzerinde hiçbir işlem yapılmadan cevher hazırlama tesisi çıkışı doğrudan baraja gönderilmektedir. İşletme maliyeti açısından diğer yöntemlere göre genellikle tercih edilen bu yöntem, barındırdığı birçok kaza ve taşıdığı çevresel riskler nedeniyle günümüzde halen tartışılmakta olup, alternatif yöntemler ortaya konulmaya çalışılmaktadır (Landriault ve diğ., 2005; Watson, 2010; Journeaux Assoc., 2012; Fell ve diğ., 2014).

Bu çalışmada artık barajı, macun ve jeotekstil malzeme ile depolama yöntemleri; halihazırda işletilmekte olan bir yer altı madeni verilerinden yararlanılarak yatırım ve işletme maliyetleri ile beraber toplam maliyet açısından incelenmiştir. Her bir depolama yönteminde uygulanan parametreler tek tek ele alınmış ve karşılaştırmalı olarak ortaya konulmuştur.

## **2. ARTIK BARAJI, MACUN VE JEOTEKSTİL DEPOLAMA YÖNTEMLERİ**

### **2.1. Artık Barajı**

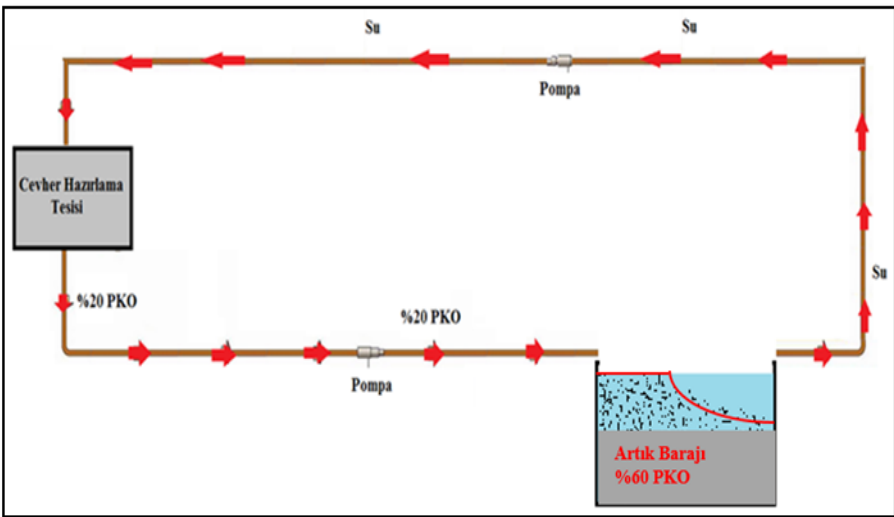
Artık barajları hem suyun hem artıkların bir arada toplandığı yapılardır. Artık barajları, kendi içinde klasik barajlar ve setler olmak üzere iki gruba ayrılır. Klasik barajlar, genellikle vadilerde uygulanır. Bu tip depolamalarda hem maden artıkları hem de maden artıklarının içerdiği yüksek su hacmi birlikte depolanmaktadır. Bu nedenle herhangi bir depolama faaliyeti başlamadan önce baraj gerçek boyutlarıyla dizayn edilmiş, gerekli hesapları yapılmış ve tam kapasitesine inşa edilmiş olmalıdır (ICOLD ve UNEP, 2001).

Set tipi yapılar baraj tipinde olduğu gibi maden artıklarının depolanmasında sıkça karşılaşılan yapılardır. Set tipi, baraj tipine benzerlikler gösteren bir yapıdır.

Ancak aralarında bazı temel farklarda bulunmaktadır. Set tipi genellikle düz topografyalarda uygulanmaktadır. Artıkların depolanacağı bölgenin etrafı birkaç metrelik bir dolgu seti ile çevrilir. Kapasitenin dolması ile dolgu set üzerine tekrar dolgu yapılarak kademeli kapasite artışı sağlanır. Ancak kapasite artışı için her yükseltme yapıldığında kullanılması gereken dolgu malzemesi hacmi artmakta ve maliyetler katlanarak büyümektedir. Yine de gerçek maliyetin madenin işletme ömrüne yayılmasına olanak tanınması, avantaj olarak kabul edilmektedir. Set tipi barajlarda üç temel tasarım bulunmaktadır. Bu tasarımlar yukarı yönlü yükseltmeli set tipi, aşağı yönlü yükseltmeli set tipi ve merkezden yükseltmeli set tipi olarak sıralanmaktadır (Benckert ve Eurenus, 2001; ICOLD ve UNEP, 2001; Fell ve ark., 2014).

Yukarı yönde yükseltmeli tasarım, yaygın ve ekonomik görünen bir tasarım olmasına rağmen aynı zamanda bu tasarım tüm dünyada büyük çevresel felaketlerle sonuçlanan baraj kazalarının en yaygın gerçekleştiği tasarımdır (ICOLD ve UNEP 2001). Davies ve ark. (2000), yaptıkları çalışmada dünya genelinde 3500'den fazla artık felaketinin %50'sinin bu tasarımdan kaynaklandığını rapor etmişlerdir.

Artık barajı yöntemi genel prensipleri doğrultusunda Şekil 1'de gösterilmektedir. Bu kapsamda, cevher hazırlama tesisinden yaklaşık %15-30 aralığı gibi düşük Pülpte Katı Oranı'nda (PKO) çıkan artık malzeme, doğrudan artık barajına basılarak kendi ağırlığıyla çökmesi sağlanmakta ve PKO yaklaşık olarak %40-60 aralığına kadar yükselmektedir. Ayrıca barajın üst kısmında biriken su pompalar yardımıyla tekrar tesise beslenmektedir (EPA, 1994; JourneauxAssoc., 2012).

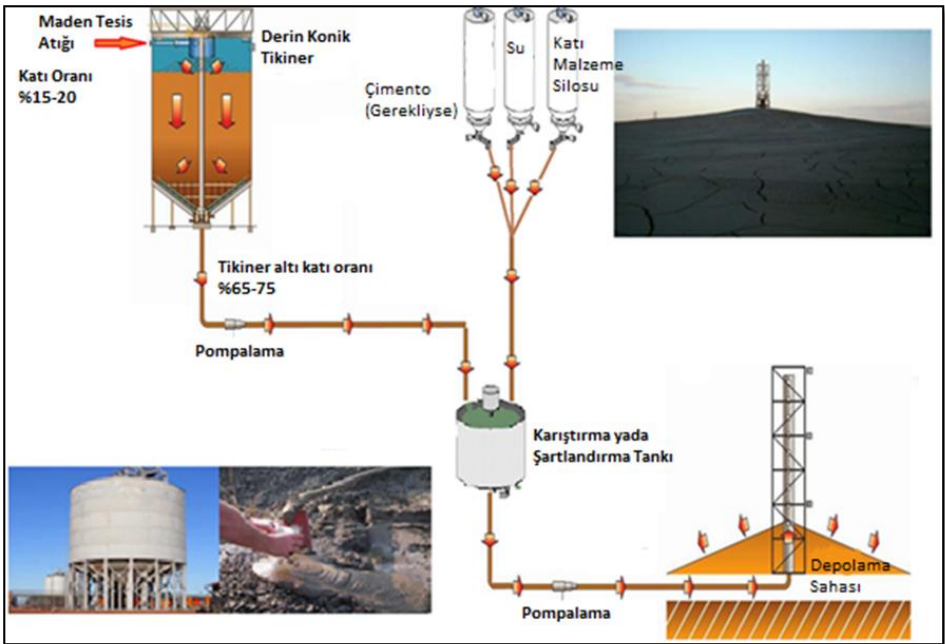


Şekil 1. Artık barajı yöntemi akım şeması

## 2.2. Yerüstü Macun Depolama

Macun teknolojisindeki artık depolama alanları tesis yakınlarında bir vadi ya da düz bir alan olabilir. Bir vadide eğimli bir artık alanı oluşturmak için susuzlandırılmış artık, vadinin tavanından ya da tepenin bir yamacı boyunca boşaltılır. Artık, vadi boyunca bir eğimle karşılaşmaya kadar akacaktır veya alternatif olarak küçük bir baraj sayesinde durdurulur. Düz alanlarda, susuzlandırılmış artık yapay rampa veya tepe şeklinde boşaltılarak serilir veya artık konisi oluşturulur (Şekil 2).

Macunun yerüstü depolanmasında akış özelliklerinin, boşaltma noktasından sonra malzemenin yeterince dağılımını sağlayacak şekilde düzenlenmesi gerekir. Eğer malzeme yüksek katı içeriğine sahipse, akmaya karşı direnci yüksek olduğundan, yayılım göstermeyecek, boşaltma noktasının altında direkt yığın oluşturacaktır. Diğer taraftan, katı içeriği çok düşük olursa, çok uzaklara kadar akış gösterecek ve istenilen yığını oluşturmayacaktır. Su içeriği arttıkça kuruma da uzun zaman alacaktır. Aynı zamanda macun karışımını oluşturan malzemelerin karışımındaki oranları, macun malzemenin fiziksel, kimyasal ve reolojik özelliklerini önemli derecede etkileyecektir. Bu nedenle bu özellikleri sağlayan bir karışım reçetesinin hazırlanması şart olup, bu sayede dayanımı yüksek uygun bir tasarımın daha düşük bir maliyetle elde edilmesi mümkün olacaktır.



Şekil 2. Yerüstü macun depolama tesisi akım şeması (Başçetin ve ark., 2015)

Bir macun tesisi için ilk adım, atığın fiziksel ve kimyasal özellikleri ile beraber macun malzemenin nakledileceği atık sahası mesafesi dikkate alınarak oluşturulacak karışım oranlarının belirlenmesidir. Elde edilen veriler ışığında susuzlandırma yöntemi (tikiner, filtrasyon vb.), bağlayıcı ve katkı maddeleri miktarı, pompa tipi ve kapasitesi, bileşenlerin kesikli veya sürekli karıştırılması gibi tasarım prosedürleri hesaplanır (Benzaazoua vd., 2004; Deschamps vd., 2011; Yılmaz vd., 2014).

Macun malzemenin yerüstünde uygulanabilmesi için bazı temel parametrelerin sağlanması gerekmektedir. Bunlar;

- Atık malzemesinin tane boyut dağılımına göre 20 µm altı içeriğinin %15 veya daha yüksek olması,
- Macun malzeme karışımındaki PKO değerinin ağırlıkça en az %65-70 olması,
- Eğer macun malzeme karışımında kullanılacaksa, bağlayıcı miktarının ağırlıkça katı oranının  $\leq$  %2 olması,
- Slamp değerinin 25 cm (10") olması gerekir.

### 2.3. Jeotekstil Malzeme Yöntemi

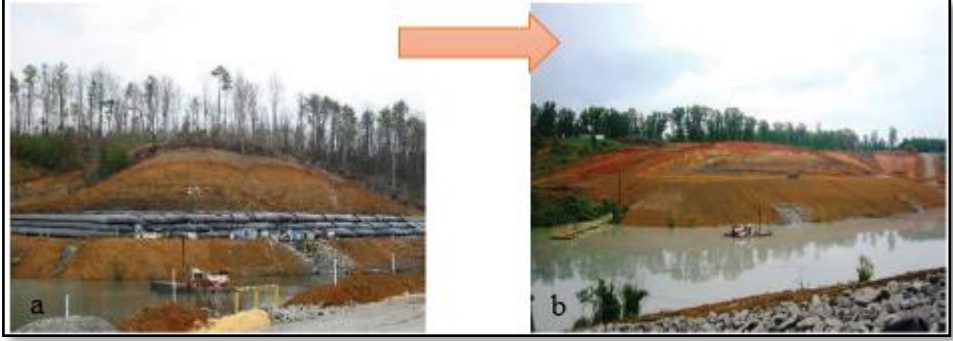
Jeotekstil tüp ile susuzlaştırma teknolojisinin uygulaması basit bir susuzlaştırma yöntemi olarak madencilikte kullanılabilir (Şekil 3). Bu yöntem kömür veya diğer maden artıklarında uygulanabilmektedir. Ayrıca atık malzemesinin, yüksek katı içeriğinde güvenle depolanabilmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 3. Jeotekstil malzeme ile susuzlaştırma işlemi (Newmanvd., 2004)

Madencilik faaliyetleri sonucu ortaya çıkan atık malzemeler yaygın olarak atık barajlarında depolanmaktadır. Jeotekstil tüp ile susuzlaştırma teknolojisi ile yüksek katı içeriğine sahip malzeme elde edildiği için bertaraf maliyetlerini azaltarak yüksek hacimli, az bakımlı, düşük maliyetli bir çözüm sunar (Şekil 4). Suyu

alınmış katı malzeme güvenli bir şekilde yerinde saklanabilir ve partiküllerin havada yayılmasını ortadan kaldırmaktadır. Jeotekstil malzeme yardımıyla kumaşın gözenekleri içinden çıkan su yeniden kullanılabilir niteliktedir.



Şekil 4. Artığın susuzlaştırma işlemi (a) ve susuzlaştırma işleminden sonraki hali (b) (Tencate, 2014)

### 3. MALİYET ANALİZLERİ

Bu çalışma kapsamında geleneksel artık barajı, macun ve geotekstil malzeme ile depolama yöntemleri maliyet yönünden incelenmiştir. Yapılan maliyet analizi hesaplarında bir yeraltı metal madeni 2014 yılı işletme verileri esas alınmıştır. Buna göre bir flotasyon tesisine beslenen tüvenan cevher miktarları, Pb-Zn konsantre ve tenörleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. 2014 Yılı Flotasyon Tesisine Beslenen Tüvenan Cevher Miktarları, Pb-Zn Konsantre ve Tenörleri

Tesis Beslenen (Ton)	% Metal		Pb Konsantre (%65,56Pb)	Zn Konsantre (%51,29 Zn)	Toplam Konsantre (ton)	Artık (ton)
	%Pb	%Zn				
1.404.081	2,37	3,30	48.550	86.249	134.799	<b>1.269.282,00</b>

İşletme verilerine göre cevher hazırlama tesisine yaklaşık 3900 ton/gün besleme yapılmaktadır. Bunun 374 ton’luk kısmı konsantre yaklaşık 3526 tonu artık olarak çıkmaktadır. Bu miktarlara göre işletmenin yıllık artık miktarı yaklaşık ~1.270.000 ton olarak kabul edilmiştir.

İşletmedeki mevcut atık depolama sahasının zemin geçirimsizlik sistemi sırasıyla; doğal zemin, doğal kil, geomembran ve geosentetik drenaj tabakası şeklinde, yan yüzeyler geosentetik kil tabakası, geomembran ve geosentetik drenaj

tabakası şeklinde oluşturulmuştur. Artık barajı saha yapım maliyeti, son Avrupa artık yönetimine ve Ülkemizdeki tehlikeli atık depolama yönetmeliğine dayanılarak tahmin edilmiştir. Artık barajı saha yapımı; temel hazırlık, astar (500mm kil, 2mm jeomembran), saptırma hendekleri ve genel baraj dolgusunu (sedde) içermektedir. Artık baraj yapımı maliyeti, işletmeden alınan yatırım maliyetlerine göre kazı işleri, geçirimsiz tabaka oluşturulması, sedde yapım ve jeomembran maliyetleri açısından toplamda yaklaşık 1\$/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Ayrıca işletme verilerine göre cevher hazırlama tesisi ile artık depolama sahası arasındaki mesafe 420 m'dir.

Depolama sahalarının genel olarak orman arazilerinde olmasından dolayı ilgili mevzuatlar doğrultusunda arazi bedeli (ağaçlandırma, orköy, erozyon, depolama, ön izin, teminat) ve arazi izin bedelleri ödenmektedir. Arazi izin alanının metrekaresi, cari yıl ağaçlandırma birim metrekaresi bedeli, Orman Kanununun 17/3 ve 18. Maddelerinin Uygulama Yönetmeliğinin ekinde yer alan izin türü katsayısı, ekolojik denge katsayısı ve il katsayısının çarpımlarının sonucu elde edilir.

Hesaplamalar kapsamında ele alınan pompa seçiminde boru çapı, debi, PKO, viskozite, D<sub>50</sub> gibi değişkenlere bağlı olarak seçim yapılmaktadır. Bu doğrultuda artık barajı ve jeotekstil ile depolama için santifirüj pompa, macun depolama için ise hidrolik pistonlu (ya da pozitif deplasmanlı) pompa uygun görülmüştür. Bunun yanı sıra, depolama yöntemlerinin gereksinimlerine göre kullanılacak diğer ekipmanlarda farklılıklar gösterebilmektedir. Kullanılan ekipmanlara göre enerji birim tüketim maliyetleri ve arazi bedelleri 2015 güncel fiyatlar baz alınarak hesaplanmıştır.

### 3.1. Artık Barajı Maliyet Analizi

Cevher Hazırlama Tesisinden çıkan %20 katı oranına sahip yaklaşık 6.341.760 ton/yıl artık malzeme pompalar yardımıyla artık barajında depolanmaktadır. Artık barajı yönteminde maliyet analizi yapılırken yatırım maliyetleri ve işletme maliyetleri olarak iki ana başlık altında toplanılmıştır. Bu yöntemde yatırım maliyetleri içerisinde pompa, nakil hattı (boru vb.), artık baraj yapımı (topoğrafyanın uygun hale getirilmesi ve izolasyonların yapılması gibi) ve arazi bedeli (ağaçlandırma, orköy, erozyon, depolama, ön izin, teminat), işletme maliyetleri içerisinde ise enerji tüketimi, işçi maliyetleri, bakım-onarım ve arazi izin bedeli parametreleri dikkate alınmıştır. Artık barajı yatırım maliyeti ve işletme maliyeti Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2'deki artık barajı maliyetleri incelendiğinde, en yüksek maliyetin baraj yapımı olduğu anlaşılmaktadır. Bu maliyeti takiben, devlete verilen arazi bedelleri ile arazi izin ücretleri olduğu görülmektedir.

Çizelge 2. Artık barajı toplam yatırım ve işletme maliyeti

	Pompa	Boru	Artık Barajı Yapımı	Arazi Bedeli
Özellikler	Warman 10/8 SKM 150/3 LH 8110-59	Çap: 12" Uzunluk: 420 m	6.900.000 m <sup>3</sup> Baraj Hacmi	Ağaçlandırma, Orkøy, Erozyon, Depolama, Ön İzin, Teminat
	5 Adet* 50.000\$			113.000\$ 224.238\$
Birim	2 Adet*	4*420 m*	1\$/m <sup>3</sup>	149.492\$
Fiyat (\$)	44.445\$ 2 Adet* 46.300\$	85\$/m		452.089\$ 11.302\$ 113.022\$
Toplam (\$)	431.490	142.800	6.900.000	1.063.143
Toplam Yatırım Maliyeti			8.537.433\$	
	Enerji Tüketimi	İşçi Maliyeti	Bakım-Onarım	Arazi İzin Bedeli
Yıllık İşletme Maliyeti (\$)	491.852	133.333	62.962	813.761
5 Yıllık İşletme Maliyet (\$)	2.459.260	666.665	314.810	4.068.805
Toplam İşletme Maliyeti		7.509.540\$		

### 3.2. Macun Malzeme Yönteminin Maliyet Analizi

Depolama sahasına başlangıçta ~%70 PKO ile deşarj edilen macun malzeme için diğer yöntemlerden farklı olarak tikiner, karıştırma tankı ve çimento bağlayıcısı katılabilmesi amacıyla silo ekipmanları düşünülmüştür. Ayrıca yüksek katı içeriğindeki macun malzemenin pompalanabilmesi için daha güçlü olan hidrolik pistonlu yada pozitif deplasmanlı pompalar dikkate alınmıştır. Depolama sahası hacim kapasitesi ise, Başçetin ve arkadaşlarının (2015) daha önce yapmış oldukları çalışmalarda macun malzemelerin kuruma sürecinden sonra %85 PKO değerine ulaştığı anlaşılmış ve bu değer temel alınarak belirlenmiştir. Yerüstü macun depolama yöntemi yatırım ve işletme maliyeti Çizelge 3'te verilmiştir.



Çizelge 3. Macun malzeme yönteminin toplam yatırım ve işletme maliyeti

	Tikiner	Pompa	Karıştırma Tankı	Silo	Boru	Artık Sahasının Yapımı	Arazi Bedeli
Özellikler	GSNG-9 Model (DeepCone Tikiner)	Weird GEHO-DHT	RJ – 4000 / RJW - 4000	Çimento (200 ton) Katkı M. (200 ton)	Çap: 150mm Boy: 420 m	3.370.000 m <sup>3</sup> artık barajı hacmi	Ağaçlandırma Orköy, Erozyon, Depolama, Ön İzin, Teminat
Fiyat (\$)	2 Adet * 500.000	2 Adet* 550.000	3 Adet * 100.000	2 Adet * 35.185	3* 420m* 85\$/m	1\$/m <sup>3</sup>	163.764 109.176 323.581 8.090 80.896
Toplam Maliyet(\$)	1.000.000	1.100.000	300.000	70.370	107.100	3.370.000	766.403
Toplam Yatırım Maliyeti	6.713.873\$						
	Enerji Tüketimi	İşçi Maliyeti	Bakım-Onarım	Flokülant	Arazi İzin Bedeli	Çimento (Gerekliyse)	
Yıllık İşletme Maliyeti (\$)	825.248	166.667	74.074	381.000	582.446		1.270.080
5 Yıllık İşletme Maliyeti (\$)	4.126.240	833.335	370.370	1.905.000	2.912.230		6.350.400
Toplam İşletme Maliyeti	10.147.177 \$ yada çimento kullanımı ile 16.497.577 \$						

Macun malzeme yönteminde, depolama sahası yapım maliyetlerinin yanı sıra pompa ve enerji tüketim maliyetlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Pompanın yüksek PKO içeriğinde bir malzemeyi uzak noktalara deşarj edebilmesi için gereken enerji ve donanım diğer pompalara göre daha yüksektir. Dolayısıyla bu maliyetin macun depolama yöntemine yansıdığı Çizelge 3'te görülmektedir.

### 3.3. Jeotekstil Malzeme Yönteminin Maliyet Analizi

Bu yöntemde, cevher hazırlama tesisinden çıkan artıklar doğrudan jeotekstil tüplerin içerisine basılarak yaklaşık %65 PKO'da artık sahasında depolanabilmektedir. Kullanılan pompa sistemleri artık barajı yöntemindekilerle benzerdir. Bu kapsamda, jeotekstil malzeme ile depolama yönteminin yatırım işletme maliyeti ise Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4.Jeotekstil malzeme yönteminin toplam yatırım ve işletme maliyeti

	Pompa	Boru	Arazi Bedeli
Özellikler	Warman 10/8 SKM 150/3 LH 8110-59	Çap: 30,48 cm Uzunluk: 420 m	Ağaçlandırma, Orkøy, Erozyon, Depolama, Ön İzin, Teminat
Fiyat (\$)	5 Adet* 50.000\$ 2 Adet* 44.445\$ 2 Adet* 46.300\$	4*420 m* 85\$/m	47.970 6.378 4.252 191.881 4.797 47.970
Toplam Maliyet (\$)	431.490	142.800	303.248
Toplam Yatırım Maliyeti		877.538 \$	

	Enerji Tüketimi	İşçi Maliyeti	Bakım-Onarım	Jeotekstil tüp	Flokülant	Arazi İzin Bedeli
Yıllık İşletme Maliyeti(\$)	491.852	133.333	64.815	9.685.511	381.000	915.273
5 Yıllık İşletme Maliyeti (\$)	2.459.260	666.665	324.075	48.427.555	1.905.000	4.576.365
Toplam İşletme Maliyeti				58.358.920 \$		

İşletme verilerine göre; %65 PKO'da oluşacak artık malzeme 1.085.000 m<sup>3</sup>/yıl(pülp yoğunluğu: 1,8 g/cm<sup>3</sup>)'dır. En büyük Jeotekstil tüpün hacmi 1500 m<sup>3</sup> olduğundan dolayı yıllık 724 adede ihtiyaç vardır. Bu tüplerin adedi ~13.378\$'dır.Çizelge 4 incelendiğinde diğer yöntemlere göre yatırım maliyetinin çok düşük olduğu, ancak jeotekstil tüp maliyetinin çok yüksek olması nedeniyle işletme maliyetinin aşırı yüksek çıktığı belirlenmiştir.

#### 4. SONUÇLAR

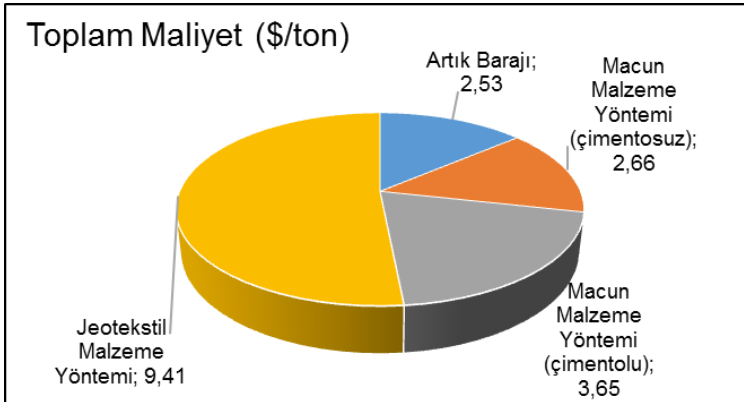
Madencilik faaliyetleri öncesi ve sonrasını kapsayan bir artık yönetiminde sürdürülebilir, yerinde, doğru ve yeterli tedbirler alınması, meydana gelebilecek olumsuzlukları minimize edebilmekte hatta ortadan kaldırmaktadır. Sürdürülebilir bir artık yöntemi uygulanmadığı takdirde, büyük miktarlarda oluşan artıkların iyi belirlenememiş bir yöntemle depolanması maden işletmesine her gün ekstra mali

yük olarak yansımına neden olabilmektedir. Bu kapsamda, gelişen teknolojiyle beraber alternatif yöntemlerin daha ekonomik olarak uygulanabilmesi için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada da, artık barajı, macun malzeme ve jeotekstil malzeme ile depolama yöntemlerinin karşılaştırmaları yapılmış olup, 5 yıl ömürlü bu yöntemlerin yatırım maliyetleri, işletme maliyetleri ve toplam maliyetleri Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 5. Toplam maliyet açısından üç farklı yöntemin karşılaştırılması

	Toplam Yatırım Maliyeti (\$)	Toplam İşletme Maliyeti (\$)		Genel Toplam Maliyet (\$)	
Artık Barajı	8.537.433	7.509.540		16.046.973	
Macun Malzeme Yöntemi	6.713.873	Çimentolu	Çimentosuz	Çimentolu	Çimentosuz
		16.497.577	10.147.177	23.211.450	16.861.050
Jeotekstil Malzeme Yöntemi	877.538	58.358.920		59.236.458	

Çizelge 5’de görüldüğü üzere, en düşük toplam yatırım maliyetine sahip yöntemler jeotekstil malzeme, macun malzeme ve artık barajı olarak sıralanmaktadır. Burada en önemli yatırım maliyeti payını depolama sahası inşaatları ve buna bağlı arazi bedelleri oluşturmaktadır. Bu durumun aksine işletme maliyetleri tam tersi sıralanmaktadır. İşletme maliyetlerinde aşırı sayılabilecek bir maliyet artışını jeotekstiltüp’lerin oluşturduğu yapılan çalışma ile anlaşılmaktadır. Artık barajı, macun malzeme ve jeotekstil malzeme yöntemlerinin ton başına maliyetleri Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. Üç farklı yöntemin ton başına düşen toplam maliyeti

Artık barajı ve yerüstü macun depolama yöntemlerinin ton başına düşen maliyetlerinin birbirine yakın olduğu Şekil 5'te görülmektedir. Çevresel ve teknik yönden avantajlı olan macun depolama yöntemi, aynı zamanda ekonomik yönüyle de alternatif bir yerüstü depolama yöntemi olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca jeotekstil malzeme ile depolama yönteminin daha ekonomik olabilmesi için, ithal edilen jeotekstil tüplerin yerli üretim ile daha ucuza mal edilebilmesi gerekliliği söylenebilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Başçetin A., Özdemir O., Tüylü S., Adıgüzel D., Akkaya U.G., 2015a. Maden Proses Atıklarının Macun Teknolojisi Kullanılarak Yerüstünde Depolanması, *MT Bilimsel Yer Altı Kaynakları Dergisi*, ss.33-49.
- Başçetin A., Tüylü S., Adıgüzel D., Akkaya U.G., 2015b. The Study Of Optimum Tailing Storing Conditions For Surface Paste Disposal Method, *SME Annual Meeting & Exhibit*, Denver, ABD, 15-18 Şubat 2015, vol.15-019, pp.1-5.
- Başçetin A., Özdemir O., Tüylü S., Adıgüzel D., 2015c. Metal Madenlerinden Üretilen İnce Taneli Ve Sülfürlü Atıkların Yerüstünde Güvenilir Olarak Depolanabilirliğinin İncelenmesi, *Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi*, Antalya, Türkiye, 14-17 Nisan 2015, vol.1, no.1, pp.1028-1034.
- Benckert, A. and J. Eurenium (2001). Tailings dam constructions - Seminar on safe tailings dam constructions. Gallivare, *Swedish Mining Association*, Natur Vards Verket, European Commission, pp. 30-36.
- Benzaazoua, M., Perez, P., Belem, T., Fall, M., 2004. A laboratory study of the behaviour of surface paste disposal, *Proceedings of the 8th International Symposium on Mining with Backfill*, Beijing, China, September 19-21, pp. 180-192.
- BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), 2001. Management of Mining, Quarrying and Ore-Processing Waste In The European Union, *Coordination by P. Charbonnier* December 2001 BRGM/RP-50319-FR, 79 p.
- Coil, D., Lester, E., Higman, B., 2012. Mine Tailings” Last Modified: 28th August <http://www.groundtruthtrekking.org/Issues/MetalsMining/MineTailings.html>.
- Davies, M.P., Martin, T.E., 2000. Mine Tailings Dams: When Things Go Wrong. *Tailings Dams Association of State Dam Safety Officials*, U.S. Committee on Large Dams, Las Vegas, Nevada: pp. 261-273.
- Deschamps, T., Benzaazoua, M., Bussière B., and Aubertin M., 2011. Laboratory study of surface paste disposal for sulfidic tailings: Physical model testing, *Minerals Engineering*, 24, 794-806.
- EC- European Commission, 2004. Draft Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities, Edificio EXPO, Seville, Spain.

- EPA-U.S. Environmental Protection Agency, 1994. Design and Evaluation of Tailings Dams, EPA 530-R-94-038, NTIS PB94-201845, Technical Report.
- Fell R., MacGregor P., Stapledon D., Bell G., Foster M., 2014. Mine and Industrial Tailings Dams, *Geotechnical Engineering of Dam*, 2<sup>nd</sup> Edition, pp.1103.
- ICOLD and UNEP (2001). Bulletin 121: TailingsDams - Risk of Dangerous Occurrences, Lessons learnt from practical experiences. Paris.144
- Journeaux Assoc., 2012. Engineering Challenges For Tailings Management Facilities And Associated Infrastructure With Regard To Climate Change In Nunavut, Report no. L-11-1472, March 21, 2012. pp.110.
- Landriault D., Johnson J.M. and Palkovits F., 2005. Thickened Tailings and Paste Technology: The Future of Industrial Waste Disposal, SME Annual Meeting, Preprint 05-111, Feb. 28-Mar. 2, 2005, Salt Lake City, UT.
- Meggyes, T. And Debreczeni, A., 2006. Paste technology for tailings management, *Land Contamination & Reclamation*, 14 (4), 2006 EPP Publications Ltd.
- Tencate, 2014. Geotube®MiningTechnology, Geosynthetics Mining and Minerals by Nicolon Corporation. pp.12.
- Mining, Minerals and Sustainable Development (MMSD), 2002. Mining for the Future Appendix A: Large Volume Waste Working Paper, April 2002, No.31, pp. A1-A55.
- Newman, P., Hodgson, M., Rosselot, E., 2004. The Disposal of Tailings and Mine water Sludge Using Geotextile Dewatering Techniques.sayfa. 1-10.
- Watson A. H., 2010. Alternative tailing disposal – fact and fiction, *International Mining Supplement*, April 2010, P3-P6.
- Yilmaz, E., Benzaazoua, M., Bussière, B., Pouliot, S., 2014. Influence of disposalconfigurations on hydrogeologicalbehaviour of sulphidicpastetailings: A fieldexperimentalstudy, *International Journal of Mineral Processing* 131, pp.12–25.

# Niğde Kalsit İşletmelerinin Ekonomik ve Çevresel Boyutu Üzerine Bir Araştırma

## *A Study on Economic and Environmental Dimension of Nigde Calcite Mines*

M.S. Delibalta

*Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Niğde*

F. Çiner

*Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Niğde*

**ÖZET** Toplumların gelişmişlik düzeyinin bir göstergesi de kullandıkları endüstriyel hammadde miktarıdır. Günümüz inşaat sektöründe hafif yapı malzemelerine olan talep hızla artmaktadır. Kimyasal yapısı  $\text{CaCO}_3$  olan kalsit; mikronize boyutlarda öğütüldükten sonra inşaat, boya, kâğıt, plastik vb. birçok sektörde dolgu ve kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Türkiye kalsit tüketimi 1980'li yıllarda 20-30.000 ton/yıl'dan 2000'lere gelindiğinde 300.000 ton/yıl'a yaklaşmış ve yıllık tüketim oranı hızla artmaktadır.

Türkiye'nin en saf ve beyaz oluşumlu kalsitleri Niğde bölgesinde bulunmaktadır. Kalsit ocakları Niğde masifi içindeki Gümüşler formasyonunda yer almaktadır. Endüstriyel hammaddeler bölgede oldukça büyük rezervlere sahiptir. Açık işletme yöntemi ile üretim yapılmakta olup, sektördeki toplam istihdam sayısı yaklaşık 1800-1900 kişi arasında değişmektedir. 34 Farklı firma tarafından üretilen malzemeler yurtiçi ve yurtdışına pazarlanmaktadır.

Bu araştırmada; Niğde bölgesinde faaliyette bulunan kalsit işletmelerinin ekonomik ve çevresel boyutu incelenmekte, sektörel sorunlara çözüm önerileri getirilerek, bölgesel ve ulusal ekonomimize pozitif katkısı ortaya konulmaktadır.

**ABSTRACT** An indicator for the level of development of society is the amount of industrial raw materials they use. The demand for lightweight materials is increasing rapidly in today's construction industry. The chemical structure of calcite  $\text{CaCO}_3$  which is, after grinded and micronized is used as fillers and coating materials for filling operations in many sectors such as construction, paint, paper, plastics industry and so on. In Turkey, while the annual micronized calcite

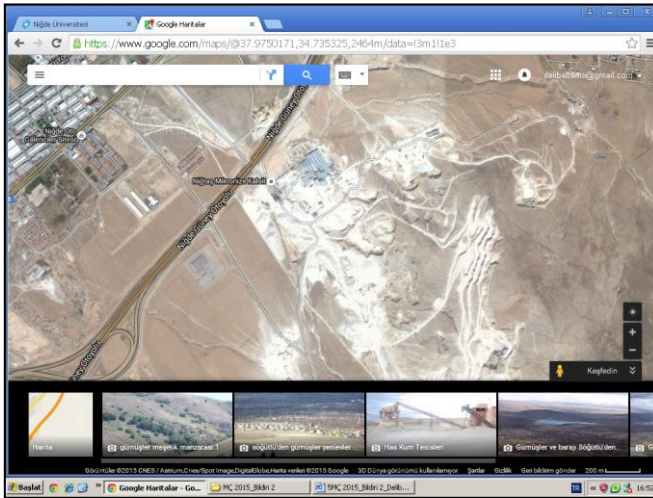
consumption was about 20-30.000 tons in 1980s, it has been getting about 300.000 tons during 2000s and the consumption ratio per annual is now dramatically increasing.

The pure white calcite formations of Turkey are situated in Nigde city. The calcite mines in the Nigde massif are located in the Gumusler formation. The region has very large reserves of industrial raw materials. Open pit production method is being carried out and the total number of employee in the sector ranged from about 1800-1900 persons. The materials, which are produced by 34 different companies, are marketed domestically and internationally.

In this study; Calcite mines located in the region of Nigde city are analyzed in terms of economic and environmental dimension, and brought solutions to industry problems to put forward our positive contribution to regional and national economy.

## 1. GİRİŞ

Madencilik, sanayi ve toplumsal yaşamın en önemli faaliyetlerinden birisidir. Madencilğin amacı, ulusal kalkınma ve sosyo-ekonomik gelişme için gerekli olan enerji ve temel hammaddeleri endüstriye sağlamaktır. Ancak; madencilik faaliyetleri sırasında ve sonrasında kaçınılmaz olarak pek çok arazi bozulmaları (Şekil 1), gaz emisyonları, atıklar, toz ve gürültü meydana gelmektedir (Ünver ve Kara, 1994). Günümüz sanayileşme ve hızlı nüfus artışına bağlı olarak endüstriyel hammaddelere olan talep sürekli artmakta, bunun neticesinde söz konusu tahribatların çevre üzerindeki etkileri yaygınlaşmaktadır (Varol ve Başpınar, 2011).



Şekil 1. Nigde kalsit işletmelerinin uydu görüntüsü (www.google.com/maps)

Gerek iş sağlığı ve güvenliği gerekse çevresel etki değerlendirmesi (ÇED) bakımından, bozulan maden sahalarının yeniden düzenlenmesi ve toplum yararına kullanıma sunulması yasal bir zorunluluktur (ÇOB, 2010). Açık işletme sonrası bozulan arazilerin yeniden düzenlenmesinde temel amaç; bu alanların jeoteknik bakımdan güvenli ve uygun bir peyzaj görünümüne ulaşması kadar, buradan ekonomik olarak yararlanmakta hedeflenmelidir.

## **2. MATERYAL VE METOT**

Yapılan araştırmada, Niğde kalsit işletmelerinin gerek teorik gerekse uygulamalı saha çalışmalarından elde edilen bulgular; ekolojik, ekonomik ve teknolojik yönden istatistiksel rakamlarla ortaya konulmaktadır.

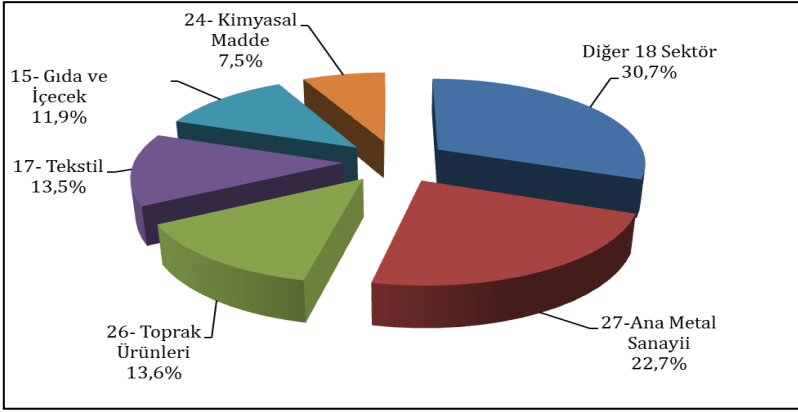
## **3. BULGULAR**

Türkiye, üzerinde bulunduğu jeolojik yapının bir sonucu olarak dünyada kendi endüstriyel hammadde gereksiniminin önemli bir bölümünü karşılayabilen, doğal kaynak çeşitliliğine sahip nadir ülkelerden biridir. Dünyada toplam maden üretimi itibarı ile 28'inci, üretilen maden çeşitliliği açısından da 10'uncu sırada yer almaktadır (ETKB, 2014). Dünya genelinde ticareti yapılan 90 çeşit madenden bugüne kadar sadece 13'ünün varlığı ülkemizde belirlenememiştir. Ülkemiz, geri kalan 50 çeşit maden açısından zengin ya da çok zengin, 27 çeşit maden bakımından ise yetersiz kaynaklara sahiptir. Rezerv yönünden başta bor, trona, mermer, feldspat, manyezit, alçıtaşı, pomza, perlit, stronsiyum ve kalsit olmak üzere Türkiye dünyanın sayılı zengin ülkelerinden birisi konumundadır.

### **3.1. Türkiye Madencilik Sektörü**

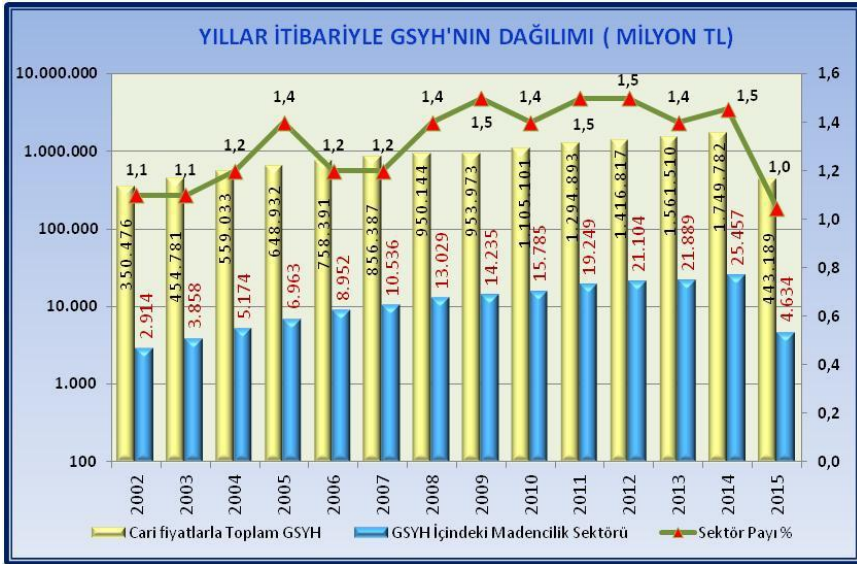
Madencilik sektörü, tarım ile birlikte ekonominin iki temel hammadde üreticisinden birisi durumundadır. Gelişmiş bir madencilik sektörü; üretim, istihdam vb. ekonomik göstergelere yaptığı katkının yanı sıra, doğru politika ve planların takip edilmesi durumunda ülke imalat sanayii için (Şekil 2) önemli bir itici güç oluşturabilmektedir.





Şekil 2. Yıllık imalat sanayi istatistiklerine göre çevirici güç kapasitesinin sektörlere göre dağılımı (Genç, 2008)

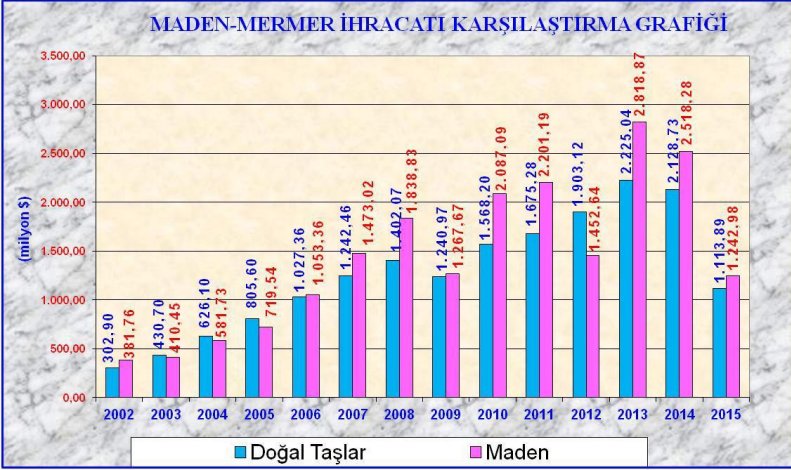
Gelişmiş ülkelerde Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla (GSYH) içerisinde madencilğin payı %4, dünya ortalaması ise %2 civarında gerçekleşmektedir. Ülkemizde %1'ler civarında olan bu oranın (MİGEM, 2015), Türkiye madencilik sektörünün potansiyeli göz önüne alındığında, daha üst seviyelerde olması gerektiği anlaşılmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Türkiye GSYH içindeki madencilik sektörünün payı (10<sup>6</sup> TL)

Türkiye'de 2002-2015 yılları arasında doğal taş ve maden ihracat değerlerinin değişimi Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 4'de görüldüğü gibi son beş yıl içerisinde doğal taş ihracatı sürekli bir artış göstermiş ve 2009 yılına göre yaklaşık %80'lik

artışla 2.225 milyon Amerikan Dolarına (\$) ulaşmıştır. Belirtilen dönem içerisinde maden ihracatında ise sadece 2012 yılında azalma olmuş, ancak 2013 yılında ihracat miktarı son beş yılın en yüksek değerine (2.819 milyon \$) ulaşmıştır. Toplam maden sektörü (doğal taş + maden) ihracatı ise 2009 yılına göre yaklaşık iki kat artış göstermiştir. Tüm bu veriler, ülkemizde madencilik sektörünün son iki yıl hariç büyüme içerisinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. Türkiye 2002-2015 yılları arası doğal taş ve maden ihracat değerleri (MİGEM, 2015)

Madencilik sektörünün ekonomi içindeki ağırlığına ilişkin bir diğer önemli gösterge de istihdam verileridir (DPT, 2007). Bu kapsamda, beş yıllık dönemde toplam sanayi ve madencilik sektörlerindeki istihdam sayıları ile madencilikte istihdamın toplam sanayi içindeki payları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Toplam sanayi ve madencilik sektöründe istihdam (15+yaş 1000 kişi)

SEKTÖR	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Sanayide İstihdam	3810	3774	3954	3846	3988	4280
Madencilik	81	98	120	83	104	118
<b>% Paylar</b>						
Madencilik/ T.Sanayi	2,13	2,60	3,03	2,16	2,61	2,75

### 3.2. Niğde Madencilik Sektörü

Niğde’de bulunan yeraltı kaynaklarını *endüstriyel hammaddeler* (diatomit, kalsit, mermer-traverten, jips, perlit ve pomza gibi yapı malzemeleri), *enerji hammaddeleri* (bitümlü şist, jeotermal) ve *metalik madenler* (altın-gümüş, bakır-kurşun-çinko, nikel, wolframit, demir gibi) olmak üzere esas olarak üç grupta ele almak mümkündür (Delibalta ve Toraman, 2013). Söz konusu yeraltı kaynaklarının ortaya çıkarılması, işlenmesi ve işletilmesi durumunda, hem il ekonomisine hem de ülke ekonomisine önemli bir katma değer oluşturacağı açıktır.

Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü’nün Niğde ve yakın çevresinde yaptığı çalışmalar sonucunda metalik madenlerden altın, antimon, bakır-kurşun-çinko, civa, demir ve volfram yatak ve zuhurları, endüstriyel hammaddelerden ise diatomit, jips, mermer ve tuğla-kiremit hammaddeleri ortaya çıkarılmıştır. İlde bulunan maden türleri, buldukları mevkiiler ve rezerv bilgileri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Niğde’de bulunan madenler ve rezerv bilgileri (www.mta.gov.tr)

İLÇE	MEVKİİ	MADENİN CİNSİ	REZERV MIKTARI
Merkez	Gümüşler-Örendere	Antimon-Wolfram-Civa Traverten	100.000 ton 500.000 m <sup>3</sup>
Bor	Bor İlçesi Sahaları Bahçeli Kemerhisar	Tuğla-Kiremit hamd. Mermer Karbon dioksit	4.000.000 ton Jeolojik 125.000 ton
Çamardı	Ispir Tekneli Yayla Ocakları Kepeztepe-Eğneli Armutbeli	Kurşun-Çinko Kurşun-Çinko Demir Demir Demir	29.000 ton 340.000 ton 10.500 ton 64.000 ton 22.000 ton
Ulukışla	Bolkardağı-1 Bolkardağı-1 Koçak Köyü Darboğaz Sahası	Gümüş-Altın Kurşun-Çinko Demir Alçıtaşı- Jips Bitümlü Şist	284.000 ton 152.000 ton 50.000 ton 150.000.000 ton 130.000.000 ton

Niğde, TR71 bölgesi içerisinde madencilik ve taş ocakçılığı sektörünün en çok geliştiği ildir. 2009-2014 yılları arasında Niğde, TR71 bölgesindeki iller ve Türkiye’de madencilik ve taş ocakçılığı toplam ihracat değerleri Çizelge 3’de verilmiştir. İlde özellikle 2010 yılından sonra madencilik ve taş ocakçılığı

sektöründe ihracat rakamlarının hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Bu sektörde ihracat değeri 2012 yılında 10.590.600 Amerikan Dolarına kadar yükselmekle birlikte, 2013 yılında yaklaşık yarı yarıya azalarak 5.094.400 Dolara inmiştir. TR71 Bölgesinin madencilik ve taş ocakçılığı ihracatındaki payı 2009 yılında %0,87 düzeyinde iken 2014 yılında %0,19 düzeyine inmiştir. Ancak, aynı dönemde Niğde'nin TR71 içerisindeki payı ise %11,80'den %71,08'e yükselmiştir. Niğde'de madencilik ve taşocakçılığı ihracatında son altı yılda önemli bir artış olmasına rağmen, halen gerek TR71 bölgesinin gerekse Niğde ilinin bu sektörde Türkiye ölçeğinde yeri istenilen düzeyde değildir.

Çizelge 3. 2009-2014 yılları arasında Türkiye, Niğde ve TR71 bölgesi illerinde madencilik ve taş ocakçılığı toplam ihracat değerleri (1000 \$)\*

	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Niğde	1.721,3	4.160,6	5.508,2	10.590,6	5.094,4	4.673,7
Aksaray	5.325,4	5.712,2	5.830,0	2.356,2	1.148,6	1.366,8
Kırıkkale	--	--	1,9	--	177,9	271,5
Kırşehir	201,9	361,6	345,7	111,6	95,1	2,1
Nevşehir	7.370,5	2.544,1	462,6	710,6	1.643,9	260,9
TR71	14.619,1	12.778,5	12.148,5	13.768,8	8.159,8	6.574,9
Türkiye	1.682.915,4	2.687.123,5	2.805.449,0	3.160.765,5	3.879.449,0	3.406.724,7
TR71/Türkiye (%)	0,87	0,48	0,43	0,44	0,21	0,19
Niğde/TR71 (%)	11,80	32,56	45,34	76,92	62,43	71,08
Niğde/Türkiye (%)	0,10	0,15	0,20	0,34	0,13	0,14

\*Kaynak: Türkiye İstatistik Kurumu Dış Ticaret İstatistikleri (www.tuik.gov.tr).

Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı İl Müdürlüğü kayıtlarına göre, özel sektöre ait doğal kaynaklar, inşaat yapı malzemeleri üretimi yapan toplam 34 farklı firma faaliyette bulunmaktadır (Çizelge 4). Bu firmalar toplamda 1834 kişiye istihdam sağlamaktadır. Sektörün sahip olduğu potansiyelin tam olarak kullanılmasında halinde, gerek ekonomiye yapacağı katkılar gerekse yaratacağı istihdam miktarı önemli ölçüde artabilir.

Niğde'de madencilik ve yapı malzemeleri sektöründe faaliyet gösteren firmalar incelendiğinde, kalsit madenciliği (mikronize üretim dahil) ile taş ve kum ocaklarının öne çıktığı görülmektedir. Bunun yanında karbondioksit (CO<sub>2</sub>), altın ve gümüş üretimi, çinko, kurşun işletmeciliğinin de bulunduğu görülmektedir. Niğde ilinde son 10 yılda toplam 51,7 Milyon TL'lik bir madencilik yatırımı teşvik belgesine bağlanmış olup, sektörün yarattığı istihdam ise 1834 kişiye ulaşmıştır.

Teşvik belgeli yatırımlar sınıfına dahil edilen madencilik sektörü yatırımlarının çoğunlukla *komple yeni yatırım* olduğu ve desteklerin genellikle *KDV istisnası ve faiz desteği* şeklinde gerçekleştiği görülmektedir. Niğde ilindeki teşvikli madencilik yatırımları genellikle mikronize kalsit, mermer ve kırmataş (mıdır ve kum) alt sektörlerinden oluşmaktadır. Kalsit madenciliğindeki gelişme ile birlikte, il bu maden açısından önemli bir merkez olma yolundadır.

Çizelge 4. Niğde’de endüstriyel hammadde üreten firma, ihracat ve istihdam sayıları

FİRMA SAYISI	ÜRETİM KONUSU		İHRACAT	İSTİHDAM
	Ürün Adı	Yıllık Kapasite (ton)	(2013 yıl/ton)	(Kişi)
2	Doğalgaz (CO <sub>2</sub> )	31.920	5.239	26
5	Çimento, Hazır Beton	2.909.660	0	299
4	Maden Cevheri (Altın, Gümüş, Kurşun, Çinko)	20.606	4.202	163
5	Mozaik, Kalsit Tozu	590.816	3	187
5	İnşaat Kumı, Mıdır	455.954	0	55
6	Mikronize Kalsit, Talk	1.232.791	357.221	765
5	Alçı Taşı, Kalker Taşı	687.364	0	139
1	Kilitli Parke Taşı	53.566	0	146
1	Yapıştırıcılar, Derz	95	0	54
<b>34</b>			<b>366.662</b>	<b>1834</b>

### 3.2.1. Kalsit ve Endüstriyel Hammaddeler

Kimyasal formülü CaCO<sub>3</sub> (kalsiyum karbonat) olan ve kâğıt, plastik, boya, seramik, cam, ilaç, tarım gibi pek çok sektörde kullanılan bir endüstriyel mineral konumundaki kalsitin hammaddesi olan kalker taşı (kireç taşı) rezervleri Türkiye’de oldukça yaygın ve bol olmasına rağmen, resmi raporlara göre Niğde bölgesi ülkemizdeki en zengin ve en beyaz oluşumlara sahiptir (Şekil 5).

Öğütülmüş kalsiyum karbonat (GCC) endüstriyel mineral olarak çok geniş bir kullanım alanına sahiptir (Şekil 6). Bu mineralin kullanımı sırasında kalitesini tanımlayan üç niteliği vardır. Bunlar tane çapı, renk ve kimyasal saflığıdır. Bu özellikler mineralin uygulamadaki uygunluğunu belirlemektedir (DPT, 2001; Şahin, 2008). Kalker taşının renkleri parlak bir beyazdan açık griye kadar yayılmakta ve kalsiyum karbonat içeriği ise %80-99.9 arasında değişmektedir.

Kalsiyum karbonat sert bir mineral değildir. Saf kalsitin sertliği Moh's skalasına göre 3, özgül ağırlığı ise 20 °C'da 2,6-2.7 gr/cm<sup>3</sup> civarındadır (Uçurum, 2015).



Şekil 5. Niğde kalsit açık işletmelerinden bir görünüş (Delibalta, 2009)



Şekil 6. Niğde kalsit işletmeleri öğütme tesisinden bir görünüş

Kalsiyum karbonat, özellikleri bakımından geniş bir çeşitliliğe sahiptir ve bu durum kalsiyum karbonatı birbirinden farklı birçok uygulama alanına uygun bir hammadde haline getirmektedir. Niğtaş Ltd. şti. tarafından üretilen özellikle plastik ve kablo sektöründe dolgu malzemesi olarak kullanılan kaplanmış (kuşe) kalsit, malzemeye hidrofobik özellik taşması ve kimyasal boyanın kolay dispersiyon ve organik ortamlara uygunluğunu kazandırması ve PVC sektöründe kalıpların ısınmasını önlemesi nedeni ile sektörde ilk sıralarda yerini almaktadır.

Cevher olarak ocaktaki değeri 3-5 \$/ton olan kalsit, öğütölüp torbalandıktan sonra 40-200 \$/ton değerlere ulaşmaktadır.

En son teknolojiye sahip laboratuvar ortamında kalsitin Mastersizer Spektrometre ile mikron oranları tespit edilerek, Minolta CM-3220 Spektrofotometre ile beyazlık analizleri ve nem testleri yapılarak, hammadde girişinden paketlemeye kadar tüm prosesler kontrol ve kayıt altına alınmaktadır. Müşteri teklif ve isteklerine göre D50 ve D97 gibi değişik mikronlarda üretim yapılabilmektedir. Ürünler kraft torba, jut torba, big bag ve siling bag olarak ambalajlanmaktadır. Kraft torbalar 25 kg olup isteğe bağlı 1000, 1250 ya da 2000 kg'lık paketlerle streçlenebilmektedir (Şekil 7). Firmalar üretmiş olduğu ürünlerin nakliyesini bünyesindeki araç ağı ile kendisi yapmaktadır.



Şekil 7. Niğde kalsit işletmeleri paketleme tesisinden görünüşler (Delibalta, 2009)

### 3.2.2 Kalsit İşletmeleri ve Çevresel Etkileri

Madencilik sektörü diğer endüstriyel işletmelerden farklı olarak, doğal çevre ile çok daha sıkı ilişki halindedir. Ülkemizdeki toplam kömür ve endüstriyel hammadde üretiminin yaklaşık %90'nın açık işletme yöntemiyle gerçekleştirildiği dikkate alınrsa, madencilik faaliyetleri nedeniyle bozulan arazilerin oldukça önemli boyutlara ulaştığı açıkça görülecektir. Geometrileri örtü kalınlığına, işletme büyüklüğüne ve seçilen açık işletme üretim yöntemine bağlı olarak bozulan bu arazilerin, yeniden düzenlenmesi ve kullanıma sunulması çevresel etki değerlendirmesi (ÇED) bakımından büyük önem taşımaktadır.

Gerek iş sağlığı ve güvenliği gerekse ÇED bakımından, bozulan açık işletme sahalarının yeniden düzenlenmesi ve toplum yararına kullanıma sunulması yasal bir zorunluluktur. Farklı kullanım alternatiflerinin tasarlanabileceği bu arazilerin, işletmeler, sivil toplum kuruluşları, meslek odaları ve ilgili resmi kurumlar tarafından ortaklaşa düzenlenmesi gerekmektedir (Düzgün, 2009). Henüz

madencilik faaliyetlerinin doğrudan ve/veya dolaylı çevresel etkilerinin yaşanmadığı Niğde kalsit işletmeleri için de faaliyetler esnasında ve sonrasında oluşabilecek çevresel olumsuzlukların giderilmesi, madencilik faaliyetleri sonrası onarım, tahrip edilmiş bir alanın verimliliğinin, ekolojik, ekonomik ve estetik değerlerinin yeniden kazandırılması amacıyla kapsamlı bir peyzaj planı yapılabilir. Bu planlama ile işletme sırasında ve sahanın terk edilmesinden sonra yapılabilecek iyileştirmeler daha kolay ve ekonomik olacaktır.

Açık işletme sonrası bozulan arazilerin yeniden düzenlenmesinde, jeoteknik bakımdan güvenli ve uygun bir peyzaj görünümüne ulaşmak kadar, buradan ekolojik ve ekonomik olarak yararlanmakta hedeflenmelidir. Bu maksatla, arazi geri dönüşüm çalışmaları;

- ♦ Ziraat (tarım, bahçe, mera vs.),
- ♦ Orman (ticari ve ticari olmayan),
- ♦ Rekreasyon (eğlence ve dinlenme yerleri, parklar, halka açık alanlar vs.),
- ♦ Su kullanımı (balıkçılık, gölet vs.),
- ♦ Bayındırlık ve inşaat (hafif endüstriyel yapılar, konut, hizmet binaları, yol vs.),
- ♦ Yaban hayatı (biyotop, doğal koruma alanları vb.) gibi toplumsal amaçlar için kullanılabilir (Delibalta, 2003).

Arazi rehabilitasyonu olarak ülkemizde, genellikle ilgili sahalarda sadece teraslama, çapalama ve ağaçlandırma faaliyetleri yapılmaktadır. Fakat son yıllarda gerek zorunlu yasal mevzuatlar gerekse artan çevre bilinci dolayısıyla, ülkemizde de başarılı maden kapatma ve doğaya yeniden kazandırma faaliyetleri sürdürülmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Açık işletme sonrası arazi rehabilitasyon uygulaması (TÜPRAG, 2009)



Niğde kalsit işletmeleri; merkez ilçeye 7 km uzaklıkta, ekseri ormansız, bozkır ve hazine arazisi üzerine kurulu olup, günümüzde 16 farklı özel sektör firması mikronize kalsit ve türevlerinde üretim faaliyetine devam etmektedir. ÇED Yönetmeliği Ek-II listesinde yer alan “Kalsit Ocağı ve Kıрма-Eleme Tesis”leri aynı yönetmeliğin 17. maddesi gereğince “ÇED Gerekli Değildir” kararına sahiptirler. İşletmeler kısmen kazı, kırma-eleme işlemlerinde toz, gürültü ve topoğrafik yüzey bozulmaları hariç, sürdürülebilir kalkınma ve çevresel etki değerlendirmesi kriterlerine uygun olarak faaliyetlerini sürdürmektedirler.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Modern dünyada yılda 1,5 trilyon ABD Doları değerinde, 10 milyar tonun üzerinde maden üretilmektedir. Bu üretimin %75'i enerji hammaddeleri, %10'u metalik madenler ve %15'i endüstriyel hammaddelere aittir. Sektör bugün dünya çapında genişleyen bir ekonomik faaliyet alanı haline gelmiştir (İMMİB, 2008). Demir-çelik, demir dışı metaller, çimento, seramik, cam vb. imalat sanayiinin büyük bölümü, girdilerini ağırlıklı olarak madencilik sektöründen karşılamaktadır. Bu kapsamda, sağlıklı bir madencilik altyapısı olmaksızın söz konusu sanayilerin gelişmesinin hiç de kolay olmayacağı açıktır.

Gelişmiş ülkelerde Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYİH) içerisinde madenciliğin payı %4, dünya ortalaması ise %2 civarında gerçekleşmektedir. Ülkemizde %1'ler civarında olan bu oranın; Türkiye madencilik sektörünün potansiyeli gözönüne alındığında, daha üst seviyelerde olması gerektiği anlaşılmaktadır.

Maden yataklarının aranması, üretimi ve zenginleştirilmesi süreçlerinde uygulanan işlemler; hava, toprak, su kaynaklarını, dolayısıyla çevreyi ve çevrede yaşayan canlıları etkilemektedir. Kazı sahası ve topoğrafik yüzey alanı olarak; açık işletme madenciliğinin çevre üzerindeki olumsuz etkileri, yeraltı işletmesi ve cevher hazırlama çalışmalarına oranla çok daha fazladır.

Türkiye'nin en saf ve beyaz oluşumlu kalsitleri Niğde bölgesinde bulunmaktadır. Kalsit ocakları Niğde masifi içindeki Gümüşler formasyonunda yer almaktadır. Ayrıca Hasandağ-Melendizdağ volkanitlerine bağlı olarak oluşmuş pomza, perlit, diatomit ve kaolen gibi endüstriyel hammaddeler de bölgede oldukça büyük rezervlere sahiptir. Açık işletme yöntemi ile üretim yapılmakta olup, özel sektöre ait Kalsit, Mermer, Mozaik, İnşaat Yapı Malzemeleri ve Kırmataş İşletmelerinde küçük ve orta ölçekli üretimler yapan 34 farklı firma faaliyette bulunmaktadır. 2013-2014 yılı firma bilgilerine göre, sektörde toplam 1834 kişi istihdam edilmiş ve 366.662 ton ürün satışıyla 5.094.400,57 \$ ihracat gerçekleştirilmiştir.

Niğde kalsit işletmeleri; merkez ilçeye 7 km uzaklıkta, ekseri ormansız, bozkır ve hazine arazisi üzerine kurulu olup, günümüzde 16 farklı özel sektör firması mikronize kalsit ve türevlerinde üretim faaliyetine devam etmektedir. ÇED Yönetmeliği Ek-II listesinde yer alan “Kalsit Ocağı ve Kıрма-Eleme Tesis”leri aynı yönetmeliğin 17. maddesi gereğince “ÇED Gerekli Değildir” kararına sahiptirler. İşletmeler kısmen kazı, kırma-eleme işlemlerinde toz, gürültü ve topoğrafik yüzey bozulmaları hariç, sürdürülebilir kalkınma ve çevresel etki değerlendirmesi kriterlerine uygun olarak faaliyetlerini sürdürmektedirler.

## KAYNAKLAR

- ÇOB, 2010. Çevre ve Orman Bakanlığı (ÇOB), Madencilik Faaliyetleri İle Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği, *Resmi Gazete*, Sayı: 27471, 23 Ocak, Ankara, 8 s.
- Delibalta, M.S., 2003. *TKİ-GELİ (Muğla) Bölgesinde Dekapaj Döküm Sahasındaki Şev Duraysızlıklarının İncelenmesi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 154 s.
- Delibalta, M.S., 2009. Niğde Ekonomisinde Kalsit ve Endüstriyel Hammaddelerin Önemi, *7. Uluslararası Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu ve Sergisi*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayın No:152, s.207-212, Kuşadası/ Türkiye
- Delibalta, M.S. ve Toraman, Ö.Y., 2013. KOP Bölgesi Ekonomik Kalkınmasında Doğal Kaynaklar ve Enerji Sektörünün Rolü, *Ulusal KOP Bölgesel Kalkınma Sempozyumu*, 14-16 Kasım, s.18-27, Konya
- DPT- Devlet Planlama Teşkilatı, 2007. *Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu*, 9. Kalkınma Planı (2007-2013), Yayın No: 2739, ISBN 978-975-19-4168-8, Ankara
- DPT- Devlet Planlama Teşkilatı, 2001. *Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu*, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri I, 8. Kalkınma Planı (2001-2005), Yayın No: 2618, ISBN 975-19-2853-2, Ankara
- Düzgün H.Ş., 2009. Maden Kapatma Planlaması ve Doğaya Yeniden Kazandırmanın Temel İlkeleri, *3. Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayın No:157, Ankara, s.1-16
- ETKB, 2014. *Mavi Kitap*, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) ile Bağlı, İlgili ve İlişkili Kuruluşların Amaç ve Faaliyetleri, [www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr), 302 s, Ankara
- Genç, Ö., 2008. *Türkiye İmalat Sanayinin Sektörel ve Bölgesel Dağılımı*, Türkiye Kalkınma Bankası AŞ. Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Müdürlüğü, Ankara, GA/08-03-03, 159 s.
- İMMİB- İstanbul Maden ve Metaller İhracatçı Birlikleri, 2008. 34197 Yenibosna, Bahçelievler / İstanbul, [www.immib.org.tr](http://www.immib.org.tr)

- MİGEM, 2015. İstatistikler, Maden İşleri Genel Müdürlüğü (MİGEM), <http://www.migem.gov.tr/istatistikler/istatistik.html>, Ankara
- Şahin, N., 2008. Kalsit Hakkında Bazı Bilgiler, *Madencilik Bülteni*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, Sayı: 86, s.48-51
- TÜPRAG, 2009. *Çevre Bilincimiz*, TÜPRAG Metal Madencilik Sanayi ve Tic. A.Ş., [www.tuprag.com.tr](http://www.tuprag.com.tr), Ankara
- Uçurum, M. 2015. Kalsit Madenciliğinin Geleceğinde Optik Ayrırma Teknolojilerinin Yeri ve Önemi, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 4, Sayı 1, s.40-46.
- Ünver, Ö. ve Kara, D., 1994. Türkiye’de Kömür Madenciliği ve Çevre, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, *Madencilik*, Cilt: XXXIII, Sayı:2, s.3-9, Ankara
- Varol, S. ve Başpınar, E. 2011. Maden İşletmelerinin Çevreye Etkisi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, SDUGEO e-dergi*, ISSN 1309-6656 Yıl 2, Sayı: 4, s.28-31.
- <http://www.mikrons.com.tr>
- <http://www.nigtasmikronize.com>
- <http://www.google.com/maps>
- <http://www.mta.gov.tr>

# Çorum Çimento Taş Ocağında Yapılan Patlatmaların Çevresel Etkiler Açısından Değerlendirilmesi

## *The Evaluation of Environmental Impacts of Quarry Blasting in Çorum Cement's Quarry*

V. Deniz

*Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çorum*

O.T. Deniz

*Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara*

**ÖZET** Bu çalışmada, Çorum ili şehir merkezi sınırları içerisinde faaliyet gösteren Çorum Votorantim Çimento fabrikasının kalker ocağında patlayıcı madde kullanılarak yapılan üretim çalışmalarından kaynaklanan titreşimlerin, işletmenin yakınında bulunan şantiye binalarına ve daha uzakta olan konutlara bir zarar verip vermeyeceği araştırılmıştır. Çalışma yöntemi olarak, patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin (yer sarsıntılarının) incelenmesi amacı ile gerekli saha çalışması yapılmıştır. Saha çalışması kapsamında 11 adet patlatmanın titreşim ölçümü değişik mesafelerden alınarak sahanın ölçekli mesafe-parçacık hızı ilişkisinden sönümlenme katsayısı ve arazi katsayısı bulunmuştur. Bu çalışmalar sonucunda yersarsıntısının Çorum Belediyesi taş ocağına ait şantiye binalarına ulaşmadan önce sönümlenebilmesi için patlatma tasarımlarında titreşim oluşumu dikkate alınarak atımlar kontrol altına alınmıştır. İstatistiksel olarak yapılan değerlendirmeler sonucunda, ölçekli mesafeler ve maksimum parçacık hızları arasında 0.95 üzerinde oldukça iyi bir korelasyona sahip ilişki elde edilmiştir.

**ABSTRACT** In this study, the possibility of damage occurrences in near the residential areas have been investigated due to limestone quarry operations belongs to Çorum Votorantim Cement Plant in which blasting operations are involved. The method of study is to perform in-situ vibration measurements in order to investigate the blast induced vibrations. 11 different blasts were organized in separate parts of the quarry and ground vibrations were taken from various distances. The result of these measurements had been used to calculate scaled

distances of each blast in order to define rock parameters of the studied zone with a good correlation with up 0.95.

## 1. GİRİŞ

Patlatmalı kazı işlemlerinde, patlatmanın asıl amacı, kayayı kırarak gevşetmek veya ötelemektir. Çoğu patlatmanın, bu amacı oldukça etkin bir şekilde gerçekleştirmesi tartışılabilir. Yapılan patlatmadan iyi bir sonuç almak için belirli miktarda enerjiye ihtiyaç vardır. Patlayıcı maddeler kullanılarak elde edilen bu enerjinin tamamı kaya üzerinde yararlı iş görmemekte sadece % 20 kadarı patlatmadan verimli bir sonuç almak için kullanılabilir. Toplam enerji dengesi hesaplamaları sonucunda, patlatma sonrası açığa çıkan enerjinin % 40 kadarının yer titreşimlerini oluşturduğu belirtilmiştir (Berta, 1990). Detonasyon sürecinde kayaya uygulanan enerjinin %60'lık kısmı, sismik dalga ve hava şoku şeklinde verimsiz enerjiye dönüşür. Bu enerji, patlatma kaynağından uzaklaşarak ihmal edilebilir bir düzeyde tamamen sönüncüye kadar uzun bir mesafe kat edebilir. Bu zaman sürecinde, kaya yapılarında ve binalarda önemli hasarlara ve yerleşim yeri sakinlerinin ise, tedirgin olmasına neden olabilir (Kahriman ve ark., 1999).

Ocak patlatmalarından kaynaklanan yer sarsıntıları kısa süreli (gelip-geçici) ve düzensiz yer hareketleridir. Zemindeki bir parçacığın hareket hızına parçacık hızı denir. Parçacık hızı sıfırdan başlar, en yüksek değerine ulaşır ve giderek sönümlenir. Bu nedenle, yer sarsıntısı incelemelerinde birinci önemli husus en yüksek parçacık hızıdır. Çünkü en yüksek hız değeri ne kadar büyük ise bina da o denli yüksek şiddette sarsılır. Frekans (f) ise, zemindeki bir parçacığın 1 saniyede kaç kez sarsıldığını gösterir (Bilgin ve ark., 1999).

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

Araştırmalar göstermiştir ki, patlatmalardan yayılan sismik dalga herhangi bir noktada bulunan bir yapıya ulaştığında, yapının oturduğu kayada yarattığı elastik

deformasyon şiddeti ancak belirli bir düzeye ulaşır ise yapıda bazı hasarlara yol açacaktır. Bu düzeyin altındaki değerler yapılarda hasara neden olmaz (Siskind ve ark., 1980). Ancak, patlatmalı kazı yapılan bir ocağın çevresindeki yerleşim yerlerinde oturanların çoğu bunu bilmedikleri için gereksiz yere hasar olacak endişesine kapılmaktadırlar. Burada önemli olan bir diğer husus yapının inşa özellikleridir. Aynı karakter ve şiddette sarsıntıya maruz kalan yapılar farklı tepkiler gösterebilirler. Yapının tek katlı veya çok katlı olmasından, kullanılan malzeme türüne ve mühendislik kabullerine kadar birçok parametre değişik tepkilerin oluşmasında rol almaktadır (Erkoç, 1990).

Genellikle insanların fark edebileceği en düşük sarsıntı düzeyi 0.25 mm/s ile 1.5 mm/s arasında parçacık hızına sahip olanlardır. Bu değer 2.5 mm/s' ye ulaşırsa hemen hemen herkes fark eder ve bazı insanlar korkabilirler. Fakat, sarsıntı 10 mm/s ile 17.5 mm/s arasında olduğunda kesinlikle algılanır ve insanlar endişeye kapılırlar (Siskind ve ark., 1980). Oysaki bu değerler binalarda hafif ölçekte bile hasar yaratacak düzeyde değildir. Yarattılabilecek hasar, en çok görünüm bozucu türden ve zeminin farklı oturması, zemindeki heyelan benzeri küçük kaymalar ve mevsimsel su hareketlerinin de yaratabileceği, binanın güvenliğini etkilemeyen kıl inceliğinde çatlaklardan oluşur (Uyar ve ark., 1999).

Çevre sakinlerinin, hangi düzeyde sarsıntılardan konutlara hasar verebileceğini bilmemeleri doğaldır. Bu bilgi eksikliği ve kulaktan dolma varsayımlarla hareket etmeleri yüzünden, algıladıkları sarsıntılardan hasar vereceğine inanmakta ve şikâyetçi olmaktadır. Bir kısım kötü niyetli kişiler ise işletmeden değişik menfaatler sağlamak için, aslında taş ocağı çalışmalarından etkilenmedikleri halde şikâyetçi olmaktadır. En çok şikâyet edilen konu ise patlatmadan kaynaklanan sarsıntıdır. Aslında ocaktaki ağır tonajlı bir kamyon, yürüyen bir vinç bile daha şiddetli sarsıntılara yol açabilecek iken çevre sakinleri yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı, patlatmanın sarsıntısını büyütmektedirler. Eğer binaların, kalitesine göre sarsıntıdan hasar görmemesi gerekirken hala şikâyet var ise, yapılması gereken uzman kişiler tarafından incelenmesidir (Uyar ve ark., 1999).

Şikâyetlerin bir kısmının da gerçek hasara bağlı şikâyetler olabileceği göz ardı edilmemelidir. Çünkü, kısa mesafelerde önce gövde dalgaları olarak yayılan patlatma kaynaklı sismik enerji, kayaç içerisindeki süreksizliklerde kırılma ve yansımaya bağlı olarak birden fazla ve değişik karakterde dalgaların oluşmasına yol açarlar. Bir patlatmadan sonra kayıt noktasına önce yüksek hızları nedeniyle P ve S dalgaları ulaşır. Daha sonra, katmanlar arasında yoğunluk farkı olduğu durumlarda polarizasyon olarak tanımlanan olay ile ya da formasyonun bünyesinde gerilme birikmesine bağlı olarak P ve S dalgalarının oluşturduğu Rayleigh ve Love

dalgaları oluşur (Uyar ve ark., 1999). Bunlardan Rayleigh dalgası geriye bastırılmış eliptik hareket veren bir yüzey dalgasıdır. Boyuna ve düşey ekseninde bileşenleri bulunur. Love dalgası ise enine polarize olan dalga formudur. Tavanda ve tabanda iyi yansıma koşulları olan katmanlarda oluşmaktadır. Yalnızca boyuna ve enine yönlerde bileşenleri bulunur (Erkoç, 1998).

Bu dalgaların genlikleri de esas patlatma dalgalarının genliklerinden büyük olabilir ve düşük frekanslı olan bu dalgalar şikâyet konusu olan yapıyı rezonansa sokarak, ölçüm cihazının gösterdiği değerlerden çok daha büyük değerlerle sarsılmasına sebep olabilirler. Bu nedenle şikâyetin söz konusu olduğu yerlerde gelişmiş tekniklerle ileri düzeyde analizlerin yapılması gerekmektedir (Dowding, 1985).

Yersarsıntılarının frekans özellikleri başlıca iki unsurdan etkilenir. Bunlar jeoloji (kaya türleri) ve gecikmeli ateşlemelerde gecikme aralığıdır. 10 Hz değerinin altındaki frekanslar zeminde büyük yer değişimleri ve yüksek düzeyli birim deformasyonlar yarattığı için hasar olasılığını da artırır. Binalarda hasar olasılığı, zeminde patlatmanın oluşturduğu uyarıcı dalganın frekansı ile söz konusu binanın doğal (özyapısal) frekansının birbirleri ile olan ilişkisine bağlıdır. Patlatmalarda en kritik durum zemindeki uyarıcı dalganın frekansının, bir veya iki katlı binalarda genellikle 5-10 Hz arasında değişen bina özyapısal frekansına eşit veya ondan büyük olduğunda oluşur. Bu durumda bina rezonansa girer ve zemindeki uyarıcı (yer sarsıntısı) dalga geçip gittiği halde bina sarsılmaya devam eder. İşte insanların hissedip, endişeye kapılmalarına neden olan da budur. Bina rezonans halindeyken, parçacık hızı, sınır değerin oldukça altında ise binada hasar oluşmaz ama kişiler rahatsız olur. Fakat bina rezonans halindeyken parçacık hızı da yeterli büyüklükte (genlikte) ise binada hasar oluşur (Siskind ve ark., 1980; Bilgin, 1998; Kahrıman ve ark., 1999). Pratik olarak düşük frekanslı (<40 Hz) yer titreşimleri yaratan patlatmalar için emniyet sınırı; modern alçı pano duvarlı evler için 19 mm/sn, tahta kalas üzeri sıva duvarlı evler için 12.7 mm/sn'dir. 40 Hz üzeri frekanslarda tüm evler için emniyetli parçacık hızı, maksimum 51 mm/sn olarak tavsiye edilir (Kahrıman ve ark., 1999).

Sarsıntıdan kaynaklanan hasarları gidermek veya tazminat ödemek, ocak işletmecisine daha yüksek maliyetler getirir. Durum böyle olunca, şikâyetlerin haklı olup olmadığının araştırılması hem çevrede bulunan yerleşim yerlerinin korunması, hem de kazı yapan kuruluşların olabildiğince ekonomik çalışmasının sağlanması için gereklidir. Bunun yolu da yerinde yapılan ölçümlerdir (Uyar ve ark., 1999).

## 2. ÇALIŞMA SAHASI

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



Şekil 1. Çalışma bölgesinin uydu görüntüsü

## 3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Bu araştırma kapsamında, Çorum ili Merkez ilçesinin yakınında Çorum Votarantim Çimento Fabrikasına ait kalker sahasında gerçekleştirilen patlatmalı kazıların, söz konusu ocağın yakınında bulunan Çorum Belediyesi taş ocağı şantiye binalarında (Şantiye, Kantar ve Trafo v.b.) ve daha uzakta bulunan Melikgazi bağ evlerinde hasarlara neden olabilecek seviyelerde olup olmayacağı konusunda değerlendirme yapılmasını içermektedir. Ayrıca, düzenlenen test atımlarında ortaya çıkan titreşim analizleri sonucunda elde edilen saha sabitleri kullanılarak, söz konusu ocak yakınında bulunan Çorum Belediyesi Taş Ocağında buluna Şantiye binalarına ve daha uzak olan bağ evlerine zarar vermeyecek tarzda patlatma tasarımının yapılıp yapılamayacağını belirlemek amacıyla titreşim ölçümleri yapılmıştır.

Çalışma sahasında Şekil 2’de görüldüğü üzere 7 kademe bulunmakta ve genelde 3., 4. ve 5. kademelerde patlatma yapılmaktadır. Ocakta her bir kademe yüksekliği hemem hemen eşit ve 10 m olarak düzenlenmiştir. Patlatma çalışmasında, delme



işlemi Frukowa marka delici-rock makinasıyla yapılmıştır. Patlayıcı madde olarak kuru ticari ANFO kullanılmıştır. Patlatma kaynaklı oluşan titreşimlerin ölçümü için 1 adet Instantel Micromate model sismometre ve 2 adet Instantel Minimate-Blaster model sismometre aletleri kullanılmıştır. Elde edilen veriler bilgisayar programlarıyla değerlendirilip, büro çalışmalarıyla raporlandırılmıştır.



Şekil 2. Çorum Votorantim Kalker sahasındaki kademelerin görünümü

Çalışma sahasında egemen kaya birimi kireçtaşıdır. Kireçtaşının kazı zorluğu derecesini belirlemek amacıyla arazide Schmidt çekici deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda, elde edilen sertlik değerlerinin, Uluslararası Kaya Mekanik Deneyi (ISRM, 1992) tarafından önerilen Schmidt çekici sertlik skalasındaki yerine göre “ÇOK SERT” kaya sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, laboratuarda da tek eksenli basma dayanımı, ağırlıkça su emme, birim hacim ağırlık ve porozite değerleri tespit edilmiştir. Yapılan deney sonuçları Çizelge 1’te verilmiştir. Belirlenen kaya özellikleri ve saha gözlemleri ile birlikte üretim sürecinde patlatmalı kazının kaçınılmaz olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 1. Kireçtaşı örneğinin fizikomekanik özellikleri

<b>Fizikomekanik Özellikler</b>	
Birim hacim ağırlık ( $\text{g/cm}^3$ )	2.68
Özgül ağırlık	2.73
Ağırlıkça su emme oranı (%)	0.3
Görünür porozite (%)	0.65
Doluluk oranı (%)	99
Mohs Sertliği	3.5-4
Schmidt Darbe Dayanımı	59

Bölgede yapılan patlatma işleminde patlayıcı madde olarak ANFO, yemleme de EMULITE dinamit kullanılmıştır. Ateşleme ise nonel gecikmeli kapsüllerle yapılmıştır. Delikler arası mesafe ve yük mesafesi 2.5x2.5m olarak alınmış ve delikler şaşbeş düzende delinmiştir. Sıkılama boyu 2.5m olarak ve dip delgi miktarı 1m olarak uygulanmıştır. Gecikme başına maksimum şarjın belirlenmesinde; yemlemede kullanılan dinamitin ağırlığı (1 kg) ve ANFO göz önüne alınmış olup, atım yeri ile ölçüm istasyonu arasındaki mesafe ise GPS ile bulunmuştur. Çalışma kapsamında, işletmenin patlatma dizaynı, işletmelerin yetkilileri tarafından sistematik olarak uygulanan şekliyle sürdürülmüştür. Titreşim ölçümlerine esas olacak söz konusu atımlarda, sadece gerekli kantitatif ölçüm ve gözlemler yapılmıştır.

Ölçekli mesafenin belirlenmesinde benzer araştırmalarda en sık kullanılan kareköklü eşitlikten yararlanılmıştır (Duvall ve Fogelson, 1962).

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

Burada;

SD: Ölçekli mesafe (m/kg<sup>1/2</sup>)

R: Patlatma noktasına uzaklık (m)

W: Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg)

Diğer taraftan, parçacık hızının önceden tahmin edilebilmesi için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Siskind ve ark., 1980).

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

Burada;

PPV: Maksimum parçacık hızı (mm/s)

K: Arazi iletim katsayısı (kayacın homojenliğine, fayların ve çatlakların varlığına bağlı sabit)

$\beta$  : Arazi sönümleme katsayısıdır (özel jeolojik sabit) (Siskind ve ark., 1980; Olofsson, 1988).

Araştırmada; 11 adet test atımına ait toplam 16 olay'ın 14 adedi titreşim ölçer cihazlar tarafından kaydedilmiştir. Her bir atımla ilgili patlayıcı madde şarj parametreleri ve titreşim ölçüm sonuçları kaydedilmiş ve çizelgelere aktarılmıştır.

Titreşim ölçer cihazları, öncelikle söz konusu ocakta yapılan atım noktaları ile Çorum Belediyesine ait taşocağının şantiye bina ve tesisleri arasında muhtelif uzaklıklarda belirlenen ölçüm istasyonlarına Şekil 3 ve Şekil 4 yakınlığı, Şekil 5 ve

Şekil 6'da ise titreşim ölçerlerin (jeofonlar) sistematik bir şekilde yerleştirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 3. Çalışma sahasına yakın yerleşim alanlarının görüntüsü



Şekil 4. Çorum Belediyesi şantiye binası ile çalışma sahası taşocağının görünümü



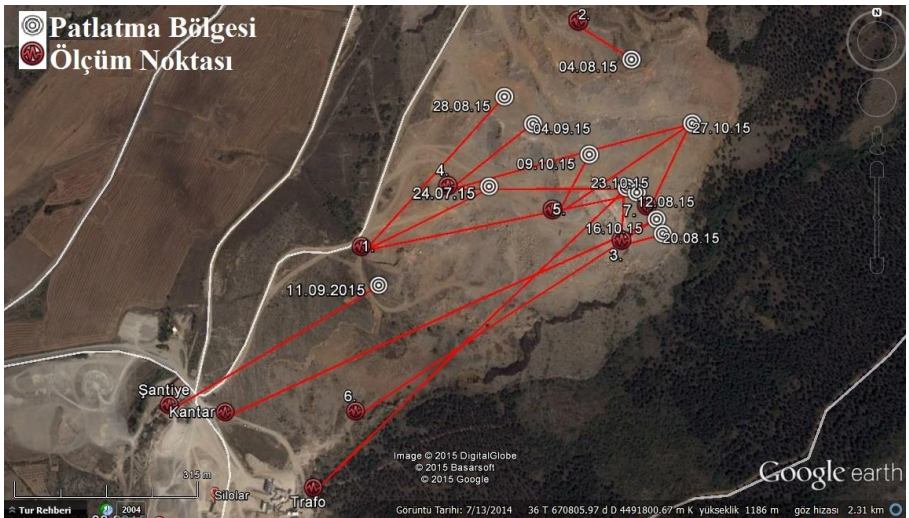
Şekil 5. Patlatma ve Jeofon noktalarının GPS ile belirlenmesi



Şekil 6. Jeofon istasyon noktalarının GPS ile belirlenmesi

#### 4. ÖLÇÜM SONUÇLARI

Çalışma alanında toplam 11 atım için ölçüm istasyonlarının yerleri önceden belirlenerek Şekil 7’de mesafelerle birlikte detaylı olarak gösterilmiştir. Atımlar sonucunda cihazlar tarafından kaydedilen toplam 16 olayın maksimum parçacık hızlarını ve frekans değerlerini içeren bilgileri ve istasyon noktaları ile atım noktaları arasındaki mesafeler, Çizelge 2’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Çizelge 2’de görüldüğü üzere 9. ve 10. atımlarda Kantar ve Trafo titreşim ölçer noktalarında herhangi bir kayıt alınmamıştır. Dolayısıyla, değerlendirmeler 16 değil 14 veri üzerinde yapılmıştır.



Şekil 7. Patlatma ve ölçüm noktaları arasındaki mesafelerin gösterimi

Çizelge 2. Patlamalar ile ilgili titreşim ölçüm sonuçları

Atım No	Tarih	İstasyon No	Maksimum Parçacık Hızı (PPV)	Frekans (f)	Gecikme Başına Toplam Şarj Miktarı	Mesafe (R)	Ölçekli Mesafe (SD)
	2015		mm/sn	Hz	kg	m	m/kg <sup>1/2</sup>
1	24.07	1	3.153	6.7	43.5	230.1	34.85
2	04.08	2	9.805	13	82.0	109.0	12.04
3	12.08	1	0.875	7.5	46.2	441.6	64.97
4	20.08	3	21.28	13	50.7	78.6	11.04
5	28.08	1	1.608	7.4	50.2	340.7	48.11
6	04.09	4	3.302	9.8	44.5	170.4	25.54
7	11.09	Şantiye	0.671	6.5	34.0	411.5	70.57
8	09.10	5	5.903	13	44.7	111.9	16.74
9	16.10	Kantar	---	---	42.4	769.5	118.09
		6	0.410	5.7		578.7	88.87
10	23.10	3	13.840	13	47.0	96.2	14.03
		4	1.788	8.4		273.3	41.68
		Trafo	---	---		703.1	108.48
11	27.10	7	3.302	24	44	154.9	23.35
		5	1.270	20		256.9	38.73
		4	1.103	6.2		390.1	58.80

## 5. ÖLÇÜM SONUÇLARININ ANALİZİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

### 5.1. Ölçüm Sonuçları

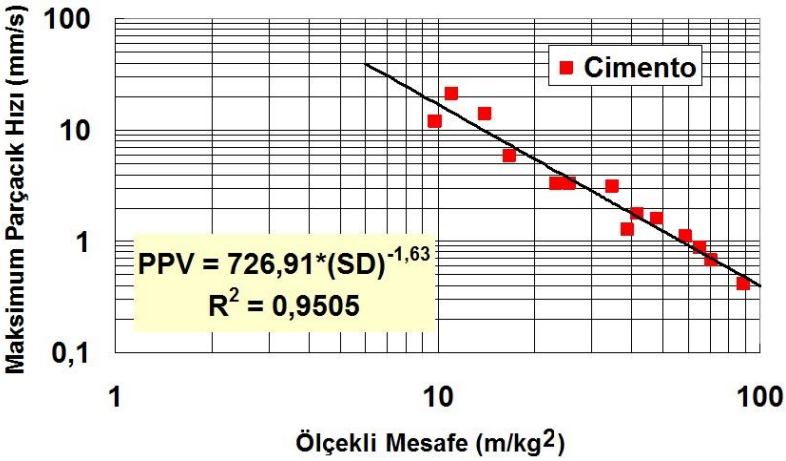
Ölçüm sonuçlarından, gecikme başına düşen en fazla patlayıcı miktarı ve patlatma bölgesi ile ölçüm istasyonu arasındaki uzaklıklar dikkate alınarak türetilen ölçekli mesafe ile parçacık hızı arasındaki ilişki incelenmiştir.

Çizelge 2'deki verilerden hareketle; ölçülen en yüksek parçacık hızı ile ölçekli mesafe veri çiftleri kullanılarak yapılan regresyon analizi sonucunda, bölgede yapılacak kontrollü patlatma tasarımlarında parçacık hızı tahmininde kullanılması önerilen çalışma sahasının sabitleri aşağıdaki formülle ifade edilmiştir (Kahrıman ve Ceylanoglu, 1996, Kahrıman, 2004; Uyar Aldaş ve Bilgin, 2004).

$$PPV = K * (SD)^{-\beta} \quad (3)$$

Literatüre uygun olarak oldukça iyi bir ilişki katsayısıyla elde edilen bu fonksiyonun en yüksek parçacık hızına karşılık gelen ölçekli mesafe ilişkisinin

logaritmik grafiksel görünümü de Şekil 8’de gösterilmiştir. Buna göre, çalışılan saha ile ilgili sabitleri sırasıyla  $K = 726.91$  ve  $\beta = -1.63$  olarak bulunmuştur. Oldukça iyi bir ilişki katsayısı ( $r^2 = \%95.05$ ) ile tespit edilen bu denklem sayesinde, işletmede titreşim ölçer kullanılmadığı durumlarda herhangi bir atımdaki gecikme başına kullanılacak belirli miktardaki bir patlayıcı maddenin yaratacağı titreşim hızının belirli bir uzaklıktaki değerinin ne olacağını belirlemede rahatlıkla kullanılabilir. Ancak arazide, ileriki zamanlarda yapılacak atımların da kayıt edilerek daha fazla veri elde edilmesi ve ilişkinin güncelleştirilmesi gerekmektedir.

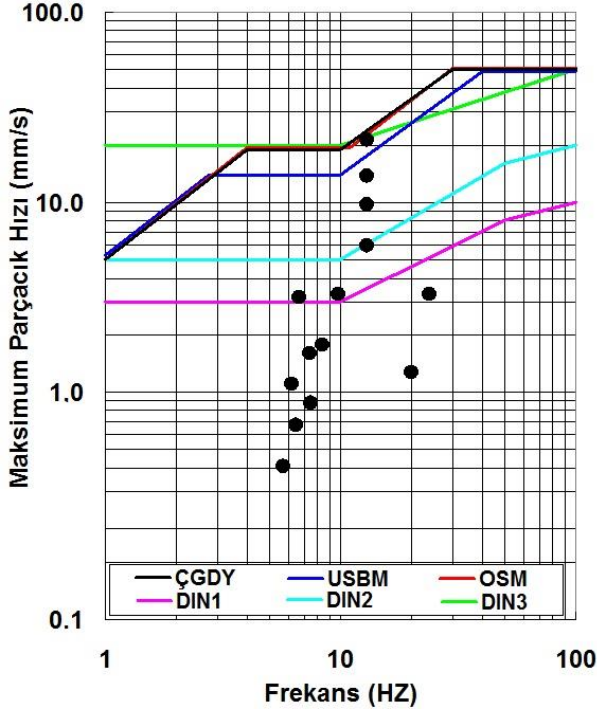


Şekil 8. Ölçekli mesafe ile maksimum parçacık hızı arasındaki logaritmik ilişki

Parçacık hızı tahmin denkleminin güvenilirliğinin sağlam olması için kararlılık katsayısının ( $r^2$ ) değerinin 0.7’den büyük olması gereklidir. Yapılan regresyon analizi sonucunda 0.7’den daha düşük bir  $r^2$  değeri elde edilmiş ise bu durum sahadan sağlanan veri çiftleri arasında tutarsızlığın ya da problemin var olduğunun işaretidir (Costa ve ark. 1996).

## 5.2. Hasar Riski Değerlendirmesi

Söz konusu sahada yapılan atımların ölçülen parçacık hızı ve frekans değerleri, çevreye verebilecekleri hasar riski açısından daha güvenilir ve daha yaygın kullanıma sahip olan USBM (2009), OSM (1983), Alman DIN 4150 (1999) ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliğinin (2010) hasar kriterlerine göre değerlendirilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Maksimum parçacık hızlarına karşılık gelen frekansların dağılımı ve Ulusal ve Uluslararası normlara göre durumu

Şekil 9'daki hasar kriterleri grafik çizgilerinin altında kalan, belirli bir baskın frekansa karşılık gelen herhangi bir parçacık hızı emniyetli kabul edilmektedir. Grafik çizgilerinin herhangi bir kesiminin yukarısında kalan değerler, bina tahribatı ve insanlara zarar verme riskini artırmaktadır (Kahrıman ve ark., 1999; Ak ve Konuk, 2003). Yapılan değerlendirmeler sonucu; bütün atımların maksimum parçacık hızı-frekans değerlerinin, OSM kriterlerindeki hasar başlangıç sınırının altında olduğu görülmüştür. USBM kriterlerine göre hasar başlangıç sınırının üstünde sadece 1 nokta olduğu görülmüştür. Bu atım noktası ile ölçüm noktasının birbirine yakın ve ocak içerisinde bir noktada gerçekleşiyor olmasından dolayı dikkate alınacak bir durum olmadığı görüşüne varılmıştır. DIN 4150 Norm'una göre ise 1 numaralı çizgiyi temsil eden büro ve endüstri binaları için verilen hasar başlangıç sınırının altında fakat oturlan evler veya sıvalı yapıları temsil eden 2 numaralı çizginin üstünde bazı noktalar olduğu tespit edilmiştir (Şekil 9). DIN 4150 Norm'unun Şekil 7'de gösterildiği üzere Belediye taşocağına ait binalara çok daha yakın seçilen istasyonlarda (Şantiye binası, Kantar, Trafo ve 6 numaralı istasyonlar) ölçümler göz önüne alındığında, bu limitlerin Bağ evleri ve Afet konutları için herhangi bir risk yaratmayacağı açıktır. Keza atım sahasına en yakın

Belediye Kantar ve Trafo binalarının hemen yanında yapılan ölçümlerde, titreşim ölçer tarafından herhangi bir titreşim ve gürültü algılanamamıştır. Atım noktasına yakın olan şantiye binalarında ise herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.

Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliğine göre (ÇŞB, 2010) atımlarda ölçülen maksimum parçacık hızı ve karşılık gelen frekans değerleri, mukayese edildiğinde (Şekil 9); özellikle Belediye şantiye binalarına yakın istasyonlarda kaydedilen değerlerin tüm normlar için hasar limitinin çok altında kaldığı görülmektedir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çorum Votorantim Çimento Fabrikasının kalker sahasında yapılan patlatmalardan kaynaklanan yer sarsıntılarının sahaya yakın binalarında hasar yaratmaması ve yaşayanları tedirgin etmemesi amacı ile 24 Temmuz–1 Ekim 2015 döneminde gerçekleştirilen araştırma ve inceleme çalışmaları sırasında saptanan bulgular aşağıda verilmiştir;

- Taş ocağında 10 m yüksekliğe sahip olan düzenli basamaklar halinde ve gecikmeli nonel milisaniyeli kapsüller kullanılarak günümüz tekniğine uygun olarak delme-patlatma operasyonları yapılmaktadır.
- Taş ocağının değişik yerlerinde 11 adet atım yapılmış ve bu patlatmaların titreşim ölçümleri işletmeye değişik mesafelerde oluşturulan 16 adet ölçüm istasyonunda kayıt edilmiştir. Bu ölçümler 0.410 mm/sn ile 21.28 mm/sn arasında değişen bileşke parçacık hızları değerleri elde edilmiştir.
- Çorum Belediyesine ait tesislere yakın olan Şantiye ve Trafo ölçüm istasyonlarında birer adet ölçüm yapılmış fakat kayıt alınamamıştır. Şantiye binası ve 6 no'lu ölçüm istasyonlarında da birer adet ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümlerin şantiye binası için gecikme başına 34 kg anlık patlayıcı miktarı kullanılmış ve bileşke parçacık hızı 0.671 mm/sn olarak, 6 no'lu ölçümde gecikme başına 42.4 kg anlık patlayıcı miktarı kullanılmış ve bileşke parçacık hızı 0.410 mm/sn olarak ölçülmüştür.
- Elde edilen titreşim parametrelerinin (parçacık hızı, frekans vs); ulusal ve uluslararası normlarına göre yapılan mukayesede, inceleme konusu yapılar da herhangi bir hasar yaratabilecek seviyelerde olmadığı anlaşılmıştır.
- Öte yandan gerek bilimsel katkılar oluşturmak, gerekse çalışılan sahada titreşim ölçer kullanılmadığı durumlarda titreşim hızı tahmini için sahada yapılan ölçümlerden elde edilen değerler ile saha sabitleri (K) 726.91 ve ( $\beta$ ) -1.63 olarak ( $r^2$ ) 0.95'in üzerinde yüksek bir güvenilirlik katsayısı ile tespit edilmiştir.



Sonuç olarak, basamak patlatması ilkelerinin uygulandığı anlaşılan Çorum Votorantim Çimento Fabrikasının kalker sahasında kısmi olarak elde edilen ölçüm sonuçları incelendiğinde, alınan noktalar itibariyle bölgeye en yakın olan Çorum Belediyesi taş ocağına ait tesislere (400-600 m) etkili olamayacağı belirlenmiştir. Dolayısıyla, şantiye binalarına bile etkisi olmayacağı düşünüldüğünden, çalışma sahsına daha uzak olan Melikgazi Bağ evleri (1100 m) ve Afet konutları (1400 m) başta olmak üzere çevredeki yapılarda etkili olamayacağı varsayım ile ölçüm dahi alınmamıştır.

## TEŞEKKÜR

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

## KAYNAKLAR

- Ak, H., Konuk, A., 2003. Eskişehir –Süpren yöresinde bir taş ocağında patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarının ölçülmesi ve analizi, *Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi*, 18(2): 1-14.
- Berta G., 1990. *Explosives: An Engineering Tool*, Italesplosivi, Milano, Italy.
- Bilgin, 1998. TKİ Çan Linyit İşletmesi'nde patlatmaları yol açtığı çevre sorunlarının giderilmesi, *Araştırma Projesi*, Ankara.
- Bilgin, H.A., Esen, S., Kılıç, M., 1999. Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının binalar üzerindeki etkisi ve büyütme faktörünün önemi, *Türkiye 16. Madencilik Kongresi*, 25-32, Ankara.
- Costa, E.S., Ayderes, S. 1996. Practical way to reduce environmental rock blasting problems. *Proceedings of the Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production*, 291-297, Cagliari, Italy.
- ÇŞB, 2010. *Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği*. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- DIN 4150, 1999. *Structural vibration in buildings. Part 3: Effects on structures*, Deutsches Institut fuer Normung, Berlin, Germany.
- Dowding, C.H., 1985, *Blast Vibration Monitoring and Control*, Prentice-Hall, USA.
- Duvall W.I., Fogleson, D.E. 1962. *Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibration*”, USBM-I 5968.
- Erkoç, Ö.Y., 1990. *Kaya Patlatma Tekniği*, Çelikler Matbaası, İstanbul.

- Erkoç, Ö.Y. 1998. Patlama ile çevreye verilen sarsıntılar ve hasar kriteri üzerine bir araştırma, 3. *Delme-Patlama Sempozyumu*, 129-139, Ankara.
- ISRM, 1992. Suggested method for blast vibration monitoring, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstract* 29(2), 145-146.
- Kahriman, A., Ceylanoğlu, A. 1996. Blast design and optimization studies for a celestite open-pit mine in Turkey, *Mineral Resource Engineering*, 5(2), 93-100.
- Kahriman, A., Karadoğan, A.K., Görgün, S., Tuncer, G., 1999. Taşocaklarında patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntısının ölçülmesi ve analizi, 2. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, 129-142, İstanbul.
- Kahriman, A., 2004. Analysis of parameters of ground vibration produced from bench blasting at a limestone quarry, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, 887-892.
- Olofsson, S.O., 1988. *Applied Explosives Technology for Construction and Mining*, Sweden.
- OSM, 1983. OSM Bulletin.
- Siskind D.E., Stagg M.S., Kopp J.W., Dowding C.H., 1980. Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting", RI 8507, *Bureau of Mines Report of Investigations*, USA.
- USBM RI 8507, 2009. *Structure response and damage produced by groundvibration from surface mine blasting*, Report No. RI 8507, Washington, USA.
- Uyar Aldaş, G.G., Bilgin, H.A., 2004. Effect of some rock mass properties on blasting-induced ground vibration wave characteristics, *CIM Bulletin*, 97, 52-59.
- Uyar Aldaş, G.G., Ecevitöğü, B. Can, A.Z. 2009. Patlatma kaynaklı titreşimlerin azaltılmasında yüzey dalgalarının bastırılması yönteminin uygulanması: TKİ YLİ Milas İşletmesinde bir uygulama, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, Cilt 1: 83-93.

# Çorum Belediyesinin Taş Ocağında Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Yönel Açıdan Değerlendirilmesi

## *The Evaluation of Directional Change of Ground Vibrations Produced from Blasting in Çorum Municipality's Quarry*

V. Deniz

*Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çorum*

O.T. Deniz

*Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara*

**ÖZET** Açık ocak madenciliğinde patlatma kaynaklı yer sarsıntıları, patlatma yeri civarındaki yerleşim birimleri için önemli riskler oluşturabilmektedir. Bu nedenle, patlatma işlerinin kaçınılmaz olduğu yerlerde, yer sarsıntısı ve hava şokundan kaynaklanan çevre problemlerinin çözümü için atımların mutlaka kontrol altına alınması gerekmektedir. Bu çalışmada, Çorum Belediyesine ait Çorum ili merkezinde yer alan taş ocağında yapılan patlatmaların kontrol altına alınabilmesi için, yerleşim yerlerine yakın yerde gerçekleştirilen patlatmalardan kaynaklanan yer sarsıntılarının ölçümü ve analizi yapılmıştır. Ölçümler, bir adet InstanTel® Micromate™ marka sismograf ve 2 adet InstanTel® Minimate Blaster sismograflar ile hem yerleşim yerleri yönünde (Güneybatı Bölgesi) hem de şantiyeye ait binaların bulunduğu yönde (Kuzeydoğu Bölgesi) yapılmıştır. Her iki yönde ölçüm alınan veriler ile farklı yönel yayılma modelleri oluşturularak arazi katsayılarındaki fark ortaya konulmuştur.

**ABSTRACT** In open pit mining, vibrations induced by blasting can bring important risks to settlements around the blasting area. For this reason, if blasting operations are unavoidable, shots must be taken under control to eliminate the environmental problems arisen from ground vibrations and air blast. The aim of this study is to measure and analyze the ground vibrations induced by blasting in the quarry belongs to municipality near to centre located in the city of Çorum in order to take the shots under the control. One InstanTel® Micromate™ and two InstanTel® Minimate™ Blaster seismographs were used for the measurement in the two directions. First is in the direction of centre of population (Southeast region)

and the other is in the direction of site buildings (Northwest region). Consequently the different site coefficients are observed at the different region of mining area.

## 1. GİRİŞ

Taş ocağı işletmecilerini son yıllarda işletme verimliliği kadar düşündüren bir başka konu da çalışma şartlarından kaynaklanan çevresel etkilerdir. Özellikle şehirleşmenin artmasıyla, yerleşim birimleri tarafından taş ocakları çevrelenerek çeşitli şikâyetlere maruz kalmaktadırlar. Bunların başında delme-patlatma faaliyetlerinden kaynaklanan yer sarsıntıları gelmektedir. Şikâyetlerin nedenleri gerçek ya da psikolojik olabilse de ekonomik ve emniyetli bir patlatma yapılabilmesi için bu şikâyetlere konu olan nedenlerin giderilmesi gerekmektedir.

Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının böylesine gündeme gelmesinde geçmişte bazı ocak sahiplerinin uygulanan galeri patlatmalarından vazgeçmemeleri ve bazılarının da gecikmesiz adi kapsüller veya infilaklı fitillerle patlatma işlemini gerçekleştirmeye devam etmesi önemli etken olmuştur. Çünkü galeri patlatmaları, gecikmesiz adi kapsül ve infilaklı fitil ile çevre yerleşim yerlerine yüksek genlikte ve kontrol edilemeyen yer sarsıntıları verilmektedir. Ayrıca hava şoku ve ağız püskürmelerine bağlı olarak taş savrulması ile de önemli hasarlar verilmektedir. İşte bu güne kadar olan bu yanlış uygulamalardan dolayı halk duyarlılaştırılmış ve en ufak bir sarsıntıdan rahatsızlık duyar hale getirilmiştir. Üstelik, galeri patlatmalarından vazgeçilip basamak patlatmasına geçildiği halde, infilaklı fitil, adi ve numaralı adi kapsülleri kullanmaya devam etmesi sebeplerinden dolayı şikâyetler devam etmektedir.

Şikâyetlerin bir kısmının da gerçek hasara bağlı şikâyetler olabileceği göz ardı edilmemelidir. Çünkü, kısa mesafelerde önce gövde dalgaları olarak yayılan patlatma kaynaklı sismik enerji, kayaç içerisindeki süreksizliklerde kırılma ve yansımaya bağlı olarak birden fazla ve değişik karakterde dalgaların oluşmasına yol açarlar. Bir patlatmadan sonra kayıt noktasına önce yüksek hızları nedeniyle P ve S dalgaları ulaşır. Daha sonra, katmanlar arasında yoğunluk farkı olduğu durumlarda polarizasyon olarak tanımlanan olay ile ya da formasyonun bünyesinde gerilme birikmesine bağlı olarak P ve S dalgalarının oluşturduğu Rayleigh ve Love dalgaları oluşur. Bu dalgaların genlikleri de esas patlatma dalgalarının genliklerinden büyük olabilir ve düşük frekanslı olan bu dalgalar şikâyet konusu olan yapıyı rezonansa sokarak, ölçüm cihazının gösterdiği değerlerden çok daha büyük değerlerle sarsılmasına sebep olabilirler. Bu nedenle şikâyetin söz konusu

olduğu yerlerde gelişmiş tekniklerle ileri düzeyde analizlerin yapılması gerekmektedir (Dowding, 1985; Erkoç, 1998).

Patlatmalar sonucu oluşan titreşimlerin yayılma özelliklerinin karakterize edilmesi, modellenmesi ve tahmin edilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmış ve farklı bilimsel metotlar ile sonuç elde edilmeye çalışılmıştır. Konuyla ilgili çok sayıda araştırma yapılmasının nedeni patlatma tekniği değişkenlerinin fazla olması ve aynı zamanda oluşan titreşim dalgalarının yayılma özelliklerinin ortam koşullarının da değişken olarak modelleme aşamasında düşünülmesi gerekliliğidir (Karakuş, 2010).

Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının frekans özellikleri başlıca iki unsurdan etkilenir. Bunlar; jeoloji (kaya türleri) ve gecikmeli ateşlemelerde gecikme aralığıdır. Patlatmalı kazı çalışmasının yürütüldüğü sahanın jeolojisi ve kaya jeomekaniği, yer sarsıntılarının oluşumu ve yayılımı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Türdeşlik gösteren masif bir kaya kütesinde yapılan patlatma sonucu oluşan yer sarsıntıları bütün yönlerde yayılırlarken, karmaşık jeolojik yapılara sahip sahalarda yapılan patlatmalardan kaynaklanan yer sarsıntılarının yayılımı yöne değişebilmekte ve farklı yayılım kuralları vermektedir (Jimeno ve Jimeno, 1995).

Yer sarsıntıları (titreşimler) kayalık bir tabakada toprak örtüsüyle yayıldığında genellikle titreşimlerin frekansı ve büyüklüğü zemin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Toprak genellikle kayalardan daha az bir elastik modüle sahiptir. Bu nedenle, dalga yayılım hızı bu tür malzemelerde azalmaktadır. Aynı zamanda titreşimin frekansı da azalmakta ancak deplasman, örtü tabakasının kalınlaşmasıyla artmaktadır. Dalgaların yayıldığı ortam, enerjinin büyük bir bölümü partiküller arasındaki sürtünmenin yenilmesinde ve yer değiştirmelerinde kullanıldığı bir zemin örtü tabakası arz ediyorsa titreşimlerin büyüklüğü mesafenin artmasıyla hızla azalmaktadır. Patlatmalı kazı çalışmalarının yürütüldüğü bölgelere yakın noktalarda titreşim özellikleri patlatma tasarım parametreleri ve tasarım geometrisinden etkilenirken, patlatma bölgesine daha uzak mesafelerde tasarım faktörleri daha az önem arz etmektedir. Bu mesafelerde kaya ve toprak örtüsünün iletim ortamı dalga özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Kahrıman ve ark., 2001).

Binalarda hasar olasılığı, zeminde patlatmanın oluşturduğu uyarıcı dalganın frekansı ile söz konusu binanın doğal frekansının birbirleri ile olan ilişkisine bağlıdır. Patlatmalarda en kritik durum zemindeki uyarıcı dalganın frekansının, bir veya iki katlı binalarda genellikle 5-10 Hz arasında değişen bina doğal frekansına eşit veya ondan büyük olduğunda oluşur. Bu durumda bina rezonansa girer ve

zemindeki uyarıcı (yer sarsıntısı) dalga geçip gittiği halde bina sarsılmaya devam eder. İşte insanların hissedip, endişeye kapılmalarına neden olan da budur. Bina rezonans halindeyken, parçacık hızı, sınır değerin oldukça altında ise binada hasar oluşmaz ama kişiler rahatsız olur. Fakat bina rezonans halindeyken parçacık hızı da yeterli büyüklükte (genlikte) ise binada hasar oluşur (Siskind ve ark., 1980; Bilgin, 1998; Kahrıman ve ark., 1999).

Patlamadan kaynaklanan yer sarsıntularından (titreşimler) arazi yapısının etkisi olması sebebiyle titreşimlerin yayılma özelliklerinin belirlenmesi çok değişkenli ve zor bir işlemdir. Bu çalışmada, patlatma kaynaklı yer sarsıntuların iki farklı yönde bulunan yerleşim yerleri boyunca farklı yayılma katsayıları değerlendirilmiştir.

## **2. PATLATMADAN KAYNAKLANAN YERSARSINTISINI AZALTMAK İÇİN ALINABİLECEK ÖNLEMLER**

Patlatma ile oluşan sarsıntılar taşıdıkları enerji düzeyi oranında hasara neden olurlar. Çevreye verilen hasarlarda, tek başına sarsıntuların taşıdıkları enerji düzeyi sorumlu olmamaktadır. Bu olayda çevre binaların yapım tekniği, boyutları kadar üzerinde oturdukları zemin özellikleri de etkin olabilmektedir. Bu nedenler ile sarsıntıya bağlı hasar etütlerinde çok kapsamlı çalışmak gerekir. Hasar etütlerinde, batılı ülkelerde saptanmış limitler bulunmaktadır. Ülkemizde son yıllarda bu konuda yönetmelik ve saptanmış limitler bulunmaktadır. Bu bilgiler ışığında yersarsıntısını azaltmak için (Bilgin, 1998; Kahrıman ve ark., 1999; ÇŞB, 2010);

- Basamak patlatmasında uygun gecikme aralıklı ateşleme sistemleri kullanılır.
- Her gecikme aralığında atılacak patlayıcı miktarına kısıt getirilerek, sarsıntı düzeyi denetlenir.
- Patlatma noktası ile yapılar arasındaki zemin etüt edilerek, amplifikasyon ve polarizasyon ile sürpriz yapılabilecek jeolojik bulguların olup olmadığı araştırılır.
- Arazi katsayıları tespit edilerek, uygun ölçekli mesafeler tayin edilir.
- Çevredeki yapılar incelenir ve bu yapılara hasar vermemek için ilk dört maddedeki bulgular kullanılarak uygun patlatma tasarımı yapılır ve önerilir.

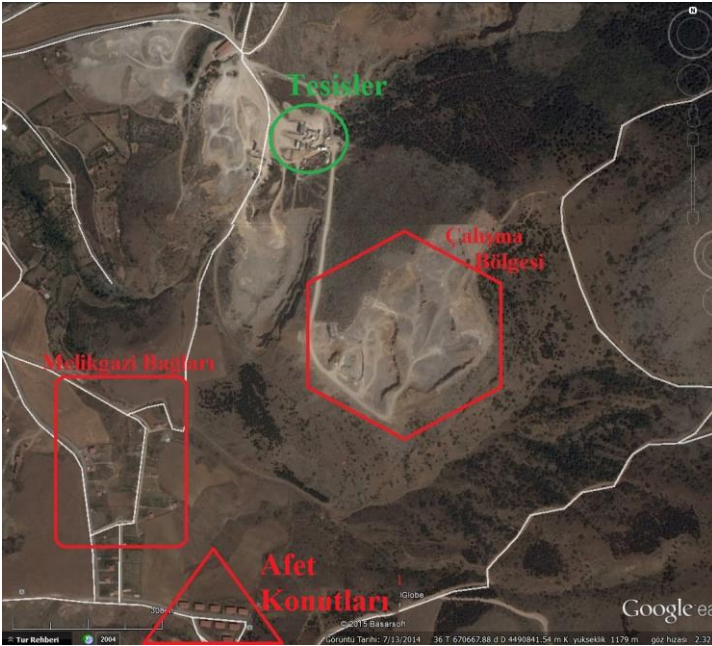
## **3. ÇALIŞMA SAHASI**

Çalışma sahası olan Çorum Belediyesine ait taş ocağı, Çorum il merkezinin 3 km doğusunda ve deniz seviyesinden 1100 m yükseklikte yer almaktadır (Şekil 1). Çorum Belediyesi taş ocağı, Çorum-Samsun Yolunun 2400 m güneyinde, Çorum Merkez Bahçelievler Mahallesi, Nadık bölgesinin 1600 m doğusunda, Melikgazi

bağlarının 360 m kuzeydoğusunda, Afet konutlarının 470 m kuzeydoğusunda, Melikgazi Türbesine 400 m güneydoğusunda bulunmaktadır Çalışma sahası ile Belediye Taş ocağına ait Şantiye binası, Trafo ve Kantar gibi binalara olan uzaklık ise 340-550 m arasındadır (Şekil 2).



Şekil 1. Çalışma bölgesinin topoğrafik haritası



Şekil 2. Çalışma bölgesinin uydu görüntüsü

#### 4. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Bu araştırma kapsamında, Çorum ili Merkez ilçesinin yakınında agrega üretimine yönelik faaliyet gösteren Belediyeye ait taş ocağındaki patlatmalı kazıların, söz konusu ocağın yakınında bulunan Bağ evleri ve Afet konutlarında hasarlara neden olabilecek seviyelerde olup olmayacağı konusunda değerlendirme yapılması amacıyla titreşim ölçümleri yapılmıştır. Alman titreşim ölçümlerine göre yapılan analizler sonucunda saha sabitleri elde edilmiş ve bu saha sabitleri kullanılarak söz konusu ocak yakınında bulunan Melikgazi Bağ evleri, Afet konutları ve şantiye binalarına zarar vermeyecek patlatma tasarımı önerilmiştir.

Ocakta her bir kademe yüksekliği bir birinden farkı olacak şekilde düzenlenmiştir. Dolayısıyla, her bir patlatmada kullanılacak gecikme başına patlayıcı miktarı da çok değişmektedir. Patlatma çalışmasında, delme işlemi Atlas Copco marka delici makine ile yapılmıştır. Patlayıcı madde olarak kuru ticari ANFO kullanılmıştır. Patlatma sonucu çıkan titreşim verileri için son atım hariç bir adet InstanTEL Micromate model sismometre aleti kullanılmıştır. Son atımda ise hem InstanTEL Micromate hem de 2 adet InstanTEL Minimate Blaster model sismometre aletleri ile birlikte kullanılmıştır. Elde edilen veriler bilgisayar programlarıyla değerlendirilip, büro çalışmalarıyla raporlandırılmıştır.

Çalışma sahasında egemen kaya birimi kireçtaşıdır. Kireçtaşının kazı zorluğu derecesini belirlemek amacıyla arazide Schmidt çekici deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda, elde edilen sertlik değerlerinin, Uluslararası Kaya Mekaniği Deneyi (ISRM, 1992) tarafından önerilen Schmidt çekici sertlik skalasındaki yerine göre “ÇOK SERT” kaya sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, laboratuvar da tek eksenli basma dayanımı, ağırlıkça su emme, birim hacim ağırlık ve porozite değerleri tespit edilmiştir. Yapılan deney sonuçları Çizelge 1’te verilmiştir. Belirlenen kaya özellikleri ve saha gözlemleri ile birlikte üretim sürecinde patlatmalı kazının kaçınılmaz olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 1. Kireçtaşı örneğinin fizikomekanik özellikleri

<b>Fizikomekanik Özellikler</b>	
Birim hacim ağırlık ( $g/cm^3$ )	2.68
Özgül ağırlık	2.73
Ağırlıkça su emme oranı (%)	0.3
Görünür porozite (%)	0.65
Doluluk oranı (%)	99
Mohs Sertliği	3.5-4
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	110.5
Schmidt Darbe Dayanımı	59



Bölgede yapılan patlatma işleminde patlayıcı madde olarak ANFO, yemleme de EMULITE dinamit kullanılmıştır. Ateşleme ise nonel gecikmeli kapsüllerle yapılmıştır. Delikler arası mesafe ve yük mesafesi 2.5x2.5m olarak alınmış ve delikler şaşbeş düzende delinmiştir. Sıkılama boyu 2.5m olarak ve dip delgi miktarı 1m olarak uygulanmıştır. Gecikme başına maksimum şarjın belirlenmesinde; yemlemede kullanılan dinamitin ağırlığı (0.5 kg) ve ANFO göz önüne alınmış olup, atım yeri ile ölçüm istasyonu arasındaki mesafe ise GPS ile bulunmuştur. Çalışma kapsamında, işletmenin patlatma dizaynı, işletmelerin yetkilileri tarafından sistematik olarak uygulanan şekliyle sürdürülmüştür. Titreşim ölçümlerine esas olacak söz konusu atımlarda, sadece gerekli kantitatif ölçüm ve gözlemler yapılmıştır.

Ölçekli mesafenin belirlenmesinde benzer araştırmalarda en sık kullanılan kareköklü eşitlikten yararlanılmıştır (Duvall ve Fogelson, 1962).

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

Burada;

SD: Ölçekli mesafe (m/kg<sup>1/2</sup>)

R: Patlatma noktasına uzaklık (m)

W: Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg)

Diğer taraftan, parçacık hızının önceden tahmin edilebilmesi için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Siskind ve ark., 1980).

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

Burada;

PPV: Maksimum parçacık hızı (mm/s)

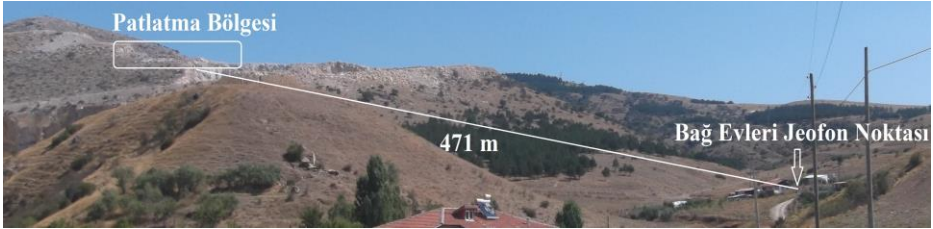
K: Arazi iletim katsayısı (kayacın homojenliğine, fayların ve çatlakların varlığına bağlı sabit)

$\beta$  : Arazi sönümlenme katsayısıdır (özel jeolojik sabit) (Siskind ve ark., 1980; Olofsson, 1988).

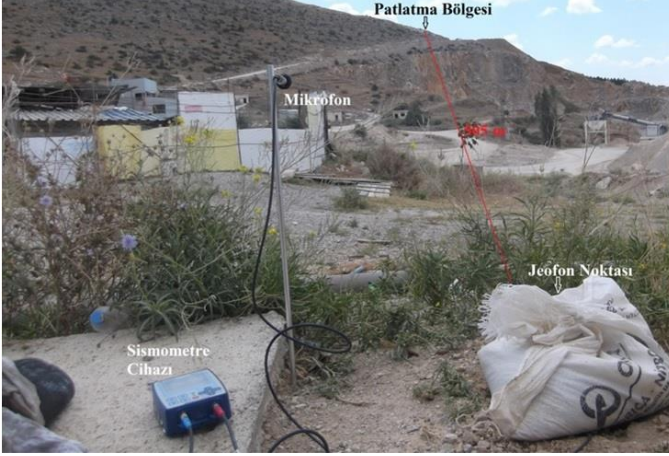
Araştırmada; 14 adet test atımına ait toplam 16 olay titreşim ölçer cihazlar tarafından kaydedilmiş ve çizelgelere aktarılmıştır. Titreşim ölçer cihazlar, Belediye taş ocağında yapılan atım noktaları ile Melikgazi bağ evleri, Afet evleri ve ocağa ait tesisler arasında muhtelif uzaklıklarda GPS ile belirlenen ölçüm istasyonlarına Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'deki gibi sistematik bir şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 3. Patlatma ve Güneybatı yönünde Jeofon istasyon noktalarının GPS ile belirlenmesi



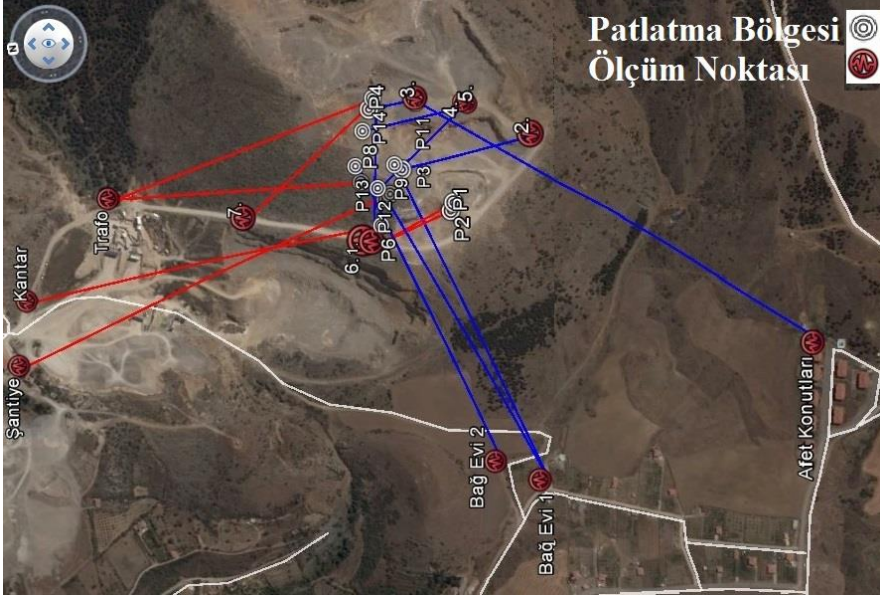
Şekil 4. Patlatma ve Güneybatı yönüne doğru Jeofon istasyonu arasındaki mesafe



Şekil 5. Patlatma ve Kuzeydoğu yönüne doğru Jeofon istasyonu arasındaki mesafe

## 5. ÖLÇÜM SONUÇLARI

Çalışma alanında toplam 14 atım için ölçüm istasyonlarının yerleri önceden belirlenerek Şekil 6'da mesafelerle birlikte detaylı olarak gösterilmiştir. Atımlar sonucunda cihazlar tarafından kaydedilen toplam 16 olayın maksimum parçacık hızlarını ve frekans değerlerini içeren bilgileri ve istasyon noktaları ile atım noktaları arasındaki mesafeler, Çizelge 2'de ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 6. Patlatma ve Ölçüm noktaları arasındaki mesafelerin gösterimi

Çizelge 2. Patlamalar ile ilgili titreşim ölçer (sismograf) ölçüm sonuçları

Atım No	İstasyon No	Maksimum Parçacık Hızı (PPV)	Frekans (f)	Hava Şoku	Gecikme Başına Toplam Şarj Miktarı	Mesafe (R)	Ölçekli Mesafe (SD)
		mm/sn	HZ	dB	kg	m	m/kg <sup>1/2</sup>
1	1	33.26	37	133.6	65.4	98	12,11
2	1	37.24	34	133.3	65.4	108	13.35
3	2	6.534	7.5	121.2	60	191	23.78
4	3	57.54	43	129.1	70	77.2	9.23
5	Trafo	4.792	19	112.4	94.7	335.3	34.5
6	Kantar	1.647	12	112.7	76.2	504.9	57.84
7	Şantiye	1.103	8.3	108.3	100.6	573.1	56.9
8	4	4.918	17	130.9	71.1	146.7	17.40
9	Bağevi 1	0.394	7.3	120.4	55	479.6	64,67
10	Bağevi 1	0.638	11	122.6	99.7	456.4	45.70
11	Afetevleri	0.276	9.7	107.4	67.5	625.0	76.10
12	5	6.093	15	141.7	67	141.7	17.31
13	Bağevi 2	0.804	7.6	117.6	102.5	413.7	40.86
14	6.	1.524	18	122.5	71	185.6	21.72
	7.	5.842	43	116.9	71	228.8	27.15
	Trafo	2.577	17	99.03	71	375.7	44.59

## 6. ÖLÇÜM SONUÇLARININ ANALİZİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

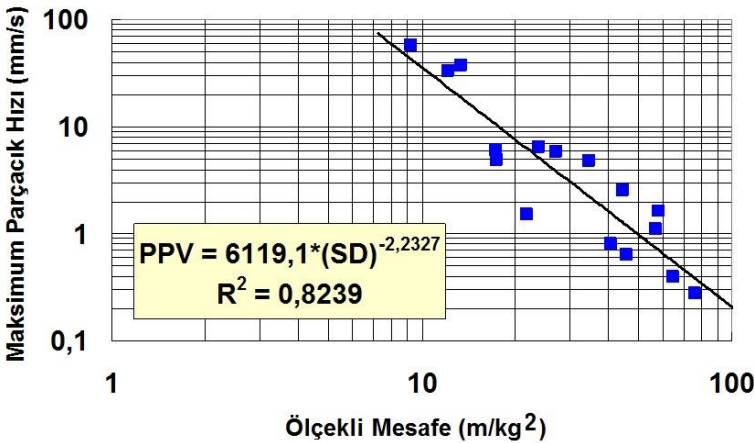
### 6.1. Ölçüm Sonuçları

Ölçüm sonuçlarından, gecikme başına düşen en fazla patlayıcı miktarı ve patlatma bölgesi ile ölçüm istasyonu arasındaki uzaklıklar dikkate alınarak türetilen ölçekli mesafe ile parçacık hızı arasındaki ilişki incelenmiştir.

Çizelge 2'deki verilerden hareketle; ölçülen en yüksek parçacık hızı ile ölçekli mesafe veri çiftleri kullanılarak yapılan regresyon analizi sonucunda, bölgede yapılacak kontrollü patlatma tasarımlarında parçacık hızı tahmininde kullanılması önerilen çalışma sahasının sabitleri aşağıdaki formülle ifade edilmiştir (Kahriman ve Ceylanoglu, 1996, Kahriman, 2004; Uyar Aldaş ve Bilgin, 2004).

$$PPV = K * (SD)^{-\beta} \quad (3)$$

Literatüre uygun olarak oldukça iyi bir ilişki katsayısıyla elde edilen bu fonksiyonun en yüksek parçacık hızına karşılık gelen ölçekli mesafe ilişkisinin logaritmik grafiksel görünümü de Şekil 7'de gösterilmiştir. Buna göre, çalışılan saha sabitleri sırasıyla  $K = 6119.1$  ve  $\beta = -2.2327$  olarak bulunmuştur. İyi bir ilişki katsayısı ( $r^2 = \% 82.39$ ) ile tespit edilen bu denklem ile işletmede titreşim ölçer kullanılmadığı durumlarda herhangi bir atımdaki gecikme başına kullanılacak belirli miktardaki bir patlayıcı maddenin yaratacağı titreşim hızının belirli bir uzaklıktaki değerinin ne olacağını belirlemede kullanılabilir. Ancak arazide, ileriki zamanlarda yapılacak atımların da kayıt edilerek daha fazla veri elde edilmesi ve ilişkinin güncelleştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 7. Ölçekli mesafe ile maksimum parçacık hızı arasındaki logaritmik ilişki

Parçacık hızı tahmin denkleminin güvenilirliğinin sağlam olması için kararlılık katsayısının ( $r^2$ ) değerinin 0.7 den büyük olması gereklidir. Yapılan regresyon analizi sonucunda 0.7'den daha düşük bir  $r^2$  değeri elde edilmiş ise bu durum sahadan sağlanan veri çiftleri arasında tutarsızlığın ya da problemin var olduğunun işaretidir (Costa ve ark., 1996).

## 6.2. Titreşim Ölçümlerinin Yönel Değerlendirmesi

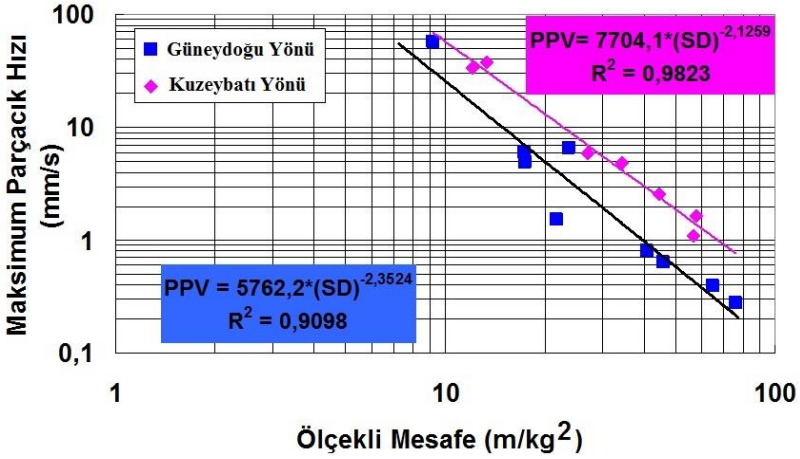
Titreşimin yayılma eğiliminin belirlenmesi ölçekli mesafe bileşke partikül hızı grafiğine en uygun üstel fonksiyon yaklaşımı yapılarak gerçekleştirilmektedir. Bu durumda titreşime neden olan patlayıcı miktarı ve titreşim kaynağından olan mesafe ana değişken olmak üzere diğer etken parametreler fonksiyonların katsayısı ile ifade edilmek zorunda kalmaktadır (Karakuş, 2010).

Arazi ve sönümlenme katsayı olarak tariflenen bu katsayılar özünde titreşim ölçümünde elde edilen değerler ile üretilen üstel yakınsama fonksiyonun katsayı değerleridir. Diğer taraftan titreşimin yayılma özelliğini belirleyen patlayıcı miktarı ve mesafe titreşim hızı ile doğrusal bir ilişki gösterse de bazı jeolojik ve fiziksel koşullarda patlayıcı miktarı ve mesafe etkileşiminden bağımsız titreşimin sönümlendiği veya beklenmeyen artışlara neden olduğu gözlemlenebilir. Örneğin ana kütle içinde yüzeyden gözlenemeyen sınırlayıcı bir süreksizlik titreşim yayılmasını beklenmeyen bir şekilde sonlandırabilir veya yine ana kütle içerisinde titreşimin farklı hızlarda yayılmasına neden olan yapı farklılıkları titreşim hızının beklenmeyen bir şekilde artmasına neden olabilir. Titreşim yayılma hızının artması veya azalmasına neden olan bu tür yapılarda üstel yaklaşım fonksiyonunun katsayıları önem kazanmakla birlikte belirsizlikleri de beraberinde getirmektedir. Titreşimlerin yönel değişimlerinin değerlendirilmesi de bu katsayı değerlerinin değişmesiyle ifade edilebilir (Karakuş, 2010).

Sahanın Güneybatı Bölgesi ve Kuzeydoğu Bölgesi yönündeki ölçülen titreşim katsayıları değerlendirildiğinde, aynı koşullarda gerçekleştirilen patlatmalar için farklı titreşim yayılma özellikleri gösterdiği tespit edilmiştir. Bu fark, iki bölgenin farklı süreksizlik özelliklere sahip olmasından veya patlatmanın yönel değişiminden kaynaklanabilir. Sahanın arazi yapısının hem bir süreksizlik hem de bir vadi ile ikiye ayrılması sebebiyle farklı katsayılar bulunması titreşimin yönel değişimini ifade edebilir.

Atım noktasından güneybatı ve kuzeydoğu yönünde patlatma sonucu oluşan titreşim değerleri ölçekli mesafe bileşke parçacık hızı grafiği Şekil 8'de verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi aynı koşullarda gerçekleştirilen atımların güneybatı yönünde sönümlenme katsayısı  $K = 5762.2$ ;  $\beta = -2.3524$  olarak % 90.98 regresyon

katsayısı ile kuzeydoğu yönünde ise atımlardan elde edilen titreşim ölçüm sonuçlarından arazi ve sönümlenme katsayıları  $K = 7704.1$ ;  $\beta = -2.1259$  olarak % 98.23 regresyon katsayısı ile belirlenmiştir. Yönsel değişim olacağı gözetilmeksizin analiz yapılması durumunda elde edilen bileşke parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi elde edilen arazi ve sönümlenme katsayıları sırasıyla  $K = 6119.1$ ;  $\beta = -2.2327$  olarak % 82.39 regresyon katsayısı ile belirlenmiştir. Bu katsayıların değerleri içerisinde patlatma dizayn parametrelerini etkisini içerdiği gibi aynı zamanda titreşimin yayıldığı ortamdaki zemin yapısı ve süreksizlik özelliklerinin değişimlerini de içermektedir.



Şekil 8. Yönsel açıdan ölçekli mesafe ile maksimum parçacık hızı arasındaki logaritmik ilişki

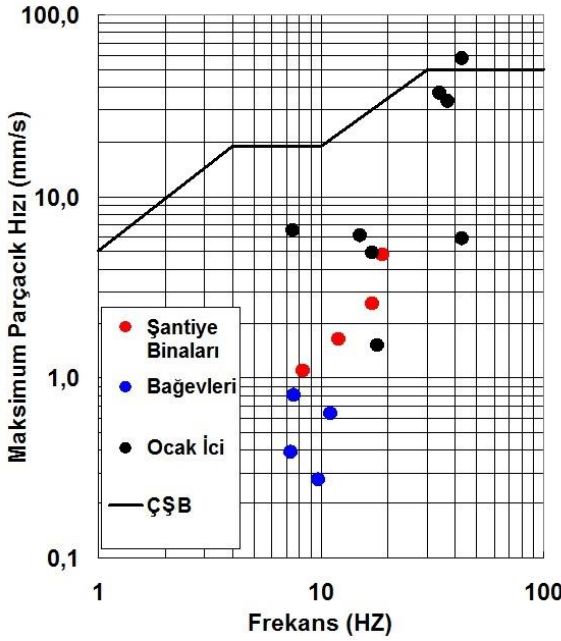
### 6.3. Hasar Riski Değerlendirmesi

Bu çalışma kapsamında; cihazların kaydettiği parçacık hızı bileşenlerinin oluşum frekansları dikkate alınarak, Bağ evleri, Afet Evleri ve ocağa ait binalara etki derecelerini tahmin ve mukayese etmek amacıyla, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2010) Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği Norm'larına göre değerlendirilmiştir.

Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliğine göre atımlarda ölçülen maksimum parçacık hızı ve karşılık gelen frekans değerleri, mukayese edilmek üzere Şekil 9'deki grafik üzerinde de topluca gösterilmiştir. Şekil 9'da görüldüğü üzere, hem güneybatı yönündeki Melikgazi Bağ evleri ve Afet konutları (mavi noktalar) hem de kuzeydoğu yönündeki Şantiye binaları (kırmızı noktalar) ölçüm istasyonlarında kaydedilen değerler, hasar limit değerlerinin altında olmuştur. Tüm ölçümlerden sadece 4. atıma çok yakın seçilen

3 numaralı ölçüm istasyonunda kaydedilen değer, hasar limitlerinin üzerinde olmuştur. Fakat, bu ölçüm noktasının ocak içerisinde gerçekleşmesi sebebiyle dikkate alınmasına gerek olmadığı anlaşılmıştır. Özellikle, Bağ evleri ve Afet konutlarına yakın istasyonlarda kaydedilen değerlerin hasar limitinin çok altında kaldığı görülmektedir.

Gürültü değerleri arasında herhangi bir ilişki elde edilmemesine rağmen sadece 12. atımda 5 no'lu ölçüm noktasında 141.7 dB ile USBM (2009)'nin maksimum sınır olarak koymuş olduğu 140 dB değerinin üzerine çıktığı görülmektedir. Ancak bu değerler de, 5 no'lu ölçüm noktası ocak içerisinde olduğundan, Bağ evleri ve Afet konutlarına göre çok daha uzak olup dikkate alınacak bir durum olmadığı görülmüştür.



Şekil 8. Maksimum parçacık hızlarına karşılık gelen frekansların dağılımı ve Ulusal normlara (ÇŞB, 2010) göre durumu

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Patlatmanın neden olduğu yer sarsıntılarının, arazi yapısı ve süreksizliklere bağlı olarak farklı yönlerde farklı yayılma özelliği gösterip göstermediğinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada, yapılan patlatma bölgesi ile riskli bölge olarak tariflenen yerleşim yerleri yönünde ve tesis ait idari binaları bulunduğu yöndeki bölgeye etkisi incelenmiştir. Kuzeydoğu bölgesi ve güneybatı bölgesi olarak

adlandırılan bölgelerde sırasıyla 7 ve 9 adet olmak üzere toplamda 16 adet araştırma patlatması yapılmış ve titreşim ölçer cihazlar ile farklı mesafelerden parçacık hızları ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde, ÇŞB (2010) tarafından önerilen ölçekli mesafe-bileşke parçacık hızı ilişkisi ve modeli kullanılmıştır.

Sahada yapılan ölçümlerden elde edilen 16 adet titreşimin oluşturduğu maksimum parçacık hızları ve frekansları ile saha sabitleri (K) 6119.1 ve ( $\beta$ ) -2.2327 olarak tespit edilmiştir. Maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe değeri arasındaki ilişki katsayısı ise  $r^2 = 0.8239$  olarak elde edilen yaklaşım, herhangi bir atımdaki gecikme başına kullanılan belirli miktardaki bir patlayıcı maddenin yaratacağı titreşim hızının belirli bir uzaklıktaki değerinin ne olacağını tahmin etmede rahatlıkla kullanılabilir.

Bu çalışmada, elde edilen sonuçlara göre farklı bölgelerde yapılan patlatmaların tahmin edilmesinde kullanılan ve deneysel verilerle tespit edilen arazi ve sönümlenme katsayıları arasında arazi yapısına bağlı değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Kuzeydoğu yönünde yapılan ölçümlerden elde edilen değerler ile ilişki katsayısı ( $r^2$ ) 0.9823 ile saha sabitleri (K) 7704.1 ve ( $\beta$ ) -2.1259 olarak, Güneybatı yönünde yapılan ölçümlerden elde edilen değerler ile ilişki katsayısı ( $r^2$ ) 0.9037 ile saha sabitleri (K) 5762.2 ve ( $\beta$ ) -2.3524 olarak tespit edilmiştir. Bu değişikliğin ana nedeni arazinin fiziksel yapısı olmakla birlikte arazi yüzeyinde gözlenemeyen ve yine katsayılar içinde değerlendirilen farklı jeolojik yapılar (Süreksizlik ve topoğrafya) olabileceği kanısı hâkim olmuştur.

Yapılan patlatmalar sırasında hava şoku değerleri (çok yakın kurulan istasyonlarda ölçülen biri hariç), hem yerleşim yönünde hem de şantiye binaları yönünde 99 - 123 dB arasında kaydedilmiştir. Bu değerler, yapılacak atımların seçilen ölçüm istasyonlarına göre 600m'den daha uzakta bulunan çevredeki tesis ve yapılarda herhangi bir hasar yaratmayacağı gibi, cam kırılmaları, sestan rahatsız olma gibi durumlarının da meydana gelmeyeceği anlaşılmıştır.

Bu çalışmada ortaya konan arazi yönüne bağlı yer sarsıntısı değerlerinin değişimin varlığını tam olarak ortaya koymak ve netleştirmek için, daha fazla sayıda ve bu çalışmada yapılmayan diğer yönlerde de yapılacak ilave yer sarsıntı ölçümlerinin yapılması gerekliliği ortaya koymuştur.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Üniversite-Kamu İşbirliği örneği olarak Çorum Belediyesinin “Çorum İçin Bir Proje Var” kapsamında yapılan bir araştırma projesi ile yapılmıştır. Bu araştırma sırasında, gerek arazi çalışmalarında gerekse diğer faaliyetlerde her türlü



yardımda bulunan başta Çorum Belediye Başkanı Muzaffer Külcü olmak üzere Belediyedeki diğer yetkililere ve Belediyenin patlatma işlemlerini gerçekleştiren yüklenici firma olan ÖZKAR İnşaat ve Nakliyat şirketi yetkilerine teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- Bilgin, 1998. TKİ Çan Linyit İşletmesi'nde patlatmaları yol açtığı çevre sorunlarının giderilmesi, *Araştırma Projesi*, Ankara.
- Costa, E.S., Ayderes, S. 1996. Practical way to reduce environmental rock blasting problems. *Proceedings of the Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production*, 291-297, Cagliari, Italy.
- ÇŞB, 2010. *Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği*. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Dowding, C.H., 1985, *Blast Vibration Monitoring and Control*, Prentice-Hall, USA.
- Duvall W.I., Fogleson, D.E. 1962. *Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibration*", USBM-I 5968.
- Erkoç, Ö.Y. 1998. Patlama ile çevreye verilen sarsıntılar ve hasar kriteri üzerine bir araştırma, 3. *Delme-Patlama Sempozyumu*, 129-139, Ankara.
- ISRM, 1992. Suggested method for blast vibration monitoring, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstract* 29(2): 145-146.
- Jimeno, C.L., Jimeno, E.L. 1995, *Drilling and Blasting of Rock*, A. A. Balkema, Brookfield,, Netherlands.
- Kahrıman, A., Ceylanoğlu, A., 1996. Blast design and optimization studies for a celestite open-pit mine in Turkey, *Mineral Resource Engineering*, 5(2), 93-100.
- Kahrıman, A., Görgün, S., Karadoğan, A.K., Tuncer, G., 1999. Taşocaklarında patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntısının ölçülmesi ve analizi, 2. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, 129-142, İstanbul.
- Kahrıman, A., Karadoğan, A.K., Görgün, S., Tuncer, G., 2001. Açık ocak basamak patlatmalarından kaynaklanan yer sarsıntısı hızının tahmini: Çan linyit işletmesinde örnek bir çalışma, *Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi-TUMAKS 2001*, 29-37, Ankara.
- Kahrıman, A., 2004. Analysis of parameters of ground vibration produced from bench blasting at a limestone quarry, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, 887-892.
- Karakuş, D., 2010. Patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin yönsel değişiminin araştırılması, *Mühendislik Bilimler Dergisi*, DEÜ Mühendislik Fakültesi, 12(2), 30-43.
- Olofsson, S.O., 1988. *Applied Explosives Technology for Construction and Mining*, Sweden.

- Siskind D.E., Stagg M.S., Kopp J.W., Dowding C.H., 1980. Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting", RI 8507, *Bureau of Mines Report of Investigations*, USA.
- Uyar Aldaş, G.G. ve Bilgin, H.A., *Effect of Some Rock Mass Properties on Blasting-Induced Ground Vibration Wave Characteristics*, CIM Bulletin, (2004), 97(1079), 52-59.
- USBM RI 8507, 2009. Structure response and damage produced by groundvibration from surface mine blasting, Report No. RI 8507, Washington, USA.

# Mekanize Tünel Açmada Kullanılan Katkılar ve Çevresel Etkilerinin Araştırılması

## *Investigation of Additives and Environmental Effects in Mechanized Tunnel Boring*

C. Doğruöz, A. Uçar, H. Akçakoca, C. Şensöğüt

*Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya*

**ÖZET** Son yıllarda, yeraltı yapılarının önemi, teknolojinin ilerlemesiyle gün geçtikçe artmaktadır. Sektörde, yeraltında kullanılan tam cepheli tünel açma makineleri (TBM) ile beraber, yardımcı ekipman ve kazı yüzeyi mekaniğini iyileştirmede etkili olan özel katkılar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu katkılar formasyonun özelliğine, dayanımına, malzemenin cinsine ve diğer bazı spesifikasyonlara bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca söz konusu bu malzemelerin aynı zamanda kazı yüzeyinin optimum akış biçimini şekillendirmek, kesici kafadaki disklerin aşınmasını azaltmak, kazı yüzeyinin kesici kafaya yapışmasını engellemek ve kırıntıların nakliyesini kolaylaştırmak amacıyla da kullanıldığı bilinmektedir. Bu çalışmada, TBM'lerin genel çalışma prensibine bağlı olarak kullanılan katkılar ile bunların çevresel etkileri ve alınması gereken önlemler detaylarıyla verilmiştir.

**ABSTRACT** The importance of underground structures is increased with the technology advancing in recent years. In sector, together with the implementation of the tunnel boring machines (TBM) in underground, effective special chemicals are widely used to improve the auxiliary equipment and excavation face mechanics. These chemicals are varied according to the formation feature, strength, type of material and some of the other specifications. On the other hand, It is also known that these chemicals are utilized to form the optimum flow condition of excavation surface, reduce the wear of discs of cutter head, prevent the excavation surface adhesion on cutter head and facilitate the fragment transportation. In this study, chemicals used and their environmental effects and some precautions to be

taken for the future works were given in details depending on the TBM's general working principles.

## 1. GİRİŞ

Madencilik ve inşaat sektöründe tünelciliğin önemi, teknolojik gelişmelere paralel olarak gün geçtikçe artmaktadır. Büyük şehirlerde veya yoğun nüfuslu yerleşim yerlerinin olduğu bölgelerde ulaşım tünelleri, özellikle metro tünelleri, elektrik, su, doğalgaz, telefon, su gibi önemli amaçlara yönelik çalışmaların uygulamaya geçirilmesi açısından kazı yöntemlerinin doğru belirlenmesi çok önemlidir. Bununla beraber kazı esnasında seçilen yöntemin çevresel etkilerinin de araştırılması, analizlerinin yapılması ve insan sağlığına ve doğaya zarar vermemesi ayrıca önem arz etmektedir. Bilindiği üzere tünel açma yöntemleri, en temelde delme patlatma ve mekanize kazı yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Mekanize kazı yöntemleri ise kendi arasında kısmi kesit ve tam kesit kazısı olmak üzere iki ana grupta toplanabilir. Tam kesit kazı yönteminin temel bileşeni TBM'ler ve bu makineler ile kazı sırasında, zeminin iyileştirilmesi, sert formasyonun yumuşatılması ve yumuşak zonların da ortalama sertlik değerine getirilmesi amacıyla killer ve özel kimyasallar kullanılmaktadır. Bu katkılar amaca yönelik ve doğru kullanıldığında olası çevresel etkilerinin azaltılması ve yeraltında kazı esnasında toz, yeraltı sularına karışma gibi parametrelerin azaltılabilirliği söz konusu olabilmektedir.

Dünyada ve ülkemizde çeşitli nedenlere bağlı olarak yüksek oranlarda zemin kazıları yapılmaktadır. Bu kazıların bir çok etkisi olmakla birlikte en büyük etkileri de çevresel etkilerdir. Bunların bilinmesi alınması gereken önlemler açısından önemlidir. Bu çalışmanın temel amacı da söz konusu çevresel etkilerin belirlenerek alınacak önlemlere açıklık getirmektir. Ayrıca ülkemizde daha önceden böyle bir çalışmanın yapılmamış olması, bu çalışmanın önemini ortaya koymaktadır.

## 2. MEKANİZE SİSTEMLER İLE TÜNEL AÇMA

Mekanize kazı yöntemlerinden parçası olan tam kesit kazı yapan TBM'lerin ilk yatırım maliyetleri yüksektir ancak tam cepheli tünel açabilmeleri önemli bir üstünlüğüdür. Bu makineler, yeraltı tasmanlarını önleme kabiliyetleri, sessiz, titreşimsiz ve hızlı çalışması gibi özellikleri ile günümüzde sıkça tercih edilen yeraltı tünel açma makineleridir. Formasyonun özelliğine bağlı olarak sert, orta ve yumuşak olmak üzere değişik yüzeylerde kullanılan TBM'ler, kafa dizaynı, keski tipleri, tahkimat sistemleri, makine tahrik sistemleri, makineyi dengeleme

sistemleri gibi parametrelere bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Bütün bu parametrelere bağlı olarak açılacak tünel boyunca kazılacak formasyonların önceden tespiti, kullanılacak TBM seçimi için en önemli faktörlerden birisidir (Tunçdemir, 1998).

### **2.1.Sert Formasyonlarda Kullanılan TBM'ler**

Sert zeminlerde kullanılan TBM'ler, şiltsiz, tek şiltli ve çift şiltli olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Şiltsiz TBM'ler, sert ve kendini tutabilen formasyonlarda kullanılırken tek şiltli olan TBM'ler tam daire şeklinde komple bir şiltli bulunan ve kompleks kayalarda kazı yapabilen TBM'lerdir. Çift şiltli TBM'ler ise sert ve kompleks zeminlerde kullanılabilme özelliğine sahiptir.

### **2.2.Yumuşak Formasyonlarda Kullanılan TBM'ler**

Bu makineleri, arazi dengeleme makineleri (EPB) ve çamur şiltli şeklinde genel olarak iki gruba ayırmak mümkündür. EPB makineleri, yapışkan olmayan ortamlarda ve yeraltı su seviyesi altında bulunan zeminlerde ve özellikle ilerlemeler sırasında stabilite kaybı kaçınılmaz olan formasyonlarda kullanılmaktadır. Ayrıca kendini kısa süreli bile tutamayan kayaların kazısında da bu makinelerden faydalanılmaktadır. EPB makineleri, çok sert kayalardan (diskli) çok yumuşak olanlarına (kalem kesikli) kadar, değişik kayaç ve zemin formasyonlarında kullanılmak üzere tasarımılandırılabilirler. Çalışmalarındaki basitlik ve uygulama alanlarının genişliğinden dolayı, giderek çamur makinelerin yerlerini almaktadırlar. Çamur şiltli adı verilen makineler ise arazinin çok akıcı olduğu veya tünel güzergahı boyunca böyle akıcı formasyonlara da rastlanabileceği durumlar için yapılmışlardır. Bu tip makineler, değişken devirli tam cephe kesme kafasına sahip, astarlara dayanarak itmek suretiyle kuvvet oluşturan tam bir şilt tasarımındadır (Bilgin, 1989).

## **3. KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ALINACAK ÖNLEMLER**

Mekanize kazı sırasında, sert ve yumuşak zeminlerde birtakım sorunlar ile karşı karşıya gelinebilir. Bu sorunlardan bazıları, sert zeminler için kazı esnasında kesici uçların ısınması ve aşınması, yumuşak zeminler için ise toprak reolojisindeki değişim, yeraltı su basıncı, tıkanma ve yapışma riski gibi malzemenin kesici kafaya yapışması ve nakliye engellemesi şeklinde belirtilebilir (Psomas, 2001; Langmaack ve ark., 2005; Martinotto ve ark., 2007).

Kazı yęınındaki toprağın basınç uygulamasını kontrol altında tutarken tünel kazı arınının dengelenmesi ve geçirimsiz olması için bazı özelliklere sahip olması

gereklidir. Ayrıca kesici kafa torkunun azaltılması ve kesici uçların aşınmasını azaltmak için toprağın bazı fiziksel özelliğe sahip olması önemlidir. Bu özellikler; değişmeyen arın basıncı, aşırı kazının minimize edilmesi, tünel arınından band konveyöre giden homojen malzeme akışının oluşturulması ve tork ile birlikte sürtünmenin azaltılması gibi faktörlerdir (Anagnostou ve ark., 1996).

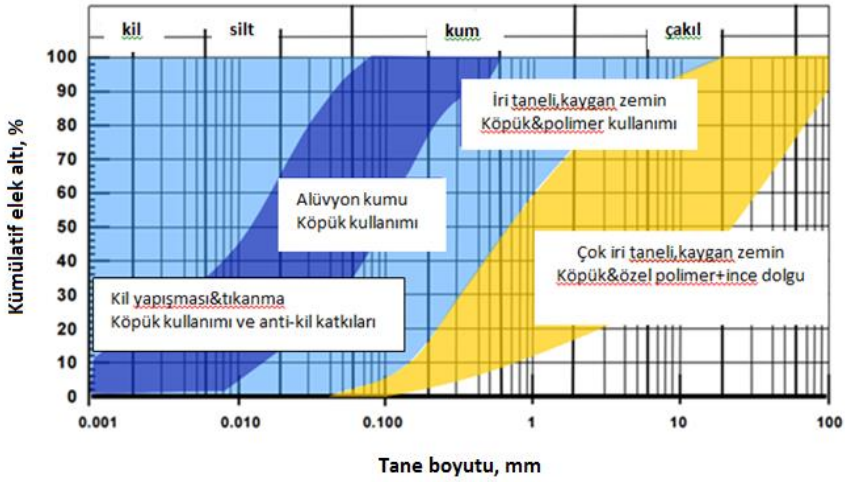
Bu problemler nedeniyle tünel ilerlemesi yavaşlamakta hatta bazı durumlarda da durmaktadır. Böylece kazı verimi düşerek yüksek maliyetlerle karşılaşabilmektedir. Bu sorunların çözümü için değişik kazı yöntemleri denenmekte, bazı durumlarda da çeşitli katkı maddeleri kullanımı yoluna gidilmektedir. Bunlarda yine ek maliyetler oluşturmakta fakat teknolojik olarak en uygun kazı yöntemin ve katkılarının az maliyet oluşturacak şekilde seçilmesi ve gerekli çözümlerin uygulanması önem arz etmektedir.

Kazı esnasında katkı kullanımı, ayrıca birçok farklı özellikteki toprak zeminlerde plastik yapışkanlık oluşturarak tünellerin kazı arınında toprağın basınç uygulamalarında mekanik ve hidrolik davranış değişikliği göstermesine yardımcı olmaktadır (Peila ve ark., 2010).

#### **4. TBM KAZISI SIRASINDA KULLANILAN KATKI MADDELERİ VE GÖREVLERİ**

Yeraltında açılan tünellerin kazısı, formasyonların sertlik derecelerine ve mekanik özelliklerine bağlı olarak kazı esnasında bazı katkıların kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bu katkılar zemini iyileştirmede, sert formasyonların yumuşatılmasında veya yumuşak zeminlerin belirli bir sertlik derecesine getirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca kazı işleminden sonra tahkimat amaçlı bazı yöntemler de mevcuttur. Geçmişte beton içerisinde hasır donatılar kullanılırken günümüzde özellikle 1970'li yıllardan sonra püskürtme beton uygulamaları yaygınlaşmıştır.

Zemin şartlandırmada kullanılan katkılar, killer (çoğunlukla bentonit) ve değişik kimyasallardan (yüzey aktif maddeler (köpük maddeleri), polimerler, dağıtıcılar) oluşmaktadır. Katkı seçimi temel olarak arazideki zemin türüne (Şekil 1), jeolojik özelliklere (yeraltı suyu, zemin geçirgenliği vb.), tünel açma makinesinin karakteristik özelliklerine, fiyatına, çevresel etkilerine (biobozunurluk, insanlara, hayvanlara ve bitkilere toksik etkileri) bağlı olarak değişmektedir (Efnarc, 2005; Avunduk, 2011; Merritt, 2004; Mulligan ve ark., 2001).



Şekil 1. Zemin koşullarına göre katkı kullanımı

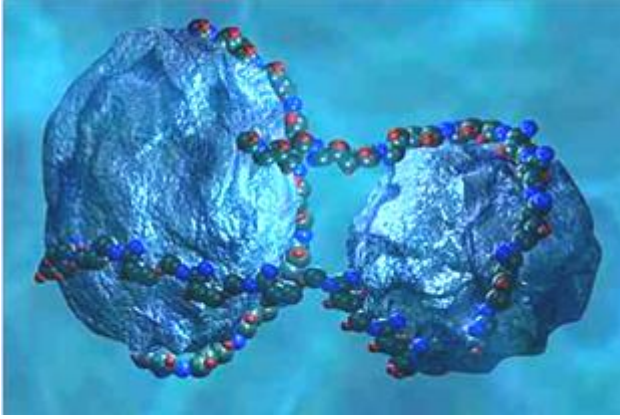
Kazı esnasında uygun katkı seçimi, kazı performansının artması, çevreye etkilerinin azaltılması ve makine ekipmanlarının aşınmasını minimize etmesi açısından çok büyük önem taşımaktadır (Efnarc, 2005). Bu maddeler ya ayrı ayrı ya da zemin şartlarına bağlı olarak uygun oranlarda birbirlerine karıştırılarak ta kullanılabilirler (Şekil 1) (Efnarc, 2005; Avunduk, 2011; Tokgöz ve ark., 2015). Örneğin, bentonit kili, kimyasalları (polimerler, köpükler vb.) desteklemek amacıyla zemine ilave edilebilir, böylece kimyasallar bentonit ile karışırken daha mukavim hale gelecektir. Diğer bazı kimyasalların da zemine ilave edilmesiyle ayrışma önlenirken toprak geçirgenliği azaltılabilir (Efnarc, 2005; Merritt, 2004). Kullanılan kimyasal katkılar çoğunlukla organik kökenlidir ve bunlar da, iyonlaşabilenler (anyonik, katyonik), iyonlaşamayanlar ve amfoterik olmak üzere üçe ayrılırlar.

#### 4.1. Tünelcilikte Kullanılan Polimerler

Polimerler özellikle, çok sayıdaki küçük kimyasal (yapı taşları) veya monomerlerin birlikte bağlanmasıyla oluşturulan geniş ve uzun-zincirli moleküllerdir. Bir polimer malzemesi, polimer zincirinin uzunluğu, polimer zincirleri arasındaki yapı ve varlığına ve moleküllerin yapısal gruplarının varlığı veya yokluğuna bağlı olarak farklı şekillerde olabilirler. Polimerler doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılırlar. Tünelcilikte kullanılan doğal polimerler, nişastaları, şekerleri, selüloz ve proteinleri içerirler ve doğada yaygın olarak bulunurlar. Tünelcilik uygulamalarında kullanılan yapay polimerler ise; poliakrilamidler (PA) ve poliakrilitlerdir ki kısmen hidrolize poliakrilamidler (PHPA), karboksimetil selüloz (CMC) ve polianyonik selüloz (PAC)'dur. Zeminin

şartlandırılması ve yağlanması için kullanılan en önemli polimer grupları poliakrilamidler (PA) ve türevleridir (Psomas, 2001; Milligan, 2000; Merritt, 2004; Langmaack, 1999).

Flokülasyonun esas olarak köprüleme mekanizması ile oluştuğu düşünülürken polimer moleküllerinin kendilerini mineral parçacıklarının yüzeyine bağladığı bilinmektedir. Parçacıklar oluşan halkacıklara çarparken birbirleriyle karışarak parçacıkların birlikte kilitlenmesine neden olmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Flokülasyon köprüleme mekanizması (Drewes, 2009)

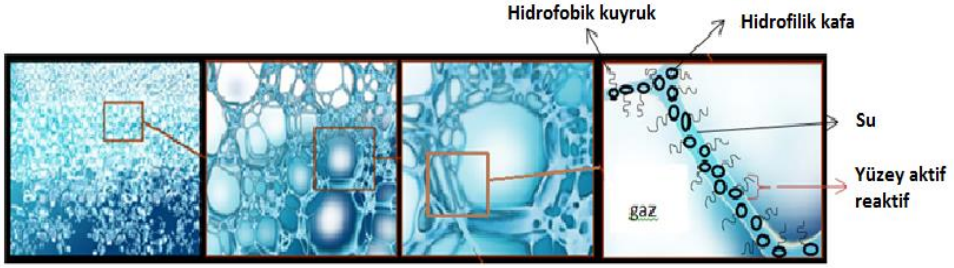
Su emici polimerler, yüksek seviyeli çapraz bağlı ve çok yüksek molekül ağırlıklı PA'lardır. Sonuçta, bunlar polar amit ve akrilat grupları olmasına rağmen, suda çözünmeyi durdurur, sadece su emer ve şişer. Ağırlığının 500-600 kat su emme kapasitesine sahip olabilirler.

Polimerler genellikle performans arttırmak için bentonit sıvıları veya çamurları içinde kullanım alanı bulur. Çamura şekil kazandırmak, kayganlık kazandırmak, EPB nakliye bölgesine akan suyu kontrol etmek, dağılmış yapıyı korumak amacıyla geliştirilirler. Alternatif olarak ise, polimerler kendi başına ya da köpük formülasyonlarında toprakları plastikləştirmek için nispeten küçük oranlarda katılabilmektedir (Milligan, 2000).

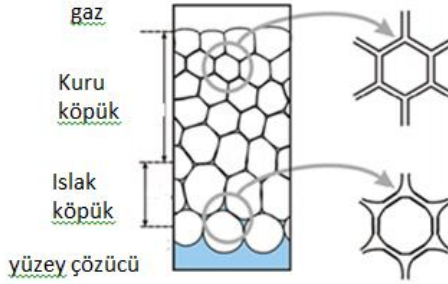
#### 4.2. Köpük Kullanımı

Köpük en az bir boyutunun kolloid boyut aralığında (1-1000  $\mu\text{m}$ ) yer alan sıvı veya katı içindeki gaz kabarcıklarının dispersiyonu olarak tanımlanmaktadır. Bu, hava-su ara yüzey gerilimini azaltmak için, bir yüzey aktif madde kullanılarak oluşturulur (Şekil 3). Oluşan yağ köpüğün küresel kuru köpüğün ise dodekahedra (12 yüzü olan) olduğu Şekil 4'de görülmektedir.





Şekil 3. Köpüğün yapısı



Şekil 4. Kuru ve ıslak köpüklerin katı-sıvı-gaz ara yüzeyinde görünümü

Sentetik ve doğal (protein) olmak üzere iki tür köpük bulunmaktadır. Protein köpüklerinin tipik bileşenleri %20-40 protein köpürme maddesi ve %3-10 glikol bazlı köpük güçlendiriciden oluşmaktadır. Sentetik köpük, tipik bileşenleri %5-30 sentetik deterjan ve %15-20 glikol eter köpük güçlendiriciden oluşurken her iki tipte florokarbon performans artırıcı (<%5) ve suda çözülebilir polimer (<%5) bulundurulur. Ayrıca, çeşitli katkı maddeleri olabilir. Protein köpüklerde metal tuzları, donma önleyici maddeler, korozyon koruyucuları, çözücüler, viskozite azaltıcılar, köpük kabarcıklarını stabilize ediciler ve marka bilinirliği için boyar maddeler kullanılmaktadır. Sentetik köpükler, anyonik hidrokarbonlar, solventler ve stabilizatörler karışımından oluşur. Bunlar düşük stabiliteye sahip olma eğilimi gösterir, çünkü bunların kabarcık duvarları yetersiz güce sahiptir. Protein köpük reaktifleri, sulu çözeltide, hidrolize protein, çözücü, sodyum klorit, demir ve kalsiyum tuzları ve koruyucuları içermektedir. Protein için başlangıç malzemesi, soya fasulyesi, mısır gluteni, hayvan kanı, boynuzu ve tırnağı, atık balık ürünleri olabilir. Protein köpükler genellikle sert, kararlı ve düşük drenaj oranlarına sahiptir. Bir köpük viskozitesini artırmak ve tiksotropik özellikleri geliştirmek için polimerler köpürme maddesi olarak ilave edilebilir. Bu tür eklemelerin etkileri sentetik köpükler ile daha güvenilir olma eğilimindedir ve geniş bir yelpazede kullanılabilir (Psomas, 2001; Milligan, 2000).

Bir köpüğün özellikleri, genişleme oranı (orijinal sıvı hacmine/köpük hacmi oranı), doğası ve sıvıdaki köpük reaktiflerinin konsantrasyonu ile ilişkilidir (Milligan, 2000). Köpük solüsyonu konsantrasyonu  $C_F$  tipik olarak %0,5-5,0 aralığındadır. Ancak üreticinin önerileri takip edilmelidir. Bu konsantrasyon ise, kuvvetle enjekte edilen ya da zaten zeminde mevcut olan ve aynı zamanda kullanılan tünel köpük aktivite ve stabilitesini etkileyen su miktarına bağlıdır.

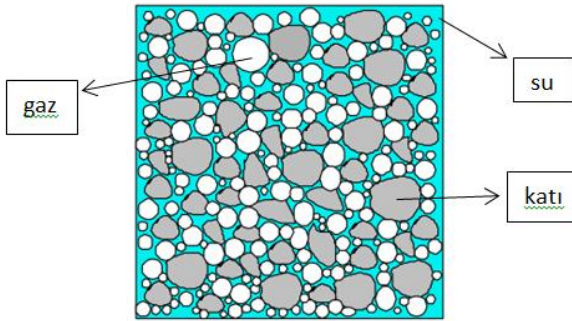
Su içinde yüzey aktif madde konsantrasyonu (köpük çözeltisi) ( $C_F$ ) aşağıdaki formül ile hesaplanabilir (Efnarc, 2005; Langmaack, 2002).

$$C_F = 100 \times m_{\text{Yüzey aktif madde}} / m_{\text{Köpük çözeltisi}}$$

$m_{\text{Yüzey aktif madde}}$ : Köpük solüsyonundaki yüzey aktif madde miktarı

$m_{\text{Köpük çözeltisi}}$ : Köpük solüsyon miktarı

Tüm köpükler yarı kararlıdır, ve sonunda çökelecektir, ancak köpükler, uzun süreli olarak "stabil" yapılabilmektedirler. Bir EPB kullanımı için, çalışma alanında ve spiral konveyörde, köpük toprak karışımında köpüğün kararlı olacağı toplam süreyi bilmek önemlidir. Bu periyodun ötesinde köpük, tünelin plansız bir gecikmesi sırasında çökebilir. Şekil 5'de köpüğün taneli bir zeminde dağılımı görülmektedir.



Şekil 5. Köpüğün katı parçacıkları arasındaki dağılımı

Tünelcilikte başlıca köpük kullanımı; EPB makinelerinde basınç bakımı, toprak için akışkanlaştırıcı etkisi, homojen toprak hamur oluşturma, geçirgenlik azaltılması, tork düşürülmesi, toprak yapışkanlığının azaltılması, aşınma azaltılması gibi sıralanabilir (Efnarc, 2005). Köpükler kazı arınma yakın bir yerden basınçla arınma ve spiral konveyör boşluğuna enjekte edilmektedir (Şekil 6 ve 7).



Şekil 6. Zemin iyileştirmede TBM köpük uygulaması

### 4.3. Bentonit Kullanımı

Bentonit, doğal olarak oluşmuş temel olarak sodyum, potasyum ya da kalsiyum montmorillonit içeren bir kil mineralidir ve çok az miktarlarda kuvars, mika, feldispat, kalsit vb. gibi diğer mineralleri de bünyesinde barındırabilir. Çok yüksek su emme yeteneğine sahiptirler ve kuru hacimlerinin on katna kadar bünyelerinde su tutabilirler. Sodyumlu olan bentonit, su içinde dağılmış olduğunda çok daha yüksek bir şişme kapasitesine sahiptir.

Bentonit çamurların reolojik özelliklerini geliştirmek için kullanılabilen pek çok polimer katkı maddesi türü vardır. Ayrıca lignosülfonatlar ve kompleks fosfatlar da dahil olmak üzere çeşitli katkı maddeleri de bentonit çamurlarında dağıtıcı ve inceltici olarak kullanılabilir (Efnarc, 2005; Milligan, 2000).

Çamurun ana işlevi yüzeyi stabilize etmektir. Aynı zamanda dağıtma ve kırınımları taşıma, kesme kafasını yağlama ve soğutma için ve kesme aletlerinin aşınmasını azaltmak işlevlerinde kullanılmaktadır.

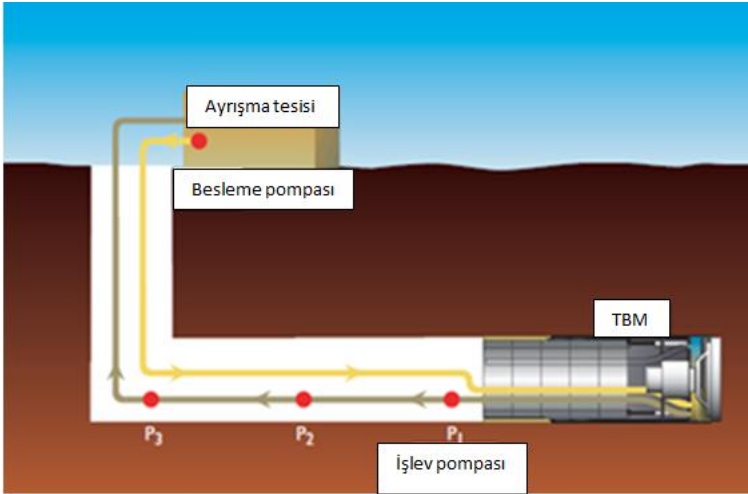
Yumuşak zeminlerde çoğu zaman şartlandırıcı olarak, köpük ve su kullanımı yeterli olmamaktadır ve bunlara ek olarak kil dağıtıcı katkıları veya polimerler de kullanılmaktadır. Sadece su ve köpük kullanıldığı zaman kil taneleri birbirine yapışarak topaklanma göstermektedir ve bunun sonucunda da tünel açma makinesinin çelik parçalarına yapışarak tıkanmalara neden olmaktadır. Kil dağıtıcı katkı kullanıldığında ise kil parçaları birbirinden ayrılarak topaklanmaya ve adhezyona engel olunabilir (Efnarc, 2005; Avunduk, 2011; Psomas, 2001). Granit kayacı içerisinde açılan Porto metro tüneline aşınmayı azaltmak ve nakliyatı kolaylaştırmak için bentonit, köpük ve polimer kullanılmıştır (Fonseca ve ark., 2011).

#### 4.4. Su Kullanımı

Su her zaman nemlendirme ve toz oluşumunu bastırmak için sert kaya TBM kazılarında kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklık artışı, aşınma ve hasar görmesine neden olduğundan ikincil fonksiyon olarak kesicilerin soğutulması sağlanır. TBM kazı öncesinde, su kesici kafanın ön kısmında bulunan çok sayıdaki püskürtücü vasıtasıyla enjekte edilir. Tipik olarak kesici/dakika başına 1.5 litre kadar su kullanılabilir (Efnarc, 2005).

#### 5. ÇEVRESEL ETKİLER

Toprak iyileştirici katkı maddelerinin çevresel etkilerini belirlemek için şu anda oldukça sınırlı uygulamalar ve zor karşılaştırma testleri ile genel kabul görmüş herhangi bir uygulama henüz bulunmamaktadır. Çamur makinelerinde katkı maddeleri kullanılan bentonit çamurları (bir projenin sonuna kadar) kapalı bir sistem içinde tutulabilir ve boşaltmadan önce değerli atıkları mümkün olduğunca kurtarmak genellikle ekonomiktir (Şekil 7). İyileştirici maddeler, EPB kalkanlarına eklendiğinde çoğunlukla kazılan malzeme içinde kalacaktır. Çevresel özellikler bertaraf maliyetlerinin belirlemede çok önemli olabilir, örneğin tünelden çıkan malzeme ya mühendislik veya peyzaj amaçlı kullanılabilir ya da atık olarak rehabilite edilmesi gerekebilir. Buna ek olarak, tünel operatörleri, sağlığı tehlikeye atabilecek toksik ortamlarda çalışmak zorunda kalabilirler. Bu nedenle, bu maddelerin toksik olmayan ve biyolojik olarak bozulabilir maddelerden seçilmesi gerekmektedir. Ancak aşırı hızlı biyo bozunma değişik sorunlara neden olabilir.



Şekil 7. Çamurlu malzemenin hidro kalkanlı sistemde besleme ve emme işlemi

Toksik olmamasına rağmen, sentetik PA-bazlı polimerler çok yavaş indirgenir ve bu nedenle kazı malzemesinde kalır. CMC ya da PAC gibi yarı sentetik malzemeler, çok daha hızlı bir şekilde toksikliği düşürebilir. Son zamanlarda, doğal polimelerde biyo bozunurluk ön plana çıkmıştır. Bozulma oranını kontrol etmek için biyositler kullanılması gerekebilir, özellikle çevre sağlığı açısından, kondisyonlama maddeleri, doğal olarak oluşan malzeme temelinde olmalıdır. Örneğin Guar (aynı zamanda bir zayıflama yardımcısı olarak kullanılır), Xanthan (domates ketçabının bir bileşeni) veya keçiyoynuzu jeli olarak (paket gıdalarda bulunur) kullanılabilir.

Köpükler genellikle düşük toksiteye sahip olmasına rağmen glikol bazlı köpük reaktifleri, kapsamlı sağlık ve güvenlik önlemlerini gerektiren ve bertaraf edilmesi ile ilgili önemli kısıtlamalara sahiptirler. Ticari köpükler, çeşitli nedenlerle yangın söndürmede yaygın kullanımı ile su toksisite ve biyobozunurluk açısından değerlendirilmiştir. Protein köpükler, genel olarak sentetik deterjan köpüklerden daha hızlı olarak parçalanabilir ve daha az toksik olduğu kanıtlanmıştır. Ancak, farklı üreticiler tarafından üretilen benzer türde köpüklerin arasında geniş varyasyonlar mevcuttur ve daha fazla bilginin üretici tarafından temin edilmesi gerekmektedir. Köpükler içinde Florokarbonlar çok kalıcı olma eğilimi gösterirler ve bu durum atık bertarafı için potansiyel bir sorun oluşturabilir. Florokarbonlar öncelikle, yangın direnci için gereklidir. Tünelcilik için köpükler, muhtemelen bu malzemelerden daha iyidir.

Kullanılan çözücülerden, heksilen glikol çok düşük bir toksisite göstermektedir. Sentetik köpüklerde kullanılan etilen glikol eterler daha yüksek toksisitededir. Bazı köpükler, potansiyel bir sorun olan çinko tuzları içermektedir. Küçük miktarlarda kullanılan biyositlerin önemli sorunlara neden olmadığı bilinmektedir (Milligan, 2000).

Şekil 8'de yeraltından çıkarılan kuru sert tünel malzemesinin kırılıp elenerek yüksek kalitede agrega olarak hazırlanması görülmektedir. Eğer kazı işlemi yaşayılacak ise bu durumda yeraltından çamurlu olarak pompalanan malzeme elekte yıkandıktan sonra elek üstü iri malzeme kırılıp elendikten sonra yine iyi kalitede agrega üretilmekte, elek altı ince sulu malzeme ise susuzlaştırıldıktan sonra uygun yerlerde dolgu malzemesi olarak depolanabilmektedir. Su ise tekrar sisteme geri verilmektedir (Petitat, 2014; Peng and vd., 2007; Guglielmetti and vd, 2007).



Şekil 8. Tünel kazısından çıkarılan malzemenin agrega üretimi

### 5.1.Toz Sorunu

Çalışma alanında havanın kalitesi, işçilerin sağlığını veya güvenliğini tehlikeye sokmamalıdır. İş yerinde ulusal mevzuata uygun olarak toz, gaz, radyoaktivite veya asbest varlığı da dahil olmak üzere doğal olarak ortaya çıkan sağlık tehlikeleri etkilerinden işçileri korumak için tedbirler alınmalıdır.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tünel operasyonu ve ilgili tüm ürünlerin uygulama yöntemleri, sağlık, emniyet ve çevre ile ilgili tüm uluslararası ve ulusal yönetmeliklere uygun olmalıdır. Kullanılan tüm ürünlerin genel çevresel risk değerlendirmesi, ürün kullanımı veya çevresel riskini belirleyebilmek için yapılması gerekir. Genellikle risk değerlendirme çalışması, hava, yüzey ve yeraltı suları, tünel su düzenlenmesi, taşıma ve ürünlerin atılması ve kazılan malzemenin üzerindeki etkisini kapsamalıdır. Aynı zamanda sağlık ve güvenlik düzenlemelerini içermelidir. İlgili tüm ürün verileri (Malzeme Güvenlik Bilgi Formları veya literatürden e.g), yerinde kullanılması amaçlanan belirli bir ürünün uygunluğunun değerlendirilmesi için dikkate alınmalıdır. Bu sırada akut toksisite verileri, biyolojik bozunma ve biyolojik birikim potansiyeline dikkat edilmelidir. Zemin su risk değerlendirmesinde hidrojeolojik ortamın, örneğin kuyulara, yeraltı su tablasına, su kaynaklarına yakınlığı ile birlikte seyreltme ve su akış oranları da göz önüne alınmalıdır. Geri dönüşüm, tüm kazı malzemeleri için mümkün olmalıdır. Sert kaya kazı durumunda, kazılan kaya parçası beton agrega olarak geri dönüşümlü olabilir. Eğer kimyasallar kazı sırasında ilave edilecekse, örneğin toz bastırılması ya da

aşındırıcı yıpranmasının azaltılması için, geri dönüşüm için uygun olup olmadığı karşılaştırmalı araştırmalar ile belirlenmelidir. Kazılan malzeme; taşıma, depolama, geri dönüşüm ve atık depolama açısından değerlendirilmelidir. Seçilen kimyasal, antitoksit, ucuz, çözünebilir ve biyobozunur olmalıdır. Suya karışmış olan bu kimyasallar sodyum hidroksit veya sodyum sülfür çöktürmesi, İyon değişimi, aktif karbon adsorbsiyonu, ultrafiltrasyon, ters ozmoz, elektrodializ, biyolojik prosesler gibi fiziksel ve kimyasal yöntemlerle giderilebilir. Çoğu durumda bu malzemenin zemin suyuna sızabilir olduğunun ve buna ek olarak, biyo birikimin de dikkate alınması gerektiği göz önünde bulundurulmalıdır. Çevreye salınan madde miktarı ayrıca bilinmelidir.

## KAYNAKLAR

- Tunçdemir, H., 1998. Arazi basıncının dengelenmesi esasına göre çalışan tam cephe tünel açma makinelerinin kazı performansını etkileyen zemin özellikleri ve İzmir Metro su Örneği, *4.Ulusal Kaya mekaniği Sempozyumu*, Zonguldak, 159-172, TMMOB,
- Bilgin, N., 1989. İnşaat ve Maden mühendisleri için uygulamalı kazı mekaniği, *Birsen Yayınevi*, 192 sayfa.
- EFNARC, 2005. Specification and guidelines for the use of specialist products for mechanised tunnelling in soft ground and hard rock, 45p, *Surrey GU9 7EN*, UK.
- Peila, D., Picchio, A., 2011. Influence of chemical additives used in EPB tunneling and its management, *Department of Land, Environment and Geo-Engineering TUSC - Tunnelling and Underground Space Center & Laboratory*, Politecnico di Torino, Italy, pp. 50-72.
- Anagnostou G., Kovari, K. 1996. Face stability conditions with Earthpressure balanced Shields, *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 11, No. 2, Pergamon – Oxford, pp. 165 – 173.
- Avunduk, E., 2011. Mekanize Tünel Kazılarında Adezyon Problemi, *Madencilikte Özel Konular*, İTÜ, 38 sayfa.
- Psomas, S., 2001. Properties of foam/sand mixtures for tunnelling applications, *A thesis submitted for the degree of Master of Science to the Department of Engineering Science*, St Hugh's College, the University of Oxford, Michaelmas, p150.
- Fonseca, A. D., Gomes, A.T., 2011. A Tunnel collapse on the construction in metro do porto, *Solutions for optimization of advance control parameters of A EPB TBM*, XXV Konferencja Naukowo-Techniczna, Miedzyzdroje, 24-27 maja (Awarie budowlane 2011).
- Petitot, M., Allmen, K.V., Minotti, T., Thalmann C., Himmelsbach, C., Edelmann, T., Gehrig, M., Burdin, J., 2014. *Automation Strategies for solid rock and soft*

- ground processing*, Development of resource-efficient and advanced underground Technologies (DRAGON), p75,
- Tokgöz, N., Binen, İ.S., Avunduk, E., 2015. An evaluation of fine grained sedimentary materials in terms of geotechnical parameters which define and control excavation performance of EPB TBM's, *Tunnelling and Underground Space Technology* 47, 211–221.
- Milligan, G. W. E, 2000. Lubrication and soil conditioning in tunnelling, pipe jacking and microtunnelling, *State-Of-The-Art Review, Geotechnical Consulting Group*, London, p46.
- Drewes, J., 2009. Coagulation, flocculation and precipitation, *Environmental Engineering Pilot Plant Laboratory (ESGN 530)*, p15.
- Merritt, A.S., 2004. Conditioning of clay soils for tunnelling machine screw conveyors, *A dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy at the University of Cambridge*, p303.
- Langmaack, L., 2002. Advanced technology of soil conditioning in EPB Shield Tunnelling, *Chemical Eng., TBM Project Manager, MBT International, Zürich (CH)*, p16.
- Langmaack, L., 1999. Europe & Asia: Application of new TBM conditioning additives, *MBT International, Underground Construction Group, Zürich, Schweiz*, p10.
- Langmaack, L., Feng, Q., 2005. Soil conditioning for EPB machines: balance of functional and ecological properties, *Underground Space Use: Analysis of the Past and Lessons for the Future – Erdem & Solak (eds)*, p729-735, Taylor & Francis Group, London,
- Mulligan, C.N., Yong, R.N. and Gibbs, B.F., 2001. Surfactant-enhanced remediation of contaminated soil: a review, *Engineering Geology*, Volume 60, Issues 1–4, Pages 371–380.
- Martinotto, A., Langmaack, L., 2007. Toulouse Metro Lot 2: soil conditioning in difficult ground conditions, *Underground Space – the 4th Dimension of Metropolises – Barták, Hrdina, Romancov & Zlámal (eds) © 2007 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-40807-3*
- Peng, S.T., Ariaratna, K., Nam, O.C., 2007. Construction of rail tunnels using slurry machines on circle line stage 3, Singapore, *11th ACUUS Conference: "Underground Space: Expanding the Frontiers"*, September 10-13, p99-105, Athens - Greece
- Guglielmetti, V., Grasso, P., Mahtab, A., Xu, S., 2007. Mechanized tunnelling in urban areas, design methodology and construction control, *Geodata S.p.A., Taylor & Francis Group*, p528, UK, London.



# Mermer Madenciliğinde Çevresel Etki Değerlendirmesi Sürecinin Gelişimi

## *Development of the Environmental Impact Assessment Process in Marble Mining*

B.G. Demir, A. Akbulut, N. Güngör  
*Maden İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara*

**ÖZET** Ülkemizde ilk Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği, 2872sayılıKanunadayaholarak 07.02.1993 tarihinde yürürlüğe konulmuştur. ÇED süreci ülkemizde çok dinamiktir. Dünyadaki ve ülkemizde gelişmelere, ilerlemelere, toplumsal beklentilere ve AB yasalarına bağlı olarak son yirmi iki (22) yılda (1993-2015), yedi kez ağırlıklı olarak, on kez de kısmi olarak değişmiştir. Tamamıyla değiştirilen ÇED Yönetmelikleri; 07.02.1993, 23.06.1997, 06.06.2002, 16.12.2003, 07.07.2008, 03.10.2013 ve 25.11.2014 tarihlerinde yürürlüğe girmiştir. Mermer madenciliği, genellikle ÇED Yönetmeliklerinde EK-II listesinde değerlendirilmiştir. Mermer madenciliği, yirmi iki yıllık ÇED sürecinde, önemli bir madencilik dalı olarak ÇED kültüründe rol almıştır. Çünkü görsel/fiziksel geçici kirlilik haricinde, çevreye hiç bir kalıcı etkisi yoktur.

**ABSTRACT** In our country, the first Environmental Impact Assessment (EIA) Regulation entered into force on 07.02.1993 based on law no. 2872. The EIA process in our country is very dynamic. The last twenty-two years (1993-2015), it has been changed seven times predominantly and ten times partially based on developments in the world and in our country, to progress, to social expectations and the EU laws. EIA Regulation changed completely changed, were entered into force on 07.02.1993, 23.06.1997, 06.06.2002, 16.12.2003, 07.07.2008, 03.10.2013 and 25.11.2014. Marble mining has usually been evaluated in the Appendix-II listed in the EIA Regulations. Marble mining has been played an important role in EIA culture as a major mining branch. Because there is no permanent effect on the environment except visual/physical temporarily pollution.

## 1. 07/02/1993 TARİHLİ ÇED YÖNETMELİĞİ

Bu ÇED Yönetmeliğinde mermer madenciliği şu şekilde yer almıştır:

*“EK-III Listesi;*

*1- İstihraç sanayi*

*Metal içermeyen ve enerji üretilmeyen minerallerden, mermer, kum, çakıl, taş, tuz, fosfat gibi minerallerin istihracı, (çıkarılması, üretilmesi), ...”*(Anonim, 1993)

Mermer madenciliği açısından ilk ÇED yönetmeliği, madenciliğin bu önemli alt sektöründe olumlu karşılanmamıştır. Bu yönetmelikte; mermer arama faaliyetleri ÇED’e tabi değilken, herhangi bir kriter/kapasite belirlenmeden mermer üretim faaliyetlerinin tamamı ÇED’e tabi tutulmuştur. Böylece 1 m<sup>3</sup> mermer üretmek, renk-desen ve litoloji homojenliğini öğrenmek gibi kriterler bile bir formaliteye, bürokrasiye tabi tutulmuştur.

## 2. 23/06/1997 TARİHLİ ÇED YÖNETMELİĞİ

Bu ÇED Yönetmeliğinde mermer madenciliği şu şekilde yer almıştır:

*“EK-II Listesi:*

*18-Madencilik faaliyetleri: Maden arama ve EK-I’de yer almayan Maden Kanunu kapsamındaki madenlerin çıkarılması ile Taş ocakları Nizamnamesinde ve Tuz Kanununda belirtilen ocak işletmeleri ve/veya cevher hazırlanması işlemleri, ...”*  
(Anonim, 1997)

İkinci ÇED Yönetmeliği, birinci ÇED Yönetmeliğinden daha çok eleştirilen bir yönetmelik olmuştur. Zira maden arama kapsamında mermer aramaları da ÇED’e tabi tutulduğu gibi mermer üretim faaliyetlerinin tamamı da yine ÇED’e tabi tutulmuştur. 1 m<sup>3</sup> mermer üretimi dahi ÇED prosedürüne tabidir. Bu yaklaşım, bu Yönetmeliği mermer sektöründe çok tartışılan bir ikincil mevzuat haline getirmiştir.

## 3. 06/06/2002 TARİHLİ ÇED YÖNETMELİĞİ

Bu ÇED Yönetmeliğinde mermer madenciliği şu şekilde yer almıştır:

*“EK-II Listesi:*

*34- Madencilik projeleri:*

*Ruhsat hukuku ve aşamasına bakılmaksızın;*

*a) Madenlerin çıkartılması EK-I’de yer almayanlar*

b) 5.000 m<sup>3</sup>/yıl ve üzeri kapasiteli blok ve parça mermer, dekoratif amaçlı taşların çıkartılması, işlenmesi ve yıllık 100.000 m<sup>2</sup> ve üzeri kapasiteli mermer kesme, işleme ve sayalama tesisleri, ..." (Anonim, 2002)

Mermer sektörü için bürokrasinin kısmen azaltılması, bu üçüncü Yönetmelik ile başlamıştır. Bu yönetmelik ile mermerin arama faaliyetleri ÇED kapsamı dışında tutulmuştur. Mermer üretimi için hangi ruhsat aşamasında olursa olsun belli bir kapasite getirilmiştir. Yılda 5.000 m<sup>3</sup> blok mermer üretimi baz alınırken, bunun altındaki mermer üretimi ÇED prosedüründen muaf tutulmuştur. Bu yönetmelik, mermer madenciliği açısından sektörün önünü açan, bürokrasiyi azaltan ve yatırımcıya zaman kazandıran ve onu teşvik eden bir yönetmelik olarak değerlendirilmiştir.

#### **4. 16/12/2003 TARİHLİ ÇED YÖNETMELİĞİ**

Bu ÇED Yönetmeliğinde mermer madenciliği şu şekilde yer almıştır:

*"EK-II Listesi*

*35- Madencilik projeleri:*

*Ruhsat hukuku ve aşamasına bakılmaksızın;*

*a) Madenlerin çıkartılması EK-I'de yer almayanlar*

*b) 5.000 m<sup>3</sup>/yıl ve üzeri kapasiteli blok ve parça mermer, dekoratif amaçlı taşların çıkartılması, işlenmesi ve yıllık 100.000 m<sup>2</sup> ve üzeri kapasiteli mermer kesme, işleme ve sayalama tesisleri, ..." (Anonim, 2003)*

Bu yönetmelikte, mermer sektörü açısından bir önceki yönetmelik hükümleri aynen korunmuştur. Mermer aramaları ve belirtilen kapasiteye kadar mermer üretimi ÇED prosedüründen muaf tutulmuştur. Böylece, ülkemizin bir mermer ülkesi olduğu ve kalıcı kirlilik yaratmadan bu sektörün mevcut hali ile ÇED prosedürüne tabi tutulmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Sektör, bu Yönetmelik kapsamında hem üretim hem de ihracatta önemli bir mesafe almıştır. Ülkemizin markalı bir mermer ülkesi olmasını bu yönetmelik zirveye taşımıştır.

#### **5. 17/07/2008 TARİHLİ ÇED YÖNETMELİĞİ**

Bu ÇED Yönetmeliğinde mermer madenciliği şu şekilde yer almıştır:

*"EK-II Listesi:*

*42- Madencilik projeleri*

*Ruhsat hukuku ve aşamasına bakılmaksızın;*

*a) Madenlerin çıkarılması (Ek-I'de yer almayanlar),*

b) 5.000 m<sup>3</sup>/yıl ve üzeri kapasiteli blok ve parça mermer, dekoratif amaçlı taşların çıkartılması, işlenmesi ve yıllık 250.000 m<sup>2</sup> ve üzeri kapasiteli mermer kesme, işleme ve sayalama tesisleri, ..." (Anonim, 2008)

Bu Yönetmelik ile, mermer aramaları ve belirtilen kapasiteye kadar üretimi önceki yönetmelikte olduğu gibi yine ÇED prosedüründen muaf tutulurken, mermer madenciliğinde sadece olumlu yönde kısmi bir değişikliğe gidilmiş, yıllık üretim miktarı/kapasitesi de korunmuştur. Mermer kesme, işleme ve sayalama işlemlerinde daha yüksek bir kapasite getirilmiştir. Yani yıllık 100.000 m<sup>2</sup>'den 250.000 m<sup>2</sup>'ye çıkarılmıştır. Bu beşinci ÇED Yönetmeliği, mermer madenciliğinin en iyi algılandığı, sektörün bürokrasiden ve formaliteden uzak en iyi desteklendiği bir uygulama getirmiştir. Bu yönetmelik ile sektörün en yüksek zirvede olduğu düşünülmüştür.

## 6. 03/10/2013 TARİHLİ ÇED YÖNETMELİĞİ

Bu ÇED Yönetmeliğinde mermer madenciliği arama ve üretim aşamaları ile şu şekilde yer almıştır:

*"Arama projeleri*

26 - (1) Maden, petrol, doğalgaz, kaya gazı veya jeotermal kaynak arama projeleri için EK-4'te yer alan 'proje tanıtım dosyasının hazırlanmasında esas alınacak seçme eleme kriterleri' doğrultusunda hazırlanan Proje Tanıtım Dosyası ile Bakanlığa müracaatta bulunulur.

(2) Proje sahibi, arama projeleri için, çevresel etkilerin araştırılması amacıyla, bir dilekçe ekinde EK-4'e göre hazırlanan 3 adet Proje Tanıtım Dosyasını Bakanlığa sunar. Bakanlık sunulan Proje Dosyasını inceleyip değerlendirerek, proje hakkında 'ÇED Gerekli Değildir veya ÇED Gereklidir Kararı' verir. ÇED Gereklidir Kararı verildiği takdirde, Ek-3'te yer alan formata göre ÇED Başvuru Dosyası hazırlanması istenir.

(3) Arama projelerine ilişkin Proje Tanıtım Dosyası hazırlayanlarla ilgili hususlar tebliğ ile belirlenir....,

55- Madencilik projeleri:

a) Madenlerin çıkarılması (Ek-1'de yer almayanlar),

b) 10 hektar ve 5.000 m<sup>3</sup>/yıl ve üzeri kapasiteli blok ve parça mermer, dekoratif amaçlı taşların çıkartılması, işlenmesi ve/veya yıllık 250.000 m<sup>2</sup> ve üzeri kapasiteli mermer kesme, işleme ve sayalama tesisleri, ..." (Anonim, 2013).

Bu Yönetmelik yürürlüğe girinceye kadar mermer madenciliğinde alan sınırlaması olmadan başka bir deyişle 3213 sayılı Maden Kanununda mermer için getirilen 100 ya da 250 hektar alanda üretim faaliyeti yapılabilmektedir. Bu

Yönetmelik ile, diğer yönetmeliklerin aksine mermer faaliyetlerine yönelik olarak alan sınırlaması getirilmiştir. 10 hektar ve daha fazla alanda mermer üretimi için, EK-II listesi kapsamında ÇED prosedürü uygulanması benimsenmiştir. 10 hektarın altındaki küçük alanlarda üretim için ise ÇED prosedürü uygulanmamıştır. Başka bir deyişle, yılda 5000 m<sup>3</sup> ve üzerindeki üretim yapılan alanlar 10 hektar ve üzerinde ise ÇED prosedürü uygulanmıştır. Mermer arama faaliyetleri kolay ve basit sayılabilecek bir format ile Proje Tanıtım Dosyası hazırlanması prosedürü ile ÇED kapsamına yeniden alınmıştır. Bu Yönetmelik ile bugüne kadar getirilmiş olan üretim kapasitesi korunurken, alan sınırlaması olmaksızın yapılan mermer grubu maden aramalarında ÇED prosedürü getirilmiştir.

## 7. 25/11/2014 TARİHLİ ÇED YÖNETMELİĞİ

Bu ÇED Yönetmeliğinde mermer madenciliği, arama ve üretim faaliyetleri şu şekilde yer almıştır:

*“EK-II Listesi:*

*49- Madencilik projeleri:*

*a) Madenlerin çıkarılması, (Ek-1 listesinde yer almayanlar)*

*b) Yıllık 5.000 m<sup>3</sup> ve/veya 250.000 m<sup>2</sup> ve üzeri kapasiteli mermer ve dekoratif taşların kesme, işleme ve sayalama tesisleri, ...*

*55- Maden, petrol ve jeotermal kaynak arama projeleri, (Sismik, elektrik, manyetik, elektromanyetik, jeofizik vb. yöntemle yapılan aramalar hariç) ...”*(Anonim, 2014).

Mermer grubu ruhsatlara yönelik üretimin tümü bu şekilde ÇED’e tabi tutulurken, EK-II listesinin 55. maddesi ile mermer aramalarının da ÇED prosedürüne daha ağırlıklı olarak devam ettirilmesi benimsenmiştir.

Son ÇED Yönetmeliğinde 10 hektar ve üzeri sınırlaması kaldırılarak tüm mermer ruhsat alanı arama ve üretim açısından ÇED’e tabi tutulmuştur. En küçük alanda bile yürütülecek mermer üretim faaliyetleri ÇED prosedüründe değerlendirilmiştir. Başka bir deyişle, 1 m<sup>3</sup> blok mermer üretmek için de ÇED prosedürüne uyulmak zorundadır. Bunun yanında mermer arama faaliyetleri de ÇED prosedürüne tabi tutulmuştur.

## 8. SONUÇ

Mermer grubu ruhsatlara yönelik madencilikte, diğer madencilik faaliyetlerinden farklı bir faaliyet ve üretim yöntemi vardır. Mermer madenciliğinde; kimyasal reaktif kullanılmamaktadır, patlatma yoktur. Dolayısıyla hava şoku, taş savrulması, gürültü, toz ve vibrasyon/titreşim gözlenmemektedir. Kullanılan doğal su, devir-

daim ile sistemde devamlı döngü halinde olduğundan atık su da yoktur. Sadece mermerin litolojisine göre ocak yeri seçimi, üretim yönü ve üretim yapan ekibin tecrübesine dayalı moloz/artık üretim miktarı değişmektedir. Ocak verimine göre değişen moloz yığını da sistemli ve düzenli olarak en uygun lokasyonlarda stoklandığı takdirde çevresel açıdan sadece geçici fiziksel kirlilik gündeme gelmektedir. Bu da bu grup madenler için blok mermer üretiminin doğal bir sonucu olarak değerlendirilmelidir. Daha sonra zorunlu olarak oluşan moloz/artık (inert/etkisiz atık) da pek çok sanayide hammadde olarak değerlendirilebilmektedir.

Mermer grubu ruhsat faaliyetlerine uygulanagelen ÇED prosedürünün son yıllarda madencilğin bu çok önemli alt sektörünün aleyhine gelişmesi, ÇED yaklaşımında tamamlayıcı olan ve ülkelere özgü kriterlerin yeterince değerlendirilmediğini düşündürmektedir. Mermere yönelik bir faaliyet yapabilmenin ilk adımı ve zorunlu basamağı olan ÇED prosedürünün yeniden ülkemize özgü sektör kriterleri dikkate alınarak, geçmişteki daha koruyucu ve önleyici yaklaşımına ve kalıcı kirlilik oluşturmayan gerçeğine dönülmesi için gerekli girişimler yapılmalıdır.

## **KAYNAKLAR**

- Anonim, 1993. 07/02/1993 tarihli ve 21489 sayılı Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği, Ankara.
- Anonim, 1997. 23/06/1997 tarihli ve 23028 sayılı Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği, Ankara.
- Anonim, 2002. 06/06/2002 tarihli ve 24777 sayılı Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği, Ankara.
- Anonim, 2003. 16/12/2003 tarihli ve 25318 sayılı Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği, Ankara.
- Anonim, 2008. 17/07/2008 tarihli ve 26939 sayılı Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği, Ankara.
- Anonim, 2013. 03/10/2013 tarihli ve 28784 sayılı Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği, Ankara.
- Anonim, 2014. 25/11/2014 tarihli ve 29186 sayılı Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği, Ankara.

# Türkiye’de Arazi Kullanımı Dinamikleri ve Madencilik Sektöründe Yaşanan Mekansal Değişimler

## *Land Use Dynamics in Turkey and Spatial Changes Experienced in the Mining Sector*

A.Ç. Dikmen

*Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, Ankara*

A. Gül

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir*

**ÖZET** Sanayileşme ile birlikte artan çevre sorunlarının en önemli nedenlerinden biri de arazi kullanımındaki hatalardır. Maden sahalarında arazi örtüsü değişimlerinin nispeten hızlı olması, kalkınmada ekonomik ve ekolojik kararların bir arada düşünülmesi gerekliliği, çevreye duyarlı arazi kullanım kararlarının alınabilmesi için arazi kullanımı dinamiklerinin iyi anlaşılmasını, değişimlerin uygun bir planlama dahilinde kontrol altında tutulmasını ve çevre sorunlarının nedenlerinin gerçek mekansal veriler ile tespit edilmesini gerektirmektedir. Arazi kullanım değişikliklerinin takip edilmesi ve bunların belirli aralıklarla izlenebilmesi, gelişen teknolojiler sayesinde daha kolay olmaktadır. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri gibi teknolojik karar destek mekanizmaları ile doğru, güvenilir ve güncel bilgiye ulaşım çok daha kolay olabilmektedir. CORINE (Çevresel Bilgilerin Koordinasyonu) Projesi, Avrupa Birliği GMES (Çevre ve Güvenlik için Küresel İzleme) Programı kapsamındaki önemli arazi yönetimi projelerindedir. CORINE projesi ile uydu görüntüleri ve coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla konuma bağlı arazi bilgilerini içeren arazi örtüsü/kullanımı haritaları oluşturulabilmektedir. Sunulan çalışmada; 1990, 2000 ve 2006 yılları için üretilmiş bulunan Türkiye'nin CORINE arazi örtüsü verileri kapsamında madencilik sektörüne ilişkin mekansal veri bileşenleri analiz edilerek, mekansal istatistik göstergeler üzerinden gelişim dinamiklerinin ortaya konulabilmesi amaçlanmış ve bu değerlendirmelerin çevre politikalarının oluşturulmasına katkı koyması amaçlanmıştır.

**ABSTRACT** One of the most significant causes of environmental problems that increase in parallel to the industrialization is the improprieties in using the land. The facts that land cover changes are comparably faster in mining areas and there are needs for considering economic and ecological decisions together in planning the development require better understanding of land use dynamics, monitoring of changes in a proper planning framework and identification for the causes of environmental problems through real spatial data, which would together serve for taking environment-friendly land use decisions. Inspecting and regular monitoring the changes experience in land uses are now more facilitated by means of advancing technologies. With the help of technological decision support mechanisms such as Remote Sensing and Geographic Information Systems, it is easier to have access to accurate, reliable and up-to-date information. CORINE (Coordination of Information on the Environment) Project is one of the significant land management projects in the context of GMES (Global Monitoring for Environment and Security) Programme of the European Union. With the CORINE project, it became possible through remote sensing and geographic information systems to develop land cover/use maps that include land information in a spatial context. In the presented study, it is aimed in the context of CORINE land cover data for Turkey to unfold development dynamics through spatial indicators by analyzing spatial data components that relate to the mining sector, and thus to contribute to environmental policy making.

## 1. GİRİŞ

Sağlıklı bir çevrede, insanca bir yaşam ortamının sağlanması, toplumun sahip olduğu çevre değerlerinin korunması ve geliştirilmesi, çevre politikalarının uygulanmasında gerekli olan işbirliğinin ve buradan hareketle bireyler ve toplumun değişik kesimleri arasında eşitlik ve paylaşımın sağlanması, böylece doğal varlıkların korunması ve geliştirilmesinde işbirliğinin gerçekleştirilmesi çevre politikasının hedefidir. Bu hedefin gerçekleştirilmesi, gerçek ve güncel veri ile mümkün olabilmektedir.

Çevre politikasının belirlenmesinde karar vericilerin ilk aşamada kullandıkları/kullanması gereken veri ise arazi örtüsü verileridir. Arazi örtüsü verisi, yer yüzeyinin sahip olduğu biyo-fiziksel karakteristikleri ile açıklanmasına olanak sağlar. Bu tüden veriler tematik olarak yapılaşmış alanlar, tarımsal alanlar, ormanlar ve yarı doğal alanlar, sulak alanlar ve su kütlelerinin oluşturduğu yer yüzeyinin fiziksel ve biyolojik örtüsünü oluşturan nesnelere kapsamaktadır.



Günümüzde yeryüzü doğal ve kültürel değişimlerinin araştırılması ve öğrenilmesi amacıyla kullanılan oldukça da hızlı ve doğru bilgilerin elde edilebildiği yazılımlar ve sistemler mevcuttur. Bu sistemlerden, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), varolan verilerin ilişkilendirilmesi ve böylelikle yeni verilerin üretilmesinde, depolanmasında, verilerin işlenmesinde ve sunumunda sağladığı kolaylıklar nedeniyle son 10-15 yıl içerisinde hızla gelişmiş ve kullanıcıların hizmetine sunulmuştur, uydular ve hava fotoğrafları, arazi kullanımının değişimi ve bugünkü durumu hakkında devamlı bilgi sağlamaktadır (Öztürk ve Dinç, 1995).

Uzaktan Algılama ve CBS gibi araçlar kullanan karar destek mekanizmaları ile doğru, güvenilir ve güncel bilgiye ulaşım çok daha kolay olmakta, politika belirleme daha etkin yapılabilmektedir. Sanayiye hammadde ve ürün temin eden madencilik sektöründe de politika belirlenirken bu tip teknolojik araçların kullanımı da çevre sorunlarını en aza indirecektir. Maden sahalarında arazi örtüsü değişimlerinin nispeten hızlı olması, kalkınmada ekonomik ve ekolojik kararların bir arada düşünülmesi gerekliliği, çevreye duyarlı arazi kullanım kararlarının alınabilmesi için arazi kullanımı dinamiklerinin iyi anlaşılmasını, değişimlerin uygun bir planlama dahilinde kontrol altında tutulmasını ve çevre sorunlarının nedenlerinin gerçek mekansal veriler ile tespit edilmesini gerektirmektedir.

Sunulan çalışmada, Türkiye’de arazi kullanımı dinamikleri bir Avrupa Birliği çalışması olan Çevresel Bilgilerin Koordinasyonu (CORINE) projesinin çıktıları ile değerlendirilmiş ve Türkiye madencilik sektöründe izlenen mekansal değişiklikler hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir.

## 2. COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ VE UYGULAMALAR

CBS’in bir fonksiyonu arazi kullanımı ve özellikleri hakkında coğrafi kaynaklı bilgilere dayalı veri olarak hizmet etmek ve bunların ilişkilerini depolamak ve korumaktır. Ayrıca CBS, farklı arazi kaynak idaresi amaçlarına göre depolanan bu verileri kullanabilmek için araçları ve gerekli yapıyı sağlamaktadır. Bilgi eklemek, silmek veya değiştirmek, verilerin rotasyonu, alınan standartlara göre bilgilerin değerlendirilmesi, verilerin farklı ölçeklere aktarılması, verilerin koordinatlarının farklı projeksiyonlara aktarılması, verilerden bazı parçaların alınması veya eklenmesi, farklı veriler arasındaki bağlantının sağlanması, verilerden istenmeyen görüntülerin atılması, verilerin çakıştırılması ve verinin raster veya vektör tabana aktarılması CBS’in bazı uygulama aşamalarıdır (Öztürk ve Dinç, 1995).

Coğrafi bilgi sistemlerinin desteklediği uygulamalar için kesin bir liste yapmak mümkün değildir (Sönmez ve Sarı, 2004). Söz konusu bu uygulamaların bazıları;

- Belediye hizmetleri (su, elektrik, telefon, kanalizasyon, vb.)

- Ulaşım
- Arazi Yönetimi (arazi kullanım planlaması, arazi toplulaştırılması, tarımsal arazi bilgi sistemi, sulama ihtiyaçlarının belirlenmesi, sulama planlaması ve yönetimi, arazi tesfyesi, su yapılarının tasarım ve planlaması, taşkından korunma, vb.)
- Kentsel planlama (imar planları, yer seçimi, tasarım, kent bilgi sistemleri)
- Mali ve hukuki uygulamalar (tapu-kadastro bilgi sistemi, emlak bilgi sistemi, iskan ruhsatı)
- İletişim ağı planlama ve yönetimi
- Ormancılık
- Madencilik
- Doğal kaynakların envanteri
- Çevresel faaliyetler (kirliliği izleme ve önleme, canlı türlerinin ve biyolojik çeşitliliğin korunması)
- Bilgisayar destekli harita üretimi (topoğrafik harita, tematik harita, hidrografik harita, büyük ölçekli harita)
- Diğerleri

şeklinde sıralanabilmektedir.

Coğrafi veriye ilişkin uluslararası standartların en önemlilerinden biri INSPIRE direktifi olup, Avrupa Birliği ülkeleri arasındaki mekansal veri altyapısını oluşturmayı amaçlar. Direktif, teknik uygulama kuralları ile belirlenmiş temel bileşenleri ile çevresel uygulamalar için gereken 34 mekansal veri temasını kapsamaktadır. Avrupa Parlamentosunun 2007/2/EC direktifi ve INSPIRE (14 Mart 2007 Konseyi) Avrupa Birliği içerisinde Mekansal Bilgi ile ilgili bir altyapı kurulması için genel kuralları belirlemektedir. Bu kapsamda 2007 yılından itibaren arazi örtüsü verilerinin yönetimi ve standardizasyonuna yönelik olarak “Data Specification on Land Cover” adı altında tema geliştirmektedir.

Avrupa Birliği Komisyonu tarafından Çevresel Bilgilerin Koordinasyonu (CORINE - Coordination of Information on the Environment) arazi örtüsü programı başlatılmıştır. CORINE Projesi, Avrupa Birliği GMES (Global Monitoring for the Environment and Security) Çevre ve Güvenlik için Küresel İzleme Programı kapsamındaki önemli arazi yönetimi projelerindedir. CORINE programı, 1985 yılından 1990 yılına kadar Avrupa Birliği Komisyonu tarafından yürütülmüş, terminolojisi ve metodolojisi geliştirilmiştir. 1991 yılı itibariyle 13 ülkede CORINE veritabanları oluşturulmuştur. Arazi örtüsü ile ilgili bilgilerin kapsamı sadece kırsal ve kentsel gelişmeler, ana altyapı projeleri vb. çalışmalarla

etkilenen küçük alanlar için söz konusu iken, CORINE arazi örtüsü programı ile Avrupa Birliği ülkeleri düzeyinde çevre bilgilerinin toplanması, geliştirilmesi ve politikaların oluşturulması boyutuna ulaşmıştır. INSPIRE direktifinde de Arazi Örtüsü veri standardı olarak CORINE sınıflandırmasının temel alınması öngörülmüştür.

Avrupa Konseyi tarafından CORINE veritabanlarının oluşturulması ve bunların güncellenmesinin sorumluluğu Avrupa Çevre Ajansına verilmiştir. CORINE projesi kapsamında uydu görüntüleri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımıyla Çevre Bilgi Sistemi kapsamında konuma bağlı arazi bilgilerini içeren arazi örtüsü/kullanımı haritaları oluşturulması amaçlanmaktadır (EEA, 1995).

CORINE Projesi dört temel amaca hizmet etmektedir:

- Avrupa Birliği'nin bütün üye devletleri için belirlenmiş öncelikli konulara göre çevrenin durumu ile ilgili bilgilerin toplanması,
- Üye devletler içinde ya da uluslararası düzeyde, verilerin toplanması ve bilgilerin uyumlu hale getirilmesi,
- Bilgilerin tutarlılığının ve verilerin uyumluluğunun sağlanması,
- Avrupa Çevre Ajansı kriterlerine göre "Arazi Kullanım" haritalarının oluşturulmasıdır.

Ayrıca CORINE Projesi ile farklı düzeylerde (Uluslararası, Birlik, Ulusal ve Bölgesel) yapılan çok sayıdaki çalışma ile toplanan çevresel bilgilerin yıllar itibarıyla değişiminin izlenmesi sağlanmaktadır.

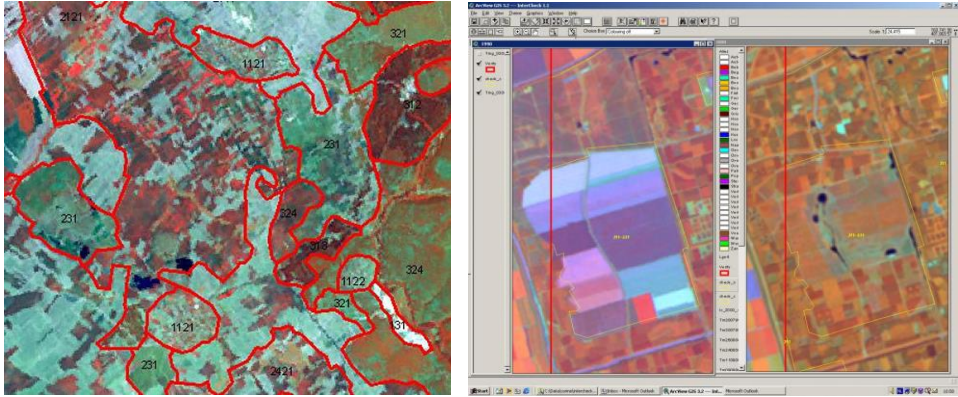
CORINE Arazi Örtüsü sınıflaması, üç seviyeli bir hiyerarşik temel üzerine kurulmuştur. Her bir seviyesi, bir bireysel ölçeğe karşılık gelmektedir. Seviye III, 44 kategoride 1/100.000'de bilgi toplamaktadır. Seviye II, 1/500.000 ve Seviye I, 1/1.000.000 ölçeklerine karşılık gelmektedir. Seviye I, dünya ölçeği üzerine temel isabetli gözlenebilir toprak örtüsünün kategorilerine karşılık gelmektedir. Seviye I ve II, bütünleme seviyeleridir (JRC, 2005).

Avrupa Çevre Ajansı 5 adet temel, 44 adet alt arazi kullanımı sınıfı belirlemiş ve Avrupa Birliği arazi örtüsünü bu sınıflar çerçevesinde şekillendirmiştir. Bu sınıflandırma sistemi Şekil 1'deki gibidir.

CORINE Projesi kapsamında ölçek 1/100000, haritalanan en küçük alan 25ha, minimum koridor genişliği 100m, çalışılan hassasiyet ise 1/25000 olarak belirlenmiştir. Proje kapsamında uydu görüntüleri üzerinde fiili arazi kullanım özelliği 44 sınıfta tanımlanmaktadır (Şekil 2).

CORINE Sistemi Arazi Örtüsü Temel Sınıfları				
1. Yapay Bölgeler	2. Tarım Alanları	3. Orman Yeri ve Yarı Doğal Alanlar	4. Sulak Alanlar	5. Su Yapıları

Şekil 1. CORINE Arazi Örtüsü Temel Sınıfları



Şekil 2. CORINE Göre Arazi Kullanım Tanımlanması (OSB,2011)

### 3. TÜRKİYE'DE ARAZİ KULLANIMI

Türkiye’de arazi örtüsü verisinin yönetimi konusunda resmi olarak kabul edilmiş bir veri standardı bulunmamaktadır. Mevcut duruma göre arazi örtüsü verilerinin 11 bakanlık, 25 genel müdürlük ve 32 farklı daire başkanlığı tarafından kullanıldığı görülmektedir (OSB, 2011). Bu kurumlar kendi standartlarını belirlemiş olup, standartları çerçevesinde veri üretimi ve kullanımı yapmakla birlikte, uluslararası kabul edilmiş olan standartlar çerçevesinde çalışmalarını sürdüren kurumlar da bulunmaktadır.

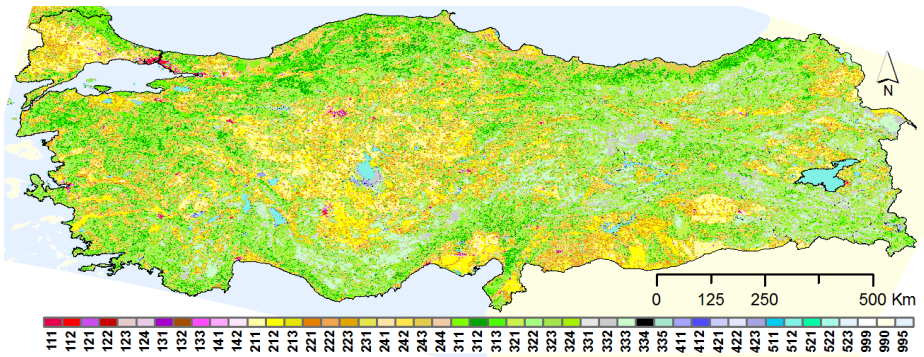
Türkiye’de arazi kaynaklarının optimal olarak kullanılması, bölgeler arasında arazi örtüsünün nicel olarak karşılaştırılarak ülke için çevre politikalarının belirlenmesi, çeşitli araştırmalarda alan örneklemesine olanak sağlayacak

çerçevenin yaratılması gibi coğrafi temelde yapılacak çalışmalarda ihtiyaç duyulan arazi örtüsü envanterinin uydu görüntüleri kullanılarak kısa sürede ve en az hata ile oluşturulması ve ilgilenilen konularda grafik olmayan verilerle de ilişkilendirilerek arazi örtüsü dağılımının harita olarak sunulmasını sağlamak için ilk kez 1998 yılında çalışmalara başlanılmıştır. 2005 yılında 2000 yılı Landsat uydu görüntüleri kullanılarak çalışılan CORINE 2000 projesi Tarım ve Köyişleri Bakanlığı tarafından 2008 yılı ortalarında tamamlanmıştır. CORINE 2000 projesinin tamamlanmasından sonra CORINE 2006 adı altında 2006 Spot ve Irs uydu görüntüleri kullanılarak çalışılan CORINE 2000 projesinin devamı niteliğinde 2000-2006 yılları arasında meydana gelen değişimleri tespit etmeye yönelik CORINE 2006 projesi Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından gerçekleştirilmiştir (Çivi vd.,2009).

AB tarafından 2010 yılı uydu görüntüleri üye ülkelere gönderilerek CORINE 2010 adlı bir proje gerçekleştirilmiş ve bu proje de 2012 yılında tamamlanmıştır.

CORINE Projesi kapsamında Türkiye'ye uygun bir metodoloji geliştirilmiş ve 1990, 2000 ve 2006 yılları uydu görüntüleri üzerinden çeşitli Bakanlıklarca çalışmalar tamamlanmıştır. 2012 yılı için ise İTÜ tarafından bir çalışma yürütülmektedir (İTÜ, 2015).

Üçüncü hiyerarşik seviyede ilave ulusal sınıflar kullanılabileceği ancak bunun Avrupa veri standardının bütünlüğü açısından üçüncü seviyeye ilave edilmesi gerektiği CORINE Teknik Kılavuzunda belirtilmektedir. Bu kapsamda Türkiye'de arazi yapısının çeşitliliğine bağlı olarak 44 sınıfa ilave olarak 12 sınıf daha eklenmiştir (Çivi vd., 2009).



Şekil 3. CORINE Sınıflama Sistemine Göre Türkiye'nin Arazi Sınıflaması

Sunulan çalışmada kullanılan Türkiye CORINE arazi örtüsü verileri 1990, 2000 ve 2006 yılları için Avrupa Çevre Ajansı veritabanlarından temin edilmiştir (EEA, 2014a, 2014b, 2014c).

Çizelge 1. CORINE Sistemine Göre Arazi Örtüsü Alt Sınıfları

1. Yapay Bölgeler	1.1. Kentsel Doku	1.1.1. Sürekli Kentsel Doku
		1.1.2. Sürekliliği Olmayan (Kesikli) Yerleşim Alanları
	1.2. Endüstriyel, Ticari ve Ulaşım Birimleri	1.2.1. Endüstriyel ve Ticari Birimler
		1.2.2. Karayolları, Demiryolları ve İlgili Alanlar
		1.2.3. Limanlar
		1.2.4. Havaalanları
	1.3. Maden Ocağı, Boşaltım ve İnşaat Sahaları	1.3.1. Maden Çıkarım Sahaları
		1.3.2. Boşaltım Sahaları
		1.3.3. İnşaat Sahaları
	1.4. Yapay, Tarımsal Olmayan Alanlar	1.4.1. Yeşil Şehir Alanları
1.4.2. Spor ve Eğlence Alanları		
2. Tarım Alanları	2.1. Ekilebilir Alanlar	2.1.1. Sulanmayan Ekilebilir Alanlar
		2.1.2. Sürekli Sulanan Alanlar
		2.1.3. Pirinç Tarlaları
	2.2. Sürekli Ürün Alanları	2.2.1. Üzüm Bağları
		2.2.2. Meyve Bahçeleri
		2.2.3. Zeytinlikler
	2.3 Meralar	2.3.1. Mera Alanları
	2.4. Karışık Tarımsal Alanlar	2.4.1. Sürekli Ürünlerle Birlikte Bulunan Senelik Ürünler
		2.4.2. Karışık Tarım Alanları
		2.4.3. Doğal Bitki Örtüsü Bulunan Tarım Alanları
2.4.4. Ormanla Karışık Tarım Alanları		
3. Orman Yeri ve Yarı Doğal Alanlar	3.1. Ormanlar	3.1.1. Geniş Yapraklı Ormanlar
		3.1.2. İğne Yapraklı Ormanlar
		3.1.3. Karışık Ormanlar
	3.2. Maki ve/veya Otsu Bitkiler	3.2.1. Doğal Çayırliklar
		3.2.2. Fundalıklar
		3.2.3. Sert Yapraklı Bitki Örtüsü
		3.2.4. Bitki Değişim Alanları
	3.3. Bitki Örtüsü Az ya da Olmayan Alanlar	3.3.1. Sahiller, Kumsallar, Kumluklar
		3.3.2. Çıplak Kayalıklar
		3.3.3. Seyrek Bitki Alanları
3.3.4. Yanmış Alanlar		
3.3.5. Buzul ve Kalıcı Kar		
4. Sulak Alanlar	4.1. İç Sulak Alanlar	4.1.1. Bataklıklar
		4.1.2. Turbalıklar
	4.2. Kıyısal Sulak Alanlar	4.2.1. Tuz Bataklıkları
		4.2.2. Tuzlalar
		4.2.3. Gel-git Olayı İle Oluşan Düzlükler
5. Su Yapıları	5.1. Karasal Sular	5.1.1. Su Yolları
		5.1.2. Su Kütleleri
	5.2. Deniz Suları	5.2.1. Kıyı Lagünleri
		5.2.2. Nehir Ağzları, Deltalar
		5.2.3. Deniz ve Okyanuslar

### 3.1. Arazi Kullanımında Sektörel Değişimler

CORINE arazi örtüsü verileri bazında Seviye I ölçeğinde temel arazi örtüsü sınıfları incelendiğinde, Türkiye'de 1990, 2000 ve 2006 yıllarında toplam arazi miktarları ve Türkiye yüzölçümü içerisindeki paylar bakımından genel görünümle 1990-2000 ve 2000-2006 değişim dönemleri sürecinde hesaplanan yıllık gelişim hızları Çizelge 2'de sunulmaktadır. Değerler incelendiğinde, yapay bölgeler bazında, artış hızı ikinci dönemde azalmış olmakla birlikte, her iki dönemde de artış yönünde değişiklikler gözlemlendi; tarımsal alanlar tarafında daralmalar gözlenmekle birlikte bu yöndeki değişikliğe ait hızın ilk döneme kıyasla ikinci dönemde önemli oranda azaldığı; orman ve yarı doğal alanların bütününde her iki dönemde de durağan sayılabilecek bir durumun ortaya çıktığı ve su kaynaklarının geliştirilmesi amaçlarıyla örtüşecek şekilde karasal su kütlelerinde bir gelişimin söz konusu olduğu görülmektedir.

Çizelge 2. CORINE Seviye I Ölçeğinde Arazi Örtüsü Sınıf Değerleri ve Değişim Oranları

	Yapay Bölgeler (ha)	Tarımsal Alanlar (ha)	Orman ve Yarı Doğal Alanlar (ha)	Karasal Su Kütleleri (ha)
<b>1990</b>	962.504 (~ % 1.21)	33.482.275 (~ % 42.08)	42.119.738 (~ % 52.93)	116.6874 (~ % 1.47)
<b><math>\Delta</math> (ha/yıl)</b>	<b>+ 25.802,6</b> <b>ha/yıl</b>	<b>- 44.468,8</b> <b>ha/yıl</b>	<b>+ 4.288,9</b> <b>ha/yıl</b>	<b>+ 9.333,6</b> <b>ha/yıl</b>
<b>2000</b>	1.220.530 (~ % 1.53)	33.037.587 (~ % 41.53)	42.162.627 (~ % 53.00)	1.260.210 (~ % 1.58)
<b><math>\Delta</math> (ha/yıl)</b>	<b>+ 6.292</b> <b>ha/yıl</b>	<b>- 2.301,8</b> <b>ha/yıl</b>	<b>- 4.327,7</b> <b>ha/yıl</b>	<b>+ 704,0</b> <b>ha/yıl</b>
<b>2006</b>	1.258.282 (~ % 1.58)	33.023.776 (~ % 41.50)	42.136.661 (~ % 52.95)	1.264.434 (~ % 1.59)

Yapay yüzeyler özelinde Seviye II sınıfları dikkate alındığında ise; barınma amaçlı kentsel dokuda %17-19 civarında artış gözlemlendiği, endüstriyel/ticari alanlar ile ulaşım altyapısında ilk dönemde %100'e yakın, ikinci dönemde ise bunun da üzerine çıkan artışların izlendiği, maden işletme sahalarının da içerisinde yer aldığı maden ocağı, boşaltım ve inşaat sahalarında ilk dönemde %35, ikinci dönemde ise %50 mertebelerinde gelişmeler bulunduğu, rekreasyon alanlarında ise %50

civarlarında yine artış yönünde değişiklikler gözlemlendiği söylenebilmektedir. Alt sınıflarda gözlenen tüm bu gelişmeler, Çizelge 1'de ifade edilen yapay alanların gelişim görünümünü destekler niteliktedir.

Çizelge 3. CORINE Seviye II Ölçeğinde Yapay Alan Alt Sınıf Değerleri

	1.1 Kentsel Doku (ha)	1.2 Endüstriyel, Ticari ve Ulaşım Birimleri (ha)	1.3 Maden Ocağı, Boşaltım ve İnşaat Sahaları (ha)	1.4 Yapay, Tarımsal Olmayan Alanlar (ha)
	<i>Sürekli/Kesikli Yerleşim Alanları</i>	<i>End./ Tic. Birimler; Karayolları, Demiryolları ve İlgili Alanlar; Limanlar; Havaalanları</i>	<i>Maden Çıkarım Sahaları; Boşaltım Sahaları; İnşaat Sahaları</i>	<i>Yeşil Şehir Alanları; Spor ve Eğlence Alanları</i>
<b>1990</b>	767.995	86.174	76.557	31.778
<b>2000</b>	902.731	167.203	102.980	47.616
<b>1990-2000 değişim</b>	%17,54	%94,03	%34,51	%49,84
<b>2006</b>	913.558	182.079	112.700	49.945
<b>2000-2006 değişim</b>	%1,2	%8,9	%9,4	%4,9
<b>1990-2006 değişim</b>	%18,95	%121,29	%47,21	%57,17

### 3.2. Madencilikte Arazi Kullanımı

Madencilik doğası gereği yeryüzünün topoğrafyasını değiştiren, büyük arazi değişikliklerinde neden olan bir sektördür. Özellikle açık ocak işletmeciliği yapılan maden alanlarında topografya geriye dönülmesi zor şekilde değiştirilmektedir. Yeraltı işletmelerinin ise yüzey tesisleri ve madenin türüne göre atık/artık döküm alanları yeryüzünde değişikliğe neden olmaktadır. Bu değişiklikler CORINE Projesi Arazi Örtüsü Sınıflandırmasında, maden çıkarım sahaları olarak 1.3.1 kodu ile haritalar üzerinde işaretlenmektedir.

1. Yapay Bölgeler / 1.3. Maden Ocağı, Boşaltım ve İnşaat Sahaları / 1.3.1 Maden Çıkarım Alanları diziliminde yer alan 1.3.1 Maden Çıkarım Alanları terimi "**İnşaat malzemelerinin ürettiği açık ocaklar ( kum ocağı, taş ocakları ) veya**



**diğer açık maden ocakları (Nehir yatağından çıkarılanlar hariç çakıl ocakları dahil)"nı ifade etmektedir.**

Bu başlığa dahil olanlar;

- balast , kum, kil , kaolen , çakıl , sert taş ocakları
- katı yakıtların (taş kömürü , linyit) çıkarılması
- kaya tuzu ocakları ,
- kıyı kumulları kapsamındaki kum ocaklarıdır.

Bu başlığa dahil olmayanlar aşağıda yer alan alanlar olup, bu alanlar yanlarında parantez içerisinde yer alan sınıflarda değerlendirilmektedir:

- petrol , gaz ve likit petrol gazı , petrol şeyller çıkarma sahaları (sınıf 121 )
- turbalıklar (sınıf 412 )
- madencilikle ilgili alanlar ( kömür zuhurları, cüruf döküm sahaları ) (sınıf 132 ) ilişkili arazi ,
- tuzlanmış kıyılar (sınıf 422 )
- kayşat kaplı alanlar (sınıf 332 )
- terk edilmiş veya rehabilite edilmiş madencilik alanları.

2006 yılı itibariyle Türkiye'deki maden çıkarım sahalarının dağılımı Şekil 4'de sunulmaktadır.

2006 Yılı CORINE Maden Çıkarım Sahaları



Şekil 4. Türkiye'deki Maden Çıkarım Sahalarının 2006 Yılı İtibariyle Dağılımı

Yapay alanlara ait Seviye III sınıflarından birisi olarak maden çıkarım sahalarının 1990, 2000 ve 2006 yıllarındaki genel durumları, 2000-2006 yılları arasında maden sahalarının terk edilmesi ve yeni maden çıkarım sahalarının oluşturulmasına bağlı olarak izlenen değişim detayları ile 1990-2000 ve 2000-2006

izleme dönemlerinden belirlenen yüzdesel net değişim oranları Çizelge 4'de sunulmaktadır.

Çizelge 4. CORINE Seviye III Ölçeğinde Maden Çıkarım Sahalarının Durumu ve Değişim Oranları

	Alan (ha)			Kazanım (ha)	Terk (ha)	Net Değişim (ha)	1990-2000 değişim %	1990-2006 değişim %
	1990	2000	2006	2000-2006				
1.3.1.Maden Çıkarım Sahaları	42.997	67.329	74.999	+ 9588	- 1918	7670	56,59	74,43

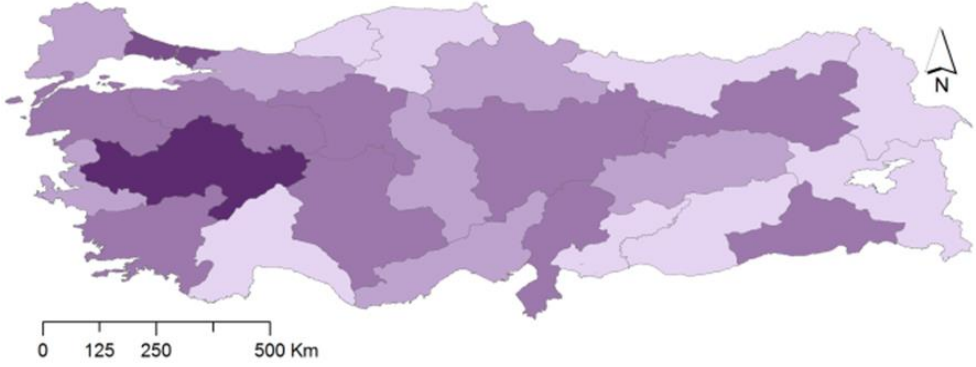
Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından belirlenen İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflandırması (İBBS) 2 seviyesinde (TÜİK, 2010) kümülatif olarak belirlenen Türkiye'deki maden çıkarım sahalarının bölge dağılımları 1990, 2000 ve 2006 yılları CORINE arazi örtüsü verilerine dayalı olarak Şekil 4'de sunulmaktadır. Şekil 5'de de benzer bir ifadeyle yine İBBS2 seviyesi bölgeleri bazında, bölge içi toplam yapay yüzeyler içerisinde maden çıkarım sahalarının payları 1990, 2000 ve 2006 yılları verilerinden oluşturulan grafik gösterimler yoluyla verilmektedir.

#### 4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Uzaktan algılama yöntemleri ve CBS çalışmaları, çevre sorunlarının önlenmesinde ve doğru çevre politikalarının oluşturulmasında karar vericiler için en önemli araçlardır. Güncel ve güvenilir veri ihtiyacını karşılayan bu çalışmalar başta çevrenin izlenmesi ve çevre sorunlarının belirlenmesi olmak üzere çok çeşitli konularda ve alanlarda kullanılabilir. Nüfus artışı ile artan hammadde ihtiyacı, madencilik sektörünün gelişmesine buna bağlı olarak çevre sorunlarının artmasına neden olmaktadır. Özellikle madencilik faaliyetleri nedeniyle topografyada oluşan değişiklikler arazinin bozulması, yüzey su akışı rejiminin farklılaşması, yeraltı su miktarının değişmesi gibi etkiler ekosistem dengesinde geriye dönülmez etkiler oluşturabilmektedir.

CORINE projesi ile arazi örtüsündeki değişimler tüm Avrupa ülkelerinde belirlenmiştir. Türkiye'de bu projenin içerisinde yer almış mülkiyete bağlı kalmaksızın mevcut arazi kullanım özellikleri belirlenmiştir.

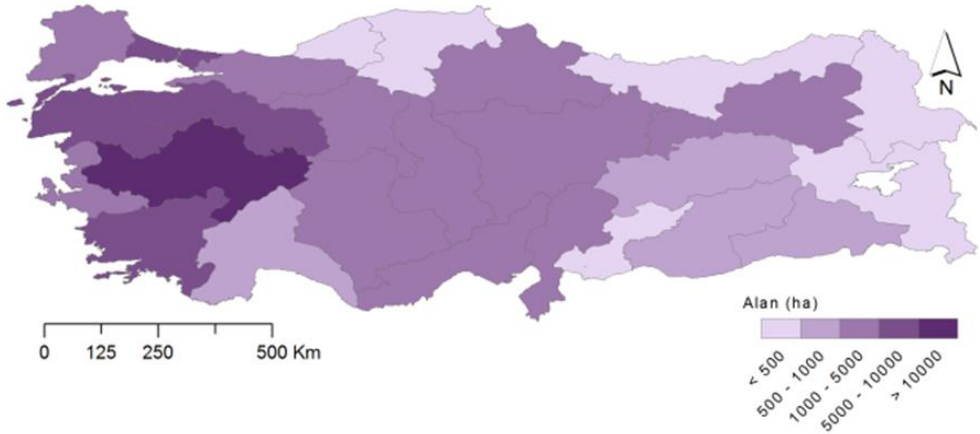
Maden Çıkarım Sahaları 1990 Yılı Arazi Örtüsü Dağılımı (İBBS2 Düzeyi)



Maden Çıkarım Sahaları 2000 Yılı Arazi Örtüsü Dağılımı (İBBS2 Düzeyi)

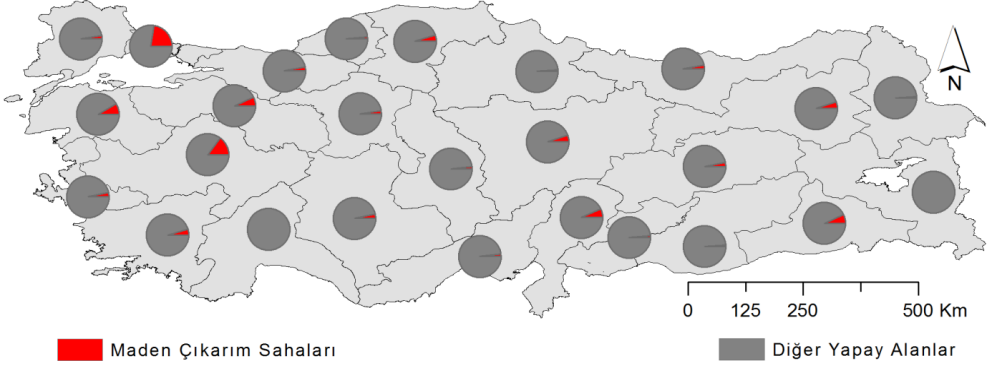


Maden Çıkarım Sahaları 2006 Yılı Arazi Örtüsü Dağılımı (İBBS2 Düzeyi)

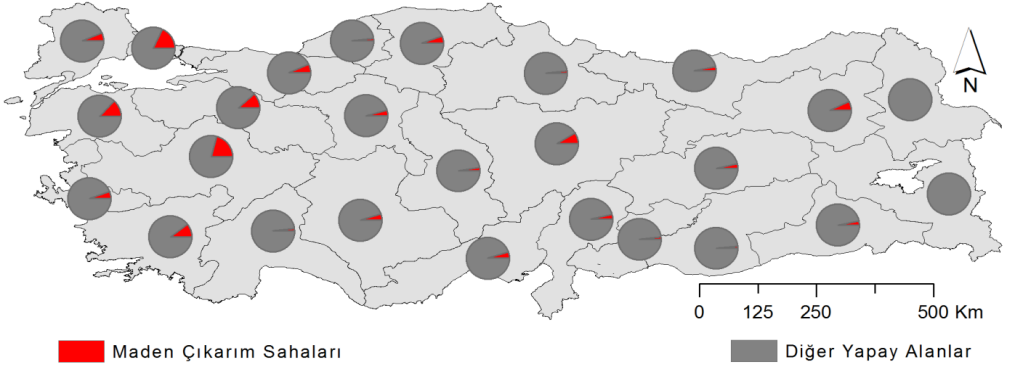


Şekil 5. İBBS2 Ölçeğinde Maden Çıkarım Sahalarının 1990, 2000 ve 2006 Yılı Dağılımları

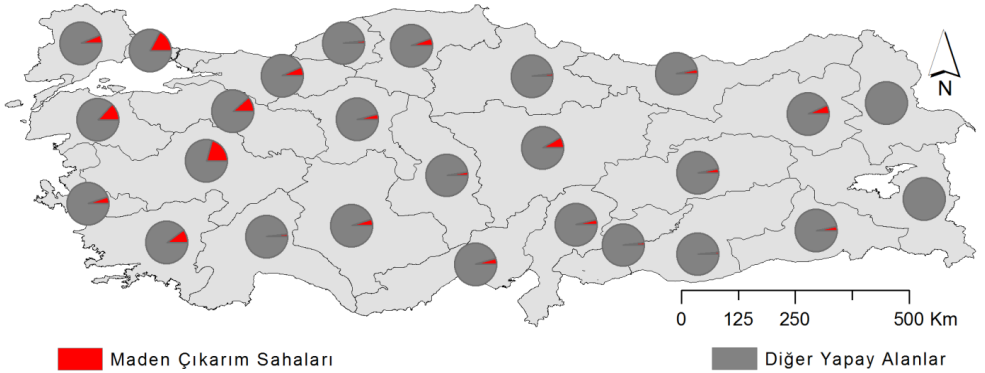
## 1990 Yılı CORINE Arazi Örtüsü Bazında Dağılım



## 2000 Yılı CORINE Arazi Örtüsü Bazında Dağılım



## 2006 Yılı CORINE Arazi Örtüsü Bazında Dağılım



Şekil 6. İBBS2 Ölçeğinde Maden Çıkarım Sahalarının Yapay Alanlar İçerisinde Payları

1990 yılı baz yıl alındığında 2000 yılında Türkiye’de en çok yapay bölgelerin arttığı(%1,21’den %1,53’e), tarımsal alanların azaldığı (%42,08’den %41,53’e), 2006 yılında ise yapay bölgelerin %1,58’e yükseldiği tarımsal alanların %41,50’ye gerilediği görülmektedir.

Yapay bölgeler kendi içerisinde ayrıntılandırıldığında 1990 yılı baz kabulüne göre Endüstriyel ve Ticari alanlar, Karayolları, Demiryolları; Limanlar; Havaalanlarını kapsayan 1.2. kodlu Endüstriyel, Ticari ve Ulaşım Birimlerinin 2000 yılında %94 arttığı, 2006 yılında bu oranın %121,29’a çıktığı ve Maden Çıkarım Sahaları; Boşaltım Sahaları; İnşaat Sahalarını kapsayan 1.3. kodlu Maden Ocağı, Boşaltım ve İnşaat Sahalarının 2000 yılında %34,51 arttığı, 2006 yılında bu oranın %47,21’e çıktığı görülmektedir.

Madencilik sektörü özelinde veriler incelendiğinde 1990 yılı baz kabul edildiğinde 2000 yılında 1.3.1. kodlu Maden çıkarım sahalarının %56,59 arttığı, 2006 yılında bu oranın %74,43’e çıktığı görülmektedir.

Türkiye’de Tarımsal Alanlar ile Orman ve Yarı Doğal Alanların giderek azaldığı, yapay bölgelerin hızla arttığı, Endüstriyel, Ticari ve Ulaşım Birimlerinin en hızlı değişim gösteren sektör olduğu, Sürekli/Kesikli Yerleşim Alanlarının yapay bölgeler içerisinde en büyük alanı kapladığı izlenmektedir. Madencilik sektörünün kullandığı alanların Sürekli/Kesikli Yerleşim Alanlarının 1990’da yaklaşık %10’u olduğu, 2006’da bu oranın yaklaşık %8 olduğu görülebilmektedir.

CORINE veya benzer arazi izleme projelerinin sürekli güncellenmesi arazi kullanım kararların daha sağlıklı verilmesine imkan sağlayacaktır. Kullanılan görüntülerinin hassasiyetinin artırılması ise bu çalışmaların etkinliğini arttıracaktır.

## **KAYNAKLAR**

- Çivi, A., Akgündüz E., Kalaycı, K., İnan Ç., Sarıca E., Toru E., 2009, Coordination of Information on the Environment) Projesi, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 02-06 Kasım 2009, İzmir, [http://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/c95054981de037d\\_ek.pdf](http://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/c95054981de037d_ek.pdf)
- EEA,1995, CORINE land cover, [http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover/at\\_download/file](http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover/at_download/file)
- EEA, 2014a, Corine Land Cover 1990 raster data, European Environment Agency (Avrupa Çevre Ajansı), <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-1990-raster-3#tab-gis-data>
- EEA, 2014b, Corine Land Cover 2000 raster data, European Environment Agency (Avrupa Çevre Ajansı), <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2000-raster-3>

- EEA, 2014c, Corine Land Cover 2006 raster data, European Environment Agency (Avrupa Çevre Ajansı), <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-3>
- İTÜ, 2015, CORINE Ulusal Arazi Örtüsü Projesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, <http://www.corine.itu.edu.tr>
- JRC, 2005, IMAGE2000 and CLC2000: Products and Methods, Joint Research Centre.
- OSB (Orman ve Su İşleri Bakanlığı), 2011, Arazi İzleme Sistemi, [http://aris.cob.gov.tr/index.php?q=tr/arazi\\_kullanim/proje\\_kapsami](http://aris.cob.gov.tr/index.php?q=tr/arazi_kullanim/proje_kapsami)
- Öztürk, N., Dinç. U., 1995, Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Detaylı Toprak Etüdlerinde Kullanılma Olanakları, Tübitak, İlhan Akalan Toprak ve Çevre Sempozyumu, Cilt 1. Yay No: 7, Sayfa: A-194-203, Ankara
- Sönmez, N.K., ve Sarı, M., 2004, Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Esasları Ve Uygulama Alanları , <http://batem.gov.tr/yayinlar/derim/2004/54-68.pdf>
- TÜİK, 2010, İstatistik Bölge Birimleri Sınıflaması, Türkiye İstatistik Kurumu, <http://tuikapp.tuik.gov.tr/DIESS/SiniflamaSurumDetayAction.do?surumId=250&turId=7&turAdi=5>. Coğrafi Sınıflamalar.

# Madencilikte Çevre Mevzuatı ve ÇED Yönetmeliği Uygulamaları

## *Environmental Legislation and EIA Regulation Implementations of Mining*

E. Değerli

*Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, Ankara*

M.O. Güner

*Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara*

**ÖZET** İnsanlık tarihinin en eski üretim sektörü olan madencilik, ön araştırma ve işletme yatırımı en yüksek ve yatırımın geri kazanılması en riskli sektördür. Uygulama açısından bakıldığında diğer sanayi tesislerinin uygun yerlerde kurulabilme esnekliklerine karşın, maden işletme tesislerinin madenin bulunduğu yerde çalıştırılmak zorunluluğu vardır.

Bununla birlikte, madencilik projeleri, doğayı doğrudan tahrip eden ve bu nedenle çevre konusunda sürekli kamuoyunda eleştiri konusu olan projelerdir. Bu nedenle madencilik sektöründe çevre uyumlu madencilik yapılması ve emanet alınan doğanın eski haline geri getirilmesi için çevre mevzuatının uygulanması ve projenin daha başından itibaren çevre uyumlu bir üretim planlamasının yapılması büyük önem arz etmektedir.

Ülkemizde, 1982’de Çevre Kanununun çıkarılmasıyla, Çevre politikasının ana unsurlarından birisi; salt kirlenme sonrası temizleme yerine, günümüzde kabul gören çağdaş yaklaşımla, tamamlayıcı fonksiyon olarak kirlenmeden önce araştırma ve inceleme yaparak gerekli tedbirleri almak ve aldırarak olmuştur.

Bu politika kapsamında, çevre yönetiminin en etkin araçlarının başında ise ÇED çalışmaları gelmektedir. ÇED Yönetmeliği ve ÇED uygulaması, daha planlama aşamasında gerçekleştirilmesi düşünülen madencilik faaliyetlerinin olası çevresel etkilerinin tespit edilmesi olumsuz etkilere karşı alınacak önlemlerin de belirlenerek alınmasını sağlamaktadır. Bu bildiri; madencilik projelerinde ÇED Yönetmeliğinin nasıl uygulanacağı hususlarını kapsamaktadır.

**ABSTRACT** Preliminary survey and investment costs are highest at mining activities. Moreover, mining is the most risky sector considering recovering those investments. Apart from other plants which could be established anywhere, mining facilities has to be constructed where the ore is found.

In addition to economics, mining is constantly draw public's fire. For this reason, mining activities has to be compatible with the environment, and in order to rehabilitation of nature, environmental legislations have to be implemented and from the beginning of the project, the production has to be coherent with the earth.

For Turkey, after the 1982 Environmental Law and one of the key elements of that, instead of cleanse after the contamination, by studies and observations take necessary precautions before the contamination idea is used. This method is approved these modern times.

For this extent, EIA researches lead the environmental management. By the aid of EIA surveys, even at the planning stage, the favorable and adverse effects of the project are determined. If at the planning stage, the mining activities' possible adverse effects are determined, critical measures could be taken before the mining. This rescript involves how EIA legislation refers the mining sector and how EIA Regulations should be implemented for mining activities.

## 1. GİRİŞ

Madencilik faaliyetleri, yer alternatifi olmayan ve büyük maliyetler gerektiren faaliyetlerdir. Yıllarca da madencilik sektörü için rezerv, tenör, maliyet gibi üretim ve yatırıma yönelik faktörler geçerli olmuştur.

Sanayileşmenin gelişmesi, hızlı ve çarpık kentleşme, bunların sonucunda da tarım, orman ve yeşil alanların azalması madencilik faaliyetlerinin bulunduğu yerde işletilmesine kısıtlama getirmeye başlamıştır. Bazı yerlerde madencilik faaliyetleri yerleşim alanlarının içerisinde yapılı hale gelmiştir.

Ancak büyüyen sanayileşme ve sonucunda hızla gelişen kentleşme peşinden çevre kirliliği problemlerini getirmiştir. Gittikçe tahrip olması ve kirlenmesi nedeniyle yaşadığımız çevrenin korunması ve kirliliğin önlenmesi olgusu gündeme gelmiş ve çevreye yönelik yatırımlar ön planlara alınmaya başlanmıştır.

Madencilik faaliyetleri ile ilgili kararların verilmesinde, üretim ve yatırıma yönelik kriterlerin yanında çevre kriterleri de etkili olmaya başlamış, kimi zaman diğer kriterlerin bile önüne geçmiştir.



Yukarıda belirtilen nedenler ve gelen şikâyetler; diğer sektörlerde olduğu gibi madencilik faaliyetlerinde de çevre problemlerinin önceden tespit edilmesi, gerekli tedbirler alınarak yatırıma geçilmesi zorunluluğunu doğurmuştur.

Madencilik projelerinde planlama yapılabilmesi için öncelikle ülkemizde uygulanan çevre mevzuatının ve ÇED uygulamasının bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, ülkemizdeki madencilik faaliyetlerini ilgilendiren Çevre Mevzuatı ve ÇED uygulaması açıklanmıştır.

## **2. MADENCİLİK VE ÇEVRE**

Petrol ve madencilik faaliyetlerini aşağıdaki şekilde gruplandırmak mümkündür.

A- Madenin Aranması

B- Madenin Çıkarılması

- Açık Ocak İşletmesi
- Yer Altı İşletmesi

C- Cevher Hazırlama Tesisleri

- Kırma-Eleme, Öğütme, Yıkama

D- Cevher Zenginleştirme Tesisleri (-Biyolojik, Kimyasal, Isıl İşlem)

E- Petrol ve Doğal Gazın Çıkarılması, Taşınması

Madencilik faaliyetlerinin çevreye olan etkileri ise;

- Topografyanın bozulması
- Bitki örtüsünün ortadan kaldırılması
- Toz
- Gürültü
- Vibrasyon
- Atık
- Görsel Kirlilik şeklinde sıralanabilir.

### **2.1. Madencilik Yapılmasına İzin Verilmeyen Veya Özel İzin Alınması Gereken Alanlar**

Madencilik faaliyetlerine izin verilmeyen ya da şartlı izin verilen alanlar şunlardır:

- Doğal Sit Alanları, Arkeolojik Alanlar
- Milli Parklar
- Av ve Yaban Hayatı Koruma Alanları
- Özel çevre Koruma Bölgeleri
- Tarım Alanları
- Özel Ormanlar,

- Gençleştirme Yapılan Orman Alanları,
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine Göre Mutlak Koruma Alanı, Kısa Mesafeli Koruma Alanı, Orta Mesafeli Koruma Alanı ve Uzun Mesafeli Koruma Alanında belirli şartlar sağlanarak,
- Sulak Alanlar,

### 3. MADENCİLİK MEVZUATINDA ÇEVRE

Türkiye’de madencilik faaliyetleri 3213 sayılı Maden Kanunu hükümlerine göre yürütülmektedir. Bu kanunda, 5177 sayılı Kanun ve 5995 sayılı Kanun ile düzenlemeler yapılmıştır. Bu değişikliklerle; daha önce maden kanunu kapsamında yer almayan taş, kum-çakıl ocakları maden kanunu kapsamına alınmış ve madencilik faaliyetleri ile ilgili olarak alınacak izinlere ilişkin düzenlemeler getirilmiştir.

Madencilik faaliyetlerinde izinler, Maden Kanununun 7. maddesinde; “(İptal fıkra: Anayasa Mah.nin 15/01/2009 tarihli ve E. 2004/70, K. 2009/7 sayılı Kararı ile.) \*2\* ;(Düzenlenen fıkra: 10/06/2010-5995 S.K./3.mad.) Madencilik faaliyetlerinin yapılması ve ruhsatlandırma işlemlerinin yürütülmesi ile ilgili olarak yeni verilecek ruhsat alanlarına maden işletme yöntemi, faaliyetin yapıldığı bölge, madenin cinsi, yapılacak yatırımın çevresel etkileri, şehirleşme ve benzeri hususlar dikkate alınarak, temdit talepleri dâhil ruhsat verilen alanlarda kazanılmış haklar korunmak kaydıyla, ilgili kurumların görüşleri alınarak Bakanlık tarafından kısıtlama getirilebilir. İlk müracaat veya ihale yolu ile yapılacak ruhsatlandırmalarda müracaatın yapılacağı alanlar diğer kanunlar ile getirilen kısıtlamalar göz önüne alınarak Bakanlıkça ruhsat müracaatına kapatılabilir. Kısıtlama gerekçesi ortadan kalkan alanlar ihale yoluyla aramalara açılır. Bu Kanun dışında madencilik faaliyetleri ile ilgili olarak yapılacak her türlü kısıtlama ancak kanun ile düzenlenir.

(Ek fıkra: 10/06/2010-5995 S.K./3.mad.) Özel çevre koruma bölgeleri, milli parklar, yaban hayatı koruma ve geliştirme sahaları, muhafaza ormanları, 4/4/1990 tarihli ve 3621 sayılı Kıyı Kanununa göre korunması gerekli alanlar, 1 inci derece askeri yasak bölgeler, 1/5000 ölçekli imar planı onaylanmış alanlar, 1 inci derece sit alanları ile madencilik amacı dışında tahsis edilen ve Genel Müdürlük tarafından uygun görüş verilen elektrik santralleri, organize sanayi bölgeleri, petrol, doğalgaz ve jeotermal boru hatları gibi yatırım alanlarına ait koordinatlar ilgili kurumlar tarafından Genel Müdürlüğe bildirilir.

(Ek fıkra: 10/06/2010-5995 S.K./3.mad.) Bu alanlara yapılan ruhsat müracaatlarının hak sağlaması halinde iki ay içinde harç ve teminatın

yatırılmasından sonra bu alanlara ilişkin ilgili kurumlardan izin alınması için müracaat sahibine bir yıl süre verilir. Bu süre içinde izin alınması durumunda Kanunun 16ncı maddesine göre ruhsat düzenlenir, izin alınmaması halinde müracaat reddedilir. Müracaat alanının bir kısmının bahse konu alanlarla çakışması halinde, çakışan alan dışındaki serbest alana ilişkin olarak iki aylık süre içinde Kanunun 16 ncı maddesine göre müracaatta bulunulması halinde ruhsat düzenlenir. Aksi halde tüm müracaat alanı bu süre sonunda müracaatlara açık hale gelir.

(Ek fıkra: 10/06/2010-5995 S.K./3.mad.) Devlet ormanları içinde yapılacak maden arama ve işletme faaliyetleri ile bu faaliyetler için zorunlu ve ruhsat süresine bağlı olarak yapılan geçici tesislere 31/8/1956 tarihli ve 6831 sayılı Orman Kanunu hükümlerine göre izin verilir.

(Ek fıkra: 10/06/2010-5995 S.K./3.mad.) Yaban hayatı koruma ve geliştirme sahalarında maden arama ve işletme faaliyetleri ile bu faaliyetler için gerekli geçici tesislere çevresel etki değerlendirme raporunda belirlenen esaslar dahilinde izin verilir. Alınan izinler, temditler dahil ruhsat hukuku sonuna kadar devam eder.

(Ek fıkra: 10/06/2010-5995 S.K./3.mad.) Uygulanan yöntem, teknoloji ve derinliğe bağlı olarak projesi Genel Müdürlükçe uygun bulunan yeraltı madencilik faaliyetlerinin tekabül ettiği yüzey alanı için herhangi bir izin alınmaz. Yeraltı madencilik faaliyetlerine bağlı olarak gerekli olan yerüstü tesisleri veya galeri ağının isabet ettiği alan için gerekli izinlerin alınması zorunludur.

(Ek fıkra: 10/06/2010-5995 S.K./3.mad.) Madencilik faaliyeti yapılan alanların, izne tabi alan olmaları halinde, ilgili olduğu kanun hükümlerine göre gerekli izinlerin alınması zorunludur. Ancak, Genel Müdürlükçe işletme ruhsatı verildikten sonra, işletme ruhsat alanının diğer kanunlara göre izne tabi alan haline gelmesi durumunda ilgili kanunların öngördüğü yükümlülüklerin yerine getirilmesi suretiyle kazanılmış haklar korunarak faaliyetler sürdürülür. Diğer kanunlara göre izne tabi alanlar, Genel Müdürlüğün görüşü alınarak belirlenir.

(Ek fıkra: 10/06/2010-5995 S.K./3.mad.) Kazanılmış haklar korunmak kaydıyla içme ve kullanma suyu rezervuarının maksimum su seviyesinden itibaren 1000-2000 metre mesafe genişliğindeki şeritte galeri usulü patlatma yapılmaması, alıcı ortama arıtma yapılmadan doğrudan su deşarj edilmemesi şartıyla çevre ve insan sağlığına zarar vermeyeceği bilimsel ve teknik olarak belirlenen maden arama ve işletme faaliyetleri ile altyapı tesislerine izin verilir. 2000 metreden sonraki koruma alanı içinde çevresel etki değerlendirmesi raporuna göre yapılması uygun bulunan maden istihracı ve her türlü tesis yapılabilir. Ancak faaliyet sırasında alıcı ortama yapılacak deşarjlarda ilgili yönetmelikte belirtilen limitlere uyulması zorunludur.

(Ek fıkra: 10/06/2010-5995 S.K./3.mad.) Maden üretim faaliyetleri ile bu faaliyetlere dayalı ruhsat sahasındaki tesisler için işyeri açma ve çalışma ruhsatları il özel idareleri tarafından verilir. Bu ruhsatların verilmesi sırasında 2464 sayılı Belediye Gelirleri Kanunu hükümlerine göre belediyelerin tahsil ettiği işyeri açma izni harcı il özel idaresi tarafından tahsil edilir. Bu bedelin % 50'si ruhsatın bulunduğu bölgeyle sınırlı olarak altyapı yatırımlarında kullanılmak üzere, doğrudan ilgili ilçe veya ilçelerin Köylere Hizmet Götürme Birlikleri hesabına aktarılır. Bu alanların belediyelerin mücavir alanı içerisinde kalması durumunda tahsil edilen harcmın % 50'si ilgili belediyenin hesabına aktarılır.

İlgili bakanlıkların mevzuatı gereği yapacakları inceleme ve denetimlerde; ruhsat alanlarında ilgili Kanun esaslarına uygun çalışılmadığının tespiti halinde, mevzuat çerçevesinde yapılacak işlemler Genel Müdürlüğe bildirilir. Çevre ve insan sağlığına zarar verdiği tespit edilen madencilik faaliyetleri gerekli önlemler alınıncaya kadar durdurulur.

Çevresel etki değerlendirmesi işlemleri Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından, diğer izinlere ilişkin işlemler de ilgili bakanlıklar ve diğer kamu kurum ve kuruluşlarınca çevresel etki değerlendirmesi sürecinde en geç üç ay içinde bitirilir. Bakanlık ve diğer bakanlıkların mevzuatının gerektirdiği maddî yükümlülükler ruhsat sahibi tarafından karşılanır.

(Değişik fıkra: 10/06/2010-5995 S.K./3.mad.) İmar alanları içinde kalan madencilik faaliyetleri, ilgili yerel merciden izin alınarak yapılır. Ruhsat alındıktan sonra imar alanları içine alınan maden sahalarına bu hüküm uygulanmaz. İmar planı bulunmayan alanlarda yapılan veya yapılacak olan madencilik faaliyetleri ile bu faaliyetlere bağlı geçici tesisler ve bunların müştemilatı için imar planı yapılmaz. İşletme ruhsatları çevre düzeni ve imar planları notuna işlenir. İmarsız alanlarda yürütülen madencilik faaliyetleri için gerekli olan geçici tesisler ve bunların müştemilatı, inşaat ve yapı kullanma iznine tabi değildir. Ancak, yapıların fen ve sağlık kurallarına uygun olması ve ilgili il özel idaresine bildirilmesi zorunludur. İmarsız alanlarda yürütülen madencilik faaliyetleri için gerekli olan geçici tesisler ve bunların müştemilatı niteliğindeki yapıların, ruhsat sahibi tarafından madencilik faaliyetinin sonlandırılmasını müteakip bir yıl içinde kaldırılması, bunlardan çevresel etki değerlendirmesi olumlu kararı alınmış olanların, çevresel etki değerlendirmesi raporunda belirtildiği şekli ile her iki alanda da yol, su, haberleşme, enerji nakil hattı, bant konveyör, havai hat ve kuyu tesislerinin ilgili idarenin onayı ve talebi doğrultusunda bedelsiz olarak kalmasına izin verilebilir. Diğerlerinin ise süresinde yerinden kaldırılması veya çevre ile uyumlu hale getirilmesi zorunludur. Ruhsat sahibinin bu yükümlülüklerini yerine

getirmemesi halinde, çevre ve insan sağlığı bakımından sorumlulukları devam eder. Ruhsat sahibi tarafından yapılması gereken işlemler valilik veya ilgili idare tarafından yerine getirilerek yapılan masraflar 21/7/1953 tarihli ve 6183 sayılı Amme Alacaklarının Tahsil Usulü Hakkında Kanun hükümlerine göre tahsil edilir.

Kamu hizmeti veya umumun yararına ayrılmış yerlere ve bu tür tesislere 60 metre mesafe dahilinde madencilik faaliyetleri Bakanlığın, binalara 60 metre, özel mülkiyete konu araziye 20 metre mesafe dahilinde ise mülk sahibinin iznine bağlıdır. Bu mesafeler, ihtiyaç halinde madencilik faaliyetlerinin boyutu, emniyet tedbirleri ve arazinin yapısı dikkate alınarak Bakanlıkça artırılabilir. Mesafeler yatay olarak hesaplanır.

Maden arama faaliyetleri, bu Kanunda sayılanlar dışında herhangi bir izne tâbi değildir. İşletme faaliyetleri ise, bu Kanuna göre Bakanlıkça çıkarılacak yönetmeliğe göre yürütülür.

(Değişik fıkra: 10/06/2010-5995 S.K./3.mad.) Madencilik faaliyetleri ile Devlet ve il yolları, otoyollar, demir yolları, havaalanı, liman, baraj, enerji tesisleri, petrol, doğalgaz, jeotermal boru hatları, su isale hatları gibi kamu yararı niteliği taşıyan yatırımların birbirlerini engellemesi, maden işletme faaliyetinin yapılamaz hale gelmesi, yatırım için başka alternatif alanların bulunamaması durumunda, madencilik faaliyeti ve yatırımla ilgili karar, Kurul tarafından verilir.

(Ek fıkra: 10/06/2010-5995 S.K./3.mad.) Herhangi bir yatırım yapılmamış I. Grup madenler, mıcır, kaba inşaat, baraj, gölet, liman, yol gibi yapılarda kullanılan her türlü yapı hammaddeleri için verilen ruhsatlar ile görünür rezervi belirlenmemiş diğer grup maden ruhsat sahaları ile çakışan aynı yerdeki diğer yatırımlara Genel Müdürlükçe izin verilir. Ruhsatlı sahalarda görünür rezervi belirlemek üzere yapılan sondaj, kuyu, galeri, desandre gibi işler için yapılan yatırımların ve maden varlığının belgelenmesi durumunda tespit edilen görünür rezerv alanı dışındaki alanlar için, diğer yatırımların madencilik faaliyetlerini engellemeyeceğine Genel Müdürlükçe karar verilmesi halinde diğer yatırım için izin verilir. Bu alanlarda ruhsat sahibi tarafından yapılmış yatırımı etkileyen bir husus var ise bu alanla ilgili karar Kurul tarafından verilir. İşletme ruhsat alanı içerisinde ancak işletme izni veya görünür rezerv alanı dışındaki bir alanda diğer yatırımlara Genel Müdürlükçe izin verilebilir. Yatırımın işletme izni veya görünür rezerv alanı ile çakışması durumunda, Kurul tarafından karar verilir. Arama ruhsatı döneminde hiçbir yatırım yapılmamış ise diğer yatırımlara engel teşkil etmez.

(İptal fıkra: Anayasa Mah.nin 15/01/2009 tarihli ve E. 2004/70, K. 2009/7 sayılı Kararı ile.) \*3\* ;Düzenlenen fıkra: 10/06/2010-5995 S.K./3.mad.) Kurul, Devlet Planlama Teşkilatının bağlı olduğu bakanın başkanlığında Enerji ve Tabii

Kaynaklar Bakanı, diğer yatırımcı kurum ya da kuruluşun bağlı olduğu bakan/bakanlar ve yatırım kararına onay veren kurumun ilgili olduğu bakan olmak üzere asgari üç kişiden oluşur. Ancak, yatırımcı kuruluşun Devlet Planlama Teşkilatının bağlı olduğu Bakanlığa veya Bakanlığa bağlı ilgili veya ilişkili bir kurum ve katılımcı sayısının üçün altında olması halinde Sanayi ve Ticaret Bakanı Kurula katılır. Kurul, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı veya ilgili taraf bakanlardan herhangi birinin daveti üzerine toplanır ve kararlarını üye tamsayısının salt çoğunluğuyla alır. Kurul tarafından alınan karar, kamu yararı kararı yerine geçer. Kurulun sekreteryası, Genel Müdürlük tarafından yürütülür.

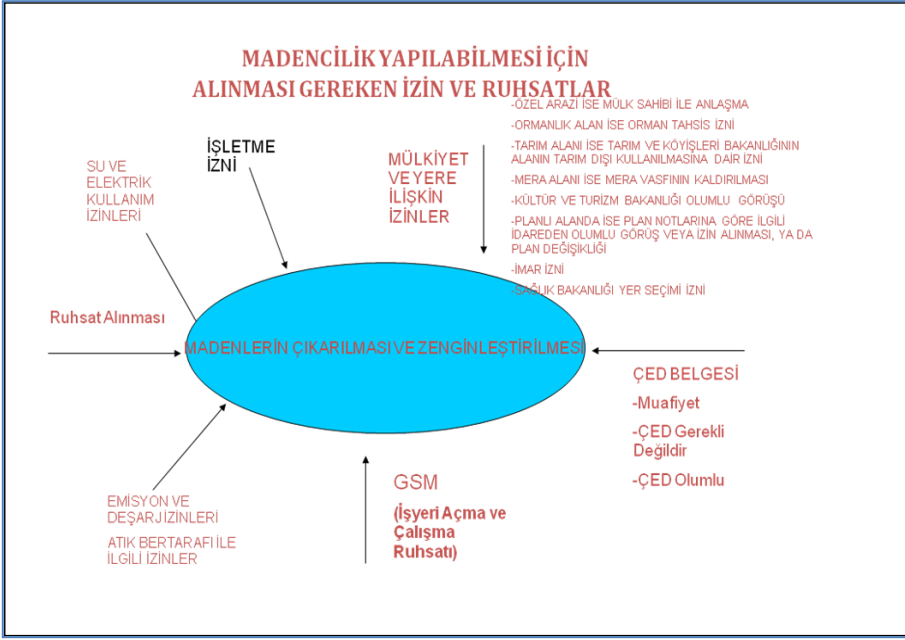
(Değişik fıkra: 10/06/2010-5995 S.K./3.mad.) Kurul tarafından verilecek kararlarda; görünür rezerv alanı ile diğer yatırımın çakışması halinde öncelikle madenin makul bir sürede üretilebilme imkanının olup olmadığı, ara ve uç ürüne yönelik madencilğe dayalı sanayi tesislerinin hammadde ihtiyacını karşılayan ruhsatlı sahalarda, tesisin hammadde ihtiyacını karşılayacak şekilde alternatif alanların bulunup bulunmadığı dikkate alınarak değerlendirme yapılır.

(Değişik fıkra: 18/02/2015- 29271 S.K./4.mad. “Kurul veya Genel Müdürlük tarafından gerekli görülmesi hâlinde hazırlatılan rapor, danışmanlık ücretleri, yapılacak tetkik ve incelemeler için gerekli yolluk, gündelik ve benzeri tüm harcamalar yatırımcı veya ruhsat sahibi tarafından karşılanır. Ayrıca Kurul veya Genel Müdürlük kararı ile faaliyeti kısıtlanan maden işletmecisinin veya yatırım sahibinin yatırım giderleri, lehine karar verilen tarafça tazmin edilir. Yatırım giderlerinin tespiti ve tazmin esasları Genel Müdürlük tarafından çıkarılan yönetmelikle belirlenir.”

(Değişik fıkra: 18/02/2015- 29271 S.K./4.mad.) “Çevresel etki değerlendirmesi ile ilgili karar, işyeri açma ve çalışma ruhsatı, mülkiyet izni olmadan veya on üçüncü fıkraya aykırı faaliyette bulunulduğunun tespiti hâlinde 30.000 TL tutarında idari para cezası uygulanarak bu alandaki işletme faaliyetleri durdurulur. Bu ihlallerin üç yıl içinde üç kez veya daha fazla yapıldığının tespiti hâlinde ise ruhsat iptal edilir.” olarak ifade edilmiştir.

Madencilik Faaliyetleri Uygulama Yönetmeliği çıkarılarak diğer konularla birlikte yapılacak faaliyetlerin çevreyle olan ilişkileri de düzenlenmeye çalışılmıştır.

Çevre konusunda daha çok Çevre Mevzuatına ve özellikle ÇED Yönetmeliğine atıfta bulunularak birçok işlem bu yönetmelikle ilişkilendirilmiştir. Madencilik faaliyetlerine ilişkin izin süreci aşağıda verilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Madencilik İzin Süreci

#### 4. MADENCİLİK SEKTÖRÜNÜ İLGİLENDİREN ÇEVRE MEVZUATI

Çevre Kanunu ve Kanun uyarınca çıkarılmış çok sayıda yönetmelik ve bulunmaktadır. Bu mevzuatın tamamı madencilik faaliyetlerini ilgilendirmektedir. Aşağıda Madencilik Faaliyetlerini ilgilendiren çevre mevzuatının öne çıkanları verilmektedir.

- Çevre Kanunu
- ÇED Yönetmeliği
- Su Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği,
- Madencilik Faaliyetleri Sonucu Bozulan Arazilerin Doğaya Geri Kazanım Yönetmeliği,
- Kum Çakıl ve Benzeri Maddelerin Alınması, İşletilmesi Ve Kontrolü Yönetmeliği,
- Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği
- Sanayi Tesislerinden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
- Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği,
- Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği,
- Evsel Katı Atık Yönetmeliği,
- Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği,

- Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği,
- Yaban Hayatı Korunması ve Yaban Hayatı Geliştirme Sahaları İle İlgili Yönetmelik
- Özel Çevre Koruma Bölgeleri Plan Hükümleri
- Çevre Düzeni Plan Notları

## 5. ÇED YÖNETMELİĞİ VE MADENCİLİKTE ÇED UYGULAMALARI

### 5.1. ÇED ve ÇED Yönetmeliği

ÇED; Projelerin çevreye olabilecek olumlu ya da olumsuz etkilerinin belirlenmesinde, olumsuz yöndeki etkilerin önlenmesi ya da en aza indirilmesi, yer ve teknoloji alternatiflerinin değerlendirilmesi sürecidir(Şekil 2).



Şekil 2. ÇED Uygulaması

Çevre politikalarının ana unsurlarından birisi, salt kirlenme sonrası temizleme faaliyetleri yerine, günümüzde kabul gören çağdaş yaklaşımla, tamamlayıcı fonksiyon olarak kirlenmeden araştırma ve inceleme yaparak koruyucu tedbirler almaktır.



ÇED Yönetmeliği; Çevre Kanunu'nun 10 uncu maddesine dayanılarak ilk olarak 7 Şubat 1993 tarihinde yürürlüğe girmiştir. 23 Haziran 1997, 6 Haziran 2002, 16 Aralık 2003, 17 Temmuz 2008, 03.10.2013 ve 10 Eylül 2014 tarihlerine revize edilmiştir. Halen 10 Eylül 2014 tarihli ve 29186 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan ÇED Yönetmeliği yürürlüktedir.

ÇED Yönetmeliğinin amacı, Çevresel Etki Değerlendirmesi sürecinde uyulacak idari ve teknik usul ve esasları düzenlemektir.

## **5.2. Madencilik Projelerinin ÇED Yönetmeliğindeki Yeri**

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

### **5.2.1.Ek-I Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulanacak Projeler Listesi**

Madencilik projeleri, ÇED Yönetmeliğinin ÇED Uygulanacak Projeler Listesinin 27., 28. ve 29. maddeleri kapsamında yer almaktadır.

“27- Madencilik projeleri:

- a) 25 hektar ve üzeri çalışma alanında (Kazı ve döküm alanı toplamı olarak) açık işletmeler,
- b) 150 hektarı aşan (Kazı ve döküm alanı toplamı olarak) çalışma alanında açık işletme yöntemi ile kömür çıkarma,
- c) Biyolojik, kimyasal, elektrolitik ya da ısıl işlem yöntemleri uygulanan cevher zenginleştirme tesisleri ve/veya bu zenginleştirme tesislerine ilişkin atık tesisleri,
- d) 400.000 ton/yıl ve üzeri kırma, eleme, yıkama ve cevher hazırlama işlemlerinden en az birini yapan tesisler.

28- 500 ton/gün ham petrol, 500.000 m<sup>3</sup>/gün doğal gaz veya kaya gazının çıkarılması,

29- Petrol, doğalgaz ve kimyasalların 40 km'den uzun 600 mm ve üzeri çaplı borularla taşınması.”

### **5.2.2.Ek-II Seçme-Eleme Kriterleri Uygulanacak Projeler Listesi**

Madencilik projeleri, ÇED Yönetmeliğinin Seçme-Eleme Kriterleri Uygulanacak Projeler (Ek-II) Listesinin 25.,49., 50., 51., 52., 53., 54., ve 55. Maddeleri kapsamında yer almaktadır.

“49- Madencilik projeleri:

- a) Madenlerin çıkarılması, (Ek-1 listesinde yer almayanlar)
- b) Yıllık 5.000 m<sup>3</sup> ve/veya 250.000 m<sup>2</sup> ve üzeri kapasiteli mermer ve dekoratif taşların kesme, işleme ve sayalama tesisleri,
- c) 1.000.000 m<sup>3</sup>/yıl ve üzerinde metan gazının çıkartılması ve depolanması,
- d) Karbondioksit, kaya gazı ve diğer gazların çıkartıldığı, depolandığı veya işlendiği tesisler, (Atölye tipi dolun tesisleri hariç)
- e) Kırma, eleme, yıkama ve cevher hazırlama işlemlerinden en az birini yapan tesisler, (Ek-1 listesinde yer almayanlar)
- f) Cevher zenginleştirme tesisleri ve/veya bu zenginleştirme tesislerine ilişkin atık tesisleri, (Ek-1 listesinde yer almayanlar)

50- Kömür işleme tesisleri:

- a) Havagazı ve kok fabrikaları,
- b) Kömür briketleme tesisleri,
- c) Lavvar tesisleri,

51- Petrokok, kömür ve diğer katı yakıtların depolama, sınıflama ve ambalajlama tesisleri, (Perakende satış birimleri hariç)

52- Kireç fabrikaları ve/veya alçı fabrikaları,

53- Manyezit işleme tesisleri,

54- Perlit ve benzeri maden genleştirme tesisleri,

55- Maden, petrol ve jeotermal kaynak arama projeleri, (Sismik, elektrik, manyetik, elektromanyetik, jeofizik vb. yöntemle yapılan aramalar hariç)

25- Tuzun çıkarıldığı ve/veya işlendiği tesisler, (Eleme, paketleme hariç)”

### **5.3. Arama Faaliyetlerinin ÇED Yönetmeliği kapsamına Alınması Süreci**

Anayasa Mahkemesi tarafından, 2004/70 Esas numarası ile açılan davada 11 Haziran 2009 tarihinde 27255 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan, 15 Ocak 2009 tarih ve 2009/7 sayılı karar ile 5117 Sayılı Kanun ile Dğişik 3213 sayılı Kanunun 7. Maddesi iptal edilmiştir. Aynı Anayasa Mahkemesi Kararı ile, maden ve petrol aramalarının ÇED Kapsamı dışında olduğuna dair hükmü içerene 2872 Sayılı Çevre Kanunu’nun 10. Maddesinin Üçüncü Fıkrası da iptal edilmiştir.

Anayasa Mahkemesinin Kararı üzerine ve kararda belirtilen hükümlerin yerine getirilebilmesi amacıyla mülga Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından, maden aramalara eşik değer getirilen ve aşağıda hükümleri belirtilen “Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmelik” düzenlenmiş olup 19 Aralık 2009 tarihinde de ve 27437 Sayılı Resmi Gazetede yayımlanmıştır:

**MADDE 1** – 17/7/2008 tarihli ve 26939 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği’nin Ek II’sinde yer alan Seçme-Eleme Kriterleri Uygulanacak Projeler Listesinin 47 nci maddesinden sonra gelmek üzere aşağıdaki 48 inci madde eklenmiştir.

“48. Arama Faaliyetleri:

- a) Hektar başına 500 m<sup>3</sup>’ün üzerinde yapılan yarmalı aramalar,
- b) Ruhsat alanı içerisinde toplam 5000 m.’nin üzerindeki maden arama sondajları,
- c) Ruhsat alanı içerisinde toplam 10 000 m.’nin üzerindeki jeotermal arama sondajları,
- d) Ruhsat alanı içerisinde hektar başına 10 adet sondaj ve üzerinde yapılan Petrol ve doğalgaz arama sondajları.”

**MADDE 2** – Bu Yönetmelik yayımı tarihinde yürürlüğe girer.

**MADDE 3** – Bu Yönetmelik hükümlerini Çevre ve Orman Bakanı yürütür.

Ancak, Danıştay, tarafından, maden aramalara eşik değer getirilemeyeceği gerekçe göstererek 19 Aralık 2009 tarihinde de ve 27437 Sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmelik” i iptal etmiştir.

Danıştay kararı üzerine, mülga Çevre ve Orman Bakanlığınca, 30 Haziran 2011 tarih ve 27980 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmelik” ile maden arama faaliyetlerini eşik değer uygulamadan ÇED Kapsamına almış ve “Arama Faaliyeti Eleme-Kontrol Formu” uygulamasını getirmiştir.

**MADDE 5** – Aynı Yönetmeliğin 25 inci maddesinin başlığı aşağıdaki şekilde değiştirilmiş ve aynı maddeye aşağıdaki fıkralar eklenmiştir.

**“Entegre projeler ve arama faaliyetleri”**

“(2) Arama faaliyetleri için bu Yönetmeliğin Ek-VI’sında yer alan “Arama Faaliyeti Eleme Kontrol Formu” ile müracaatta bulunulur.

“(3) Proje sahibi, arama projeleri için, çevresel etkilerin araştırılması amacıyla, bir dilekçe ekinde bu Yönetmeliğin Ek-VI’sında yer alan formu 2 nüsha halinde Bakanlığa sunar. Bakanlık sunulan formu inceleyip değerlendirerek faaliyetin gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceği hususunda karar verir. Gerek görüldüğü takdirde, “Proje Tanıtım Dosyasının Hazırlanmasında Esas Alınacak Seçme Eleme Kriterleri” başlıklı Ek-IV’te yer alan formata göre Proje Tanıtım Dosyası hazırlanması istenir.”

## “EK-VI: ARAMA FAALİYETİ ELEME-KONTROL FORMU

Proje sahibinin adı, adresi, telefon ve faks numarası:

Projenin adı:

Proje için seçilen yerin adı, mevki:

Ruhsat numarası:

Formu hazırlayan çalışma grubunun adı, adresi, telefon ve faks numaraları

<b>Dikkate alınacak sorular</b>	
1- Proje ve yakın çevresinde EK V Listesinde belirtilen Yörelere ilişkin bilgi	
2- Arama yapılacak alanın koordinatları	
3-Yapılacak arama faaliyetinin türü(yarma, sondaj, Jeofizik vb)	
4- Proje sahasına en yakın yerleşim yeri ve projenin yapıldığı mevcut arazi kullanım durumu	
5- Çalışan personel sayısı ve ekipman	
6- Yapılan faaliyetten kaynaklanan etkiler ve alınacak önlemler	
7- Projede kullanılacak maddeler ve miktarları	
8- Atık üretimi ve bertaraf yöntemi	
9- Doğa geri kazanım planı	

Revize edilen 3 Ekim 2013 tarihinde 28784 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan ÇED Yönetmeliği ile maden arama faaliyetleri, için Yönetmeliğin Ek-II Listesinde yer alan projeler gibi Proje Tanıtım Dosyası hazırlanması yükümlülüğü getirilmiştir.

### **Arama projeleri**

**MADDE 26** – (1) Maden, petrol, doğalgaz, kaya gazı veya jeotermal kaynak arama projeleri için EK-4’te yer alan ‘proje tanıtım dosyasının hazırlanmasında esas alınacak seçme eleme kriterleri’ doğrultusunda hazırlanan Proje Tanıtım Dosyası ile Bakanlığa müracaatta bulunulur.

(2) Proje sahibi, arama projeleri için, çevresel etkilerin araştırılması amacıyla, bir dilekçe ekinde EK-4’e göre hazırlanan 3 adet Proje Tanıtım Dosyasını

Bakanlığa sunar. Bakanlık sunulan Proje Dosyasını inceleyip değerlendirerek, proje hakkında ‘ÇED Gerekli Değildir veya ÇED Gereklidir Kararı’ verir. ÇED Gereklidir Kararı verildiği takdirde, Ek-3’te yer alan formata göre ÇED Başvuru Dosyası hazırlanması istenir.

(3) Arama projelerine ilişkin Proje Tanıtım Dosyası hazırlayanlarla ilgili hususlar tebliğ ile belirlenir.

Resmi Gazete Tarihi: 25.11.2014 tarihinde ÇED Yönetmeliği tekrar revize edilmiştir. Revize edilen ve 29186 Sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan ÇED Yönetmeliği maden arama faaliyetleri Yönetmeliğın Seçme-Elleme Kriterleri Uygulanacak Projeler (Ek-II) Listesi kapsamına alınmıştır.

## EK-2 LİSTESİ

### SEÇME-ELEME KRİTERLERİ UYGULANACAK PROJELER LİSTESİ

(Ek-1 Listesinde Yer Alan Alt Sınırlar Bu Listede Üst Sınır Olarak Alınır)

55- Maden, petrol ve jeotermal kaynak arama projeleri, (Sismik, elektrik, manyetik, elektromanyetik, jeofizik vb. yöntemle yapılan aramalar hariç)

### SEÇME, ELEME KRİTERLERİ UYGULAMA YÖNTEMİ (Dördüncü Bölüm)

- Seçme, eleme kriterlerine tabi projeler
- EK-2’de yer alan projeler,
- Bu Yönetmelik kapsamında yer alan ve eşik değeri olan fakat eşik değeri altında kaldığından yönetmelik kapsamı dışında kalan projelere ilişkin kapasite artırımı ve/veya genişletilmesi planlanması halinde, mevcut projenin kapasitesi ve kapasite artışı toplamı ile birlikte projenin yeni kapasitesi EK-2’de belirtilen eşik değeri veya üzerinde olan projeler,
- c) ÇED Olumlu Kararı verilmiş projelerde yapılacak kapasite artışı veya artışları toplamı EK-2’de yer alan eşik değerler ve üzerinde olan projeler,
- ç) ÇED Gerekli Değildir kararı verilmiş projelerde, mevcut proje ile kapasite artışı toplamı EK-2’de yer alan eşik değerler ve üzerinde olan projeler,

## 5.4. ÇED Yönetmeliği Kapsamı Dışında Yer Alan Projeler

07.02.1993 tarihinden önce üretime ve/veya işletmeye başladığını belgelendiren faaliyetler ÇED Yönetmeliği kapsamı dışında değerlendirilmektedir (Geçici 2. madde)

07.02.1993 tarihinden önce taş ocakları nizamnamesine göre ruhsat almış daha sonra işletme alanında değişiklik yapılmadan 5177 sayılı kanun ile değişik 3213 sayılı maden kanununa intibak ettirilmiş olan ocakların ÇED Yönetmeliği kapsamı dışında değerlendirilmesi gerekmektedir. (Geçici 2. madde)

23.06.1997 tarihinden önce kurulup faaliyete başladığını belgelendiren kırma-emele-yıkama-öğütme vb. işleri yapan tesislerin ÇED Yönetmeliği kapsamı dışında değerlendirilmesi gerekmektedir.

23/6/1997 tarihinden önce kamu yatırım programına alınmış olup, 29/5/2013 tarihi itibarıyla üretim veya işletmeye başlamış olan projeler ile bunların gerçekleştirilmesi için zorunlu olan yapı ve tesisler de ÇED Yönetmeliği kapsamı dışında değerlendirilmektedir.

#### **5.2.4. Kapasite Artışı ve ÇED Yönetmeliği Uygulaması**

Kapasite artışı, teknoloji değişikliği ve/veya alan genişletmesi yapılması planlanan projelere uygulanacak prosedür, ÇED Yönetmeliğinin “Olağanüstü durumlar ve özel hükümler başlıklı 24. Maddesinde yer alan

- d) Teknoloji değişikliği uygulamak suretiyle, verim artırımına, doğal kaynak kullanımını azaltmaya ve/veya çevre kirliliğini azaltmaya yönelik yapılacak istenilen değişiklikler veya prototip üretim yapan projeler,
- e) Ek-1 listesi veya Ek-2 listesinde olup, eşik değeri olmayan projelerde yapılacak her türlü değişikliği içeren projeler,
- f) “ÇED Olumlu” veya “ÇED Gerekli Değildir” kararı bulunan projelerde yapılacak kapasite artışı ve/veya genişletilmesi planlanan projeler.” hükümleri uyarınca, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından karar verilmektedir.

Madenlerin çıkarılması projeleri, ÇED kapsamında değerlendirilirken AB de olduğu gibi çıkarıldıkları alan göz önüne alınmaktadır.

Kömür dışındaki maden kanununda yer alan diğer madenlerin çıkarılmasında 25 hektar baz alınmaktadır. 25 hektarın üzeri Ek-I, 25 hektarın altı Ek-II listesinde değerlendirilmektedir. kömür çıkarılmasında 150 hektar baz alınmaktadır.

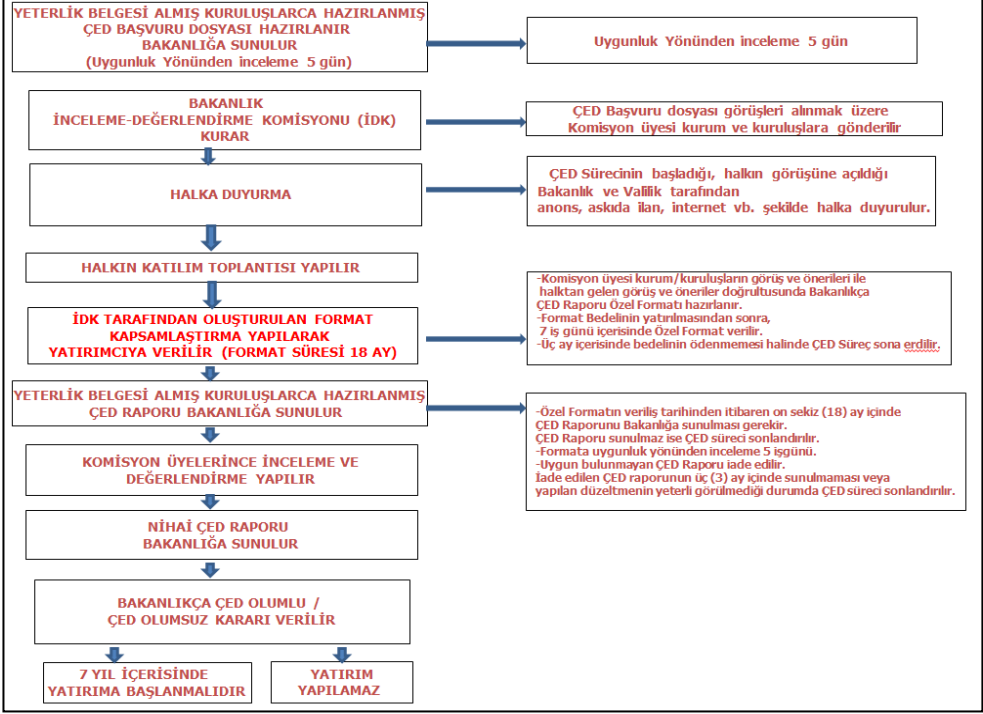
ÇED açısından, madencilik projelerini diğer projelerden ayıran en önemli husus madenlerin buldukları yerde çıkartılmaları zorunluluğudur.

Bu husus göz önüne alındığında bu projelerin değerlendirilmesinde teknoloji alternatifleri (üretim yöntemleri) ile fayda-maliyet analizlerinin detaylandırılması ve işletmeden sonra alanın nasıl rehabilite edileceği hususlarında gerekli hassasiyetin gösterilmesi gerekmektedir.

## 5.5. Madencilik Projelerinde ÇED Prosedürünün Uygulanması

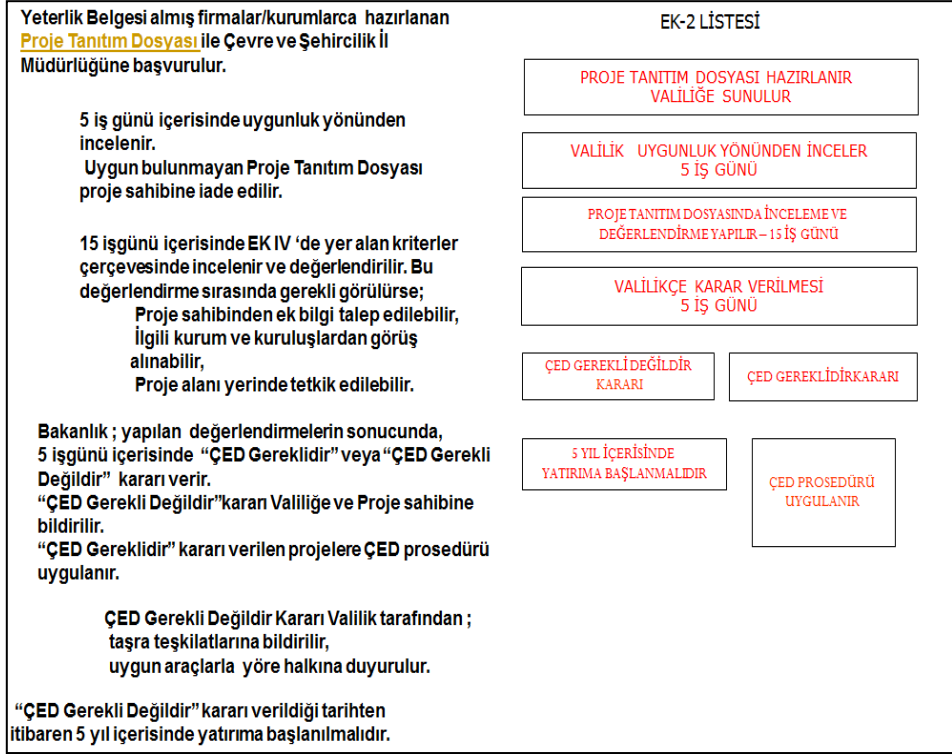
### 5.5.1. EK-1 Listesinde Yer alan Projelere ÇED Yönetmeliği Uygulanması

ÇED Yönetmeliğinin ÇED Uygulanacak Projeler (Ek-1) Listesinde yer alan projeler ile ÇED Gerekli Kararı verilen Projeler için uygulanacak ÇED Prosedürü, Şekil 3'de verilen akım şemasında belirtildiği gibidir.



### 5.5.2. EK-2 Listesinde Yer alan Projelere ÇED Yönetmeliği Uygulanması

ÇED Yönetmeliğinin Seçme-Eleme Kriteri Uygulanacak Projeler (Ek-2) Listesinde yer alan projeler için uygulanacak ÇED Prosedürü, Şekil 4'de verilen akım şemasında belirtildiği gibidir.



Şekil 4. Seçme-Elemente Kriteri (WEK-2) Prosedürü Akım Şeması

## 5.6. İzleme ve Kontrol

ÇED Yönetmeliği uyarınca ÇED Olumlu ya da ÇED Gerekli Değildir Kararı verilen projelerin izlenmesi ve denetlenmesi;

Yönetmeliğin 18. Maddesinde yer alan;

"(1) Bakanlık, "ÇED Olumlu" kararı veya "ÇED Gerekli Değildir" kararı verilen projelerle ilgili olarak, Nihai ÇED Raporu ve/veya "ÇED Gerekli Değildir" karara esas Proje Tanıtım Dosyasında taahhüt edilen hususların yerine getirilip getirilmediğini izler ve kontrol eder.

(2) Bakanlık bu görevi yerine getirirken gerekli görmesi durumunda ilgili kurum/kuruluşlarla işbirliği yapar.

(3) Proje sahibi, "ÇED Olumlu" kararını aldıktan sonra yatırımın başlangıç, inşaat dönemine ilişkin izleme raporlarını Bakanlıkça yeterlik verilmiş kurum/kuruluşlara yaptırmakla, Bakanlıkça yeterlik verilmiş kurum/kuruluşlar da bu raporları Komisyonca belirlenen periyotlarda, Bakanlığa sunmakla yükümlüdür.



(4) Proje sahibi "ÇED Olumlu" veya "ÇED Gerekli Değildir" kararını aldıktan sonra projede yapılacak bu Yönetmeliğe tabi değişiklikleri Bakanlığa veya Valiliğe bildirmekle yükümlüdür" hükmü doğrultusunda yapılmaktadır.

Yatırımcı proje uygulamasının başlangıcını, ilk işletmeye geçiş dönemini ve işletmenin sona erdiriliş dönemine ait raporları Bakanlığa bildirir.

Bakanlık ÇED Raporu ve taahhütname kapsamında gerekli izleme ve kontrolünü yapar.

Gerekli görüldüğünde diğer kurum kuruluşlarla işbirliği yapılır,

ÇED Raporu ve taahhünameye aykırı uygulamalar için Bakanlıkça uygun görülmesi halinde Valilikçe bir kereye mahsus yeteri kadar süre verilir bu süre sonunda taahhütlere uyulmaması durumunda faaliyet durdurulur.

### **5.7.ÇED Yönetmeliğine Aykırı Durumlarda Uygulanan İşlemler**

Yönetmeliğin 19. Maddesi gereğince;

"ÇED Olumlu" kararı alınmaksızın başlanan faaliyetler Bakanlıkça, "ÇED Gerekli Değildir" kararı alınmaksızın başlanan faaliyetler ise mahallin en büyük mülki amiri tarafından süre verilmeksizin durdurulur. "ÇED Olumlu" ya da "ÇED Gerekli Değildir" kararı alınmadıkça yatırıma ilişkin durdurma kararı kaldırılmaz. "ÇED Olumlu" ya da "ÇED Gerekli Değildir" kararı alınmaz ise, yatırımcı faaliyet alanını eski haline getirmekle yükümlüdür. 2872 sayılı Çevre Kanununun ilgili hükümlerine göre işlem tesis edilir.

"ÇED Olumlu" kararı ya da "ÇED Gerekli Değildir" kararı verildikten sonra, proje sahibi tarafından nihai ÇED Raporu veya Proje Tanıtım Dosyasında taahhüt edilen hususlara uyulmadığının tespit edilmesi durumunda söz konusu taahhütlere uyulması için projeye ilgili Bakanlıkça/Valilikçe bir defaya mahsus olmak üzere süre verilebilir. Bu süre sonunda taahhüt edilen hususlara uyulmaz ise yatırım durdurulur. Yükümlülükler yerine getirilmedikçe durdurma kararı kaldırılmaz. 2872 sayılı Çevre Kanununun ilgili hükümlerine göre işlem tesis edilir.

### **5.8. Proje Sahibinin Değişmesi**

Proje sahibinin herhangi bir nedenle değişmesi durumunda; projenin yeni sahibi, devirle ilgili bilgi ve belgelerin tasdikli suretini, taahhütnamesini ve imza sirkülerini Valiliğe sunmakla yükümlü olup, projenin önceki sahibinin taahhüt ve yükümlülüklerini, devir tarihinden itibaren, başka bir işleme gerek kalmaksızın üstlenmiş sayılır.

## 5.9. Madencilik Projelerine Ait ÇED Raporları ve Proje Tanıtım Dosyasında Yer Alan Konular

### 1- Proje Alanı ve Çevresinin Özellikleri

- Ruhsat alanı koordinatları
- ÇED Kararı verilen alan koordinatları,
- Proje ünitelerinin (ocak, tesis, hammadde, ürün ve pasa depo alanları koordinatları)
- Yer Bulduru Haritası, Vaziyet Planı, Topografik Harita, Jeoloji Haritası ve İmalat Haritası
- Fiziksel ve biyolojik çevrenin özellikleri ve doğal kaynakların kullanımı Jeoloji, Hidrojoloji, Hidroloji, Meteoroloji, Toprak Özellikleri, Tarım ve Hayvancılık, Flora-Fauna, Orman Alanları, Koruma Alanları, Devletin Hüküm ve Tasarrufu Altında Bulunan Alanlar, Peyzaj Değeri Yüksek yerler ve Rekreasyon Alanları
- Proje yeri ve etki alanının hava, su ve toprak açısından mevcut kirlilik durumu
- Sosyo ekonomik çevrenin özellikleri (En Yakın Yerleşim Yerlerinin Ekonomik Özellikleri, Nüfusu, Yöredeki Sosyal Altyapı, Sağlık vb. )

### 2- Projenin Özellikleri;

- Üretimi Gerçekleştirilecek Madenin Analizi Fiziksel, Kimyasal, Biyolojik Özellikleri
- Üretim Yönteminin tanıtımı
- Ocaklarda; kademe yüksekliği-genişliği-uzunluğu, şev açısı, kademe sayısı, kazı yöntemi, kullanılacak iş makineleri
- Tesislerinde; akım şeması, tesiste uygulanan üretim yöntemi,
- Hammadde, ürün, pasa depolaması
- Patlatma
- Ömrü
- Çalışma süresi (yıl, ay, gün)

### 3- Projenin Çevresel Etkileri ve Alınacak Önlemler;

- Hafriyat ve Dekapaj İşlemleri ile topografyanın değişmesi
- Toz
- Gürültü
- Vibrasyon, Hava Şoku, Taş Savrulması,
- Atık (Katı atık, Evsel nitelikli katı atık, Nebati toprak, Pasa, Proses atığı, Sıvı atık, Evsel nitelikli atık, Proses atığı vb.)
- Su temini

- Doğaya Geri Kazanım
- Sosyo ekonomik çevre üzerine etkiler
- İzleme

## 6. SONUÇLAR

Çevrenin korunması için bir madencilik projelerinin gerçekleştirilmesine hayır demek işin en kolay yoludur. Ancak, hayır demek çevrenin korunmasını sağlayamamaktadır. Çünkü günlük hayatta kullandığımız her şeyin temeli bir maden dayanmaktadır. Madencilik projelerini yasaklamak günlük hayatta kullandığımız birçok şeyi de yasaklamak anlamına gelecektir. Ayrıca, insanoğlu ihtiyacı olan bir şeyi elde etmek için yasal ya da yasal olmayan bir şekilde çalışma yapmak zorunda kalacaktır.

Bütün bu hususlar yasaklamak yerine, çevrenin korunması ilkelerini dikkate alacak şekilde çalışma yapmayı sağlayacak kanun, tüzük ve yönetmelikler çıkarmayı zorunlu hale getirmektedir.

Bu nedenle, sürdürülebilir kalkınma ilkesi doğrultusunda çevre değerlerinin korunması esas alınarak madencilik faaliyetlerinin gerçekleştirilmesini sağlayacak şekilde mevzuat çıkarılmalı ve uygulanmalıdır.

Yönetmeliklerin çokluğu, her konunun ayrı ayrı değerlendirilmesi, çalışmaların ve önlemlerin alınması açısından faydalıdır. Ancak, yönetmeliklerin çokluğu, yönetmeliklerin takip edilmesi ve hangi yönetmeliğin nasıl uygulanacağına yatırımcılar tarafından anlaşılmasında zorluklara neden olabilmektedir.

Yatırımcılar, bir yatırıma başlamadan önce gerçekleştirmeyi planladıkları proje ve proje alanını ilgilendiren tüm kanun, tüzük ve yönetmelikleri araştırmalı ve ondan sonra uygulamaya geçmelidir.

Kirleten öder politikası 1972 Stockholm sözleşmesi ile kirletmeden önce çevrenin korunması için gerekli tedbirlerin alınması şeklinde değişmiştir.

Kirletmeden önce çevrenin korunması için gerekli önlemlerin alınması politikasının en iyi uygulayan argüman Çevresel Etki Değerlendirmesi, kısaltılmış hali ile ÇED dir.

ÇED Yönetmeliği uyarınca ÇED Olumlu Kararı verilen ÇED Raporları ve ÇED Gerekli Değildir Kararı verilen Proje Tanıtım Dosyalarında belirtilen tüm hususların yerine getirilmesi halinde hem çevre mevzuatına uyulmuş olunacak ve hem de çevrenin korunması için tüm önlemler yerine getirilmiş olunacaktır.

Çevrenin korunması sadece mevzuat çıkaran ve uygulayan kamu kurum ve kuruluşların değil aynı zamanda yatırımcıların da sorumluluğundadır. Çevrenin korunması ve gelecek nesillere güzel bir çevre bırakılması öncelikle bu duygunun

var olmasına bağıdır. Bu sorumluluk ve duygu mevcut ise, gerisinin sadece şekil şart olduğu unutmamalıdır.

## **KAYNAKLAR**

2872 Sayılı Çevre Kanunu

3213 Sayılı Maden Kanunu

Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği

Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği

Madencilik Faaliyetleri ile Bozulan Arazilerin Doğaya Geri Kazanım Yönetmeliği

Maden Atıkları Yönetmeliği

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği

Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik

Çevre Kanununca Alınması Gereken İzin Ve Lisanslar Hakkında Yönetmelik

Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği

Sanayi Tesislerinden Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği

İnert Maden Atıklarının Alan Islahı, Restorasyon, Dolgu Maksadıyla Kullanımı  
veya Depolanmasına İlişkin Genelge

Maden Atıklarının Düzenli Depolanmasına İlişkin Genelge

Orman Kanununun 16 ncı Maddesinin Uygulama Yönetmeliği

Madencilik Faaliyetleri Uygulama Yönetmeliği

# Ovacık Altın Madeni Atık Barajı (Atık Depolama Tesisi) Kapatma Çalışmaları

## *The Closure Studies Tailings Dam (Tailings Storage Facility)-Ovacık Gold Mine*

P. Demirden

*Koza Altın İşletmeleri A.Ş., Ankara*

Y. Bayraklı

*Fugro Sial Yer Bilimleri Müşavirlik ve Mühendislik Ltd. Şti., Ankara*

R. Günal

*Koza Altın İşletmeleri A.Ş., Bergama, İzmir*

**ÖZET** Ovacık Altın Madeni'nde cevherin liç edilmesi sonucu oluşan proses atıkları, sızdırmazlık önlemleri alınmış olarak inşa edilen atık depolama tesisinde (ADT) depolanmaktadır. Atık depolama tesisinin atık alma kapasitesinin dolması nedeniyle kapama çalışmalarına başlanması gerekliliği doğmuştur. Raporun hazırlanması evresinde, çevre mevzuatında, ADT kapama çalışmalarına yönelik herhangi bir yaptırım bulunmaması nedeniyle öncelikle mevzuat açısından değerlendirme yapılmış ve sonrasında mühendislik çalışmalarına başlanılmıştır.

Bu bildiriye, Türkiye madencilik sektöründe bir örneği bulunmayan atık depolama tesisi kapamasına ilişkin çalışmalar aktarılmıştır.

**ABSTRACT** The process waste produced from leached ore at Ovacık Gold Mine is discharged into impervious Tailing Storage Facility (TSF). It became necessary to start closure process, as the TSF reached the full capacity to store waste disposal. During the stage of preparing report, it was noted that no commitment was required by environmental regulations for the closure of TSF and consequently, assessment was carried out in terms legislation followed by initiating engineering works.

In this paper, studies are presented for the closure of Tailing Storage Facility (TSF), which has no other examples in Turkey's mining sector.

## 1. GİRİŞ

Ovacık Altın Madeni'nde, altın madenciliğinin sürdürülebilmesi için cevherin liç edilmesi sonucu meydana gelen proses atıklarının düzenli olarak depolanacağı bir

yapıya gereksinim bulunmaktadır. Bu yapı içerisinde atıkların depolanmasının yanı sıra, zenginleştirme tesisinin emniyetli bir şekilde çalışması için ihtiyaç duyulan suyun bir kısmı da depolanmaktadır.

Tesiste üretimin başlamasıyla birlikte 2001-2009 yılları arasında oluşan yaklaşık 3,5 milyon m<sup>3</sup> proses atığı, atık depolama tesisi (ADT) içerisinde emniyetli bir şekilde depolanmıştır. Atık depolama tesisinin mevcut kapasitesinin dolması nedeniyle 2009 yılında ADT'ye atık deşarjı sonlandırılmış olup yapının kapatılması gerekliliği doğmuştur.

## **2. ADT'NİN MEVZUAT KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ**

Atık depolama tesisi kapatma çalışmaları "Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik" Madde 28 hükümleri doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. Bu yönetmeliğe ve genel hatları ile belirlenen bazı hususların uygulanması ve esaslarına dair yayımlanan genelgelere dayanarak maden sahasında gerekli düzenlemeler yapılmaktadır.

Mevcut Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) Raporunda ADT'nin kapatılması ile ilgili kavramsal bir plan sunulmuştur. Bu plana göre, öncelikle ADT'deki suyun buharlaşması beklenmiştir. Bergama yöresinde buharlaşmanın yağıştan fazla olması nedeniyle serbest su doğal olarak buharlaşacaktır. Meteorolojik şartlar altında buharlaşmanın 1-2 yıl süreceği varsayılmıştır. Bu buharlaşma yüzeyde bulunan göletin buharlaşma süresidir. Atık içerisindeki suyun buharlaşmasından sonra doldurma işlemlerine başlanması planlanmıştır. Doldurma işlemi kurutulmuş atık yüzeyinden başlayacak ve 2.0 m pasa malzeme ile doldurulacaktır. Pasa tabakasının üzerine 1.2 m kalınlığında kil ve yüzey toprağı serilecektir (SRK Dan. ve Müh. A.Ş., 2009).

Ancak yeterli buharlaştırma/susuzlaştırma yapılamaması neticesinde bir takım risklerle karşılaşma olasılığı gündeme gelmiştir. Bu riskler arasında, balçık zeminde yapılacak dolgu çalışmaları neticesinde iş kazası, kapama sonrasında küçük boyutlu depremler veya vibrasyon kaynağı diğer faaliyetler neticesinde sivilaşma ve yüzeyde tahribat, lokal buharlaşmalardan dolayı çökmeler ve nihayetinde hedeflenenden fazla pasa malzeme kullanımı ve maliyet artışı sayılabilir.

Tüm bu riskleri bertaraf edebilmek adına, bu konuda uzman ve Avrupa'daki madenlerde benzer işler yapmış olan Fugro Sial mühendislik firmasından kapatma projesi konusunda destek alınmasına ve hazırlanan kapama planının Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na sunulması gerekli onayın alınmasına karar verilmiştir. Söz konusu firmanın mühendislik projesine göre hazırlanan ve Mart 2012 tarihinde

sunulan ADT kapama raporu Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından uygun bulunmuş ve sahada çalışmalara başlanılmıştır.

### 3. SAHA ÇALIŞMALARI

#### 3.1. Ön Çalışmalar

Atık depolama tesisinde, deşarj edilen atığın karakteristiğine bağlı olarak, yaklaşık %40 – 45 arası su muhtevası bulunan bir atık depolanmıştır. Atık depolama tesislerinde zamana bağlı olarak, atık içerisindeki katı tanecikler çökelmekte, konsolidasyon gerçekleşmektedir. Buna bağlı olarak yüzeyde kalan duru su, tesisin su ihtiyacı için kullanılmakta, böylece atık depolama tesisindeki su–katı oranı zamanla değişmektedir.

Tesis bölgesindeki mevsimsel şartlar, yıllık buharlaşma miktarının yağıştan fazla olması, atık depolama tesisinin kapatılması için avantaj haline gelmiştir. Yüzeyde biriken su, deşarj yapılmayan üç yıl (Ağustos 2009 – Eylül 2012) içerisinde tamamen buharlaşmış, depolama alanında konsolide olmaya devam eden katı atık kalmıştır. ADT yüzeyi tamamen kurumasına rağmen katı atık içerisindeki tane arası boşluklarında % 30-35 oranında su muhtevası bulunmaktadır.

ADT içerisinde değişen derinliklerdeki atık içerisinde, gerçekleşen konsolidasyon miktarı ve zemin stabilitesinin değerlendirilmesi için ön çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalarda, ADT alanında üç ayrı yönden, ikişer metre yüksekliğinde ve dörder metre genişliğinde dolgu yapılmıştır. Üç dolgu platformu üzerinde belirlenen poligon noktaları düzenli olarak ölçülmüş, dikeyde ve yatayda meydana gelen hareketler takip edilmiştir. Şekil 1’de verilen dolgu hatları, ADT alanındaki zemin stabilitesi hakkında öngörü oluşturmuştur.

ADT içerisindeki atıkta bulunan su muhtevası, yapılan dolgu platformlarının basıncı ile yavaş da olsa yüzeye çıkmaya başlamış ve yüzeyden buharlaşma ile yok olmuştur. ADT yüzeyinin ortasında çukur bölgede biriken yağmur sularını toplamak için orta bölgede jeomembran ile toplama alanı yapılmıştır. Burada biriken su pompajla çekilerek halihazırda işletilen II.ADT’ye deşarj edilmiştir. Eylül 2012 tarihinde başlanılan deneme dolgusu çalışmaları Kasım 2012 tarihinde sonlandırılmış, sonrasında yedi aylık süre boyunca gözlem ve ölçümler yapılmıştır.

Yapılan ön dolgu çalışmaları, ADT zemininde stabilitenin kısmen sağlanamadığını, tam olarak konsolidasyonunu bitirmemiş bölgelerin bulunduğunu göstermiştir. Atık kalınlığının arttığı orta bölgede daha yumuşak ve konsolide olmamış bir zemin olduğu, ADT seddesine (sahil kısmına) doğru gidildikçe konsolidasyonun arttığı görülmüştür.



Şekil 1. Deneme dolgu çalışması

Deneme dolgu çalışmaları tamamlandıktan sonra yedi aylık gözlem sürecinde, farklı noktalarda dolgu malzemesinin ağırlığı ile çökmeler meydana gelmiştir. Elde edilen sonuçlar ile ADT içerisinde daha detaylı ve teknik bir değerlendirme yapılmasına karar verilmiştir. Nihai kapamanın, çevre ve insan sağlığı açısından tehdit oluşturmaması, mevzuat ile uyum gösterecek şekilde, optimum maliyet ile devam etmesi için çalışma metodu, iş termi ve alternatifleri içeren bir jeoteknik çalışma yapılmış ve etüt raporu hazırlanmıştır (Koza Altın İşletmeleri A.Ş., 2015).

## **3.2. Jeoteknik Çalışmalar**

### **3.2.1. Zemin Araştırmaları**

Zemin araştırmaları ve laboratuvar test programı ile atık malzemesinin indeks özelliklerinin, dayanım ve sıkışma özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Zemin koşullarının belirlenmesi ve malzemenin dayanımı ve konsolidasyon özelliklerini ortaya koymak için CPT (koni penetrasyon testi) deneyleri temel alınmıştır. Daha sonra, atık malzemeden numune alınabilmesi için jeoteknik sondajlar yapılmıştır (Fugro Sial, 2013).

#### **3.2.1.1. Jeoteknik Sondajlar**

Ulaşım kolaylığı açısından, jeoteknik sondajlar atık dolgusu üzerine inşaa edilen geçici dolgu seddeleri üzerinden yapılmıştır. Üç adet dolgu üzerinde, her birinde iki tane olmak üzere altı sondaj açılmıştır (Şekil 2).





Şekil 2. Sondaj çalışması

### 3.2.1.2. Laboratuvar Deneyleri

Laboratuvar deneyleri, sondajlardan alınan numuneler üzerinde yürütülmüştür. Deney programının odak noktası konsolidasyonlu sıkışma testleri ile atık malzemenin temel indeks (birim ağırlık, nem içeriği, organik madde içeriği ve tane boyu dağılımı) deneyleridir.

Geçici dolguda elde edilen gözlem verileri atık malzemenin davranışına ilişkin önemli bilgiler vermektedir. Atık malzemenin nihai kapatılma dolgusu altındaki davranışında önemli farklar beklenmemekle birlikte, eldeki veriler oturma miktarını ve permeabiliteden hesaplanan oturma hızını kalibre etmekte önemli derecede yardımcıdır.

Sondaj verilerinin incelenmesi sonucunda atık malzemenin homojen olmadığı anlaşılmıştır. Kil ve silika meceklerinin arasında salt kum bant ve mercceklerinin bulunduğu da belirlenmiştir. Bu kum seviyeleri, atık içerisinde bulunan suyun boşaltılması için kanal görevi görecektir.

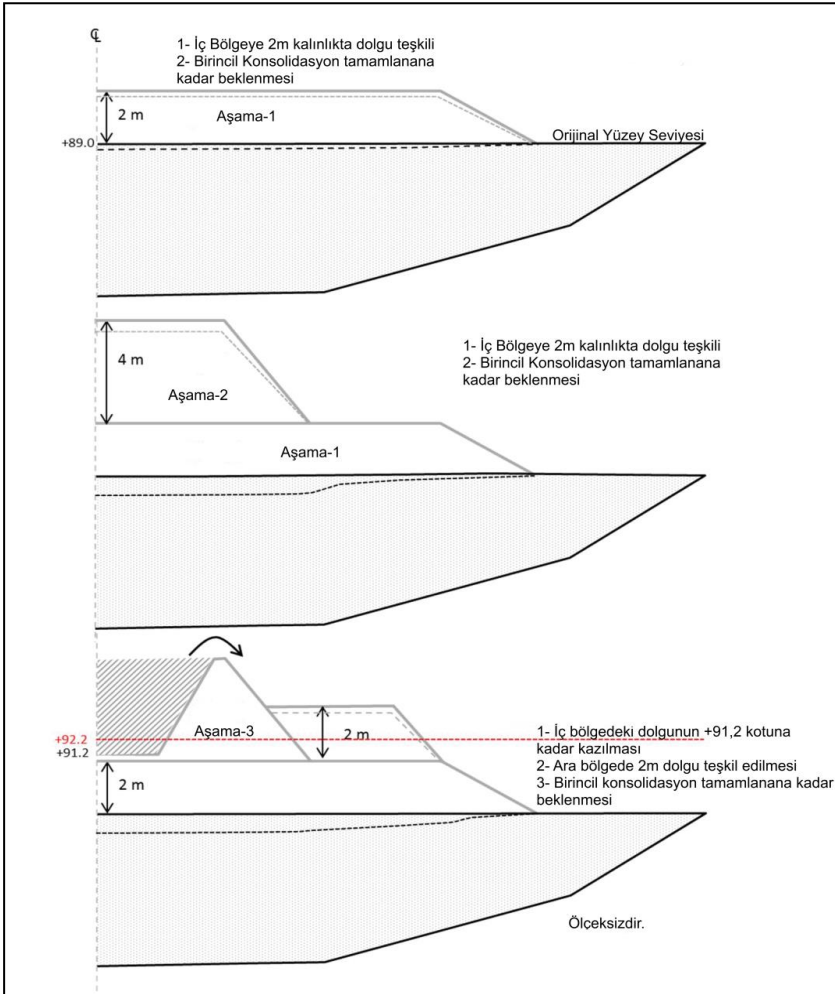
### 3.3. Jeoteknik Çalışma Sonucu Kapatma Önerisi

Nihai kapatma tabakasının amacı, bu tabakanın serilmesi öncesindeki oturmaları azaltmaktır. Dolgu yapımı ve oturmanın hızlandırılması için kullanılacak yaklaşım dolgu malzemesinin mevcudiyetine, kapatılma tabakasının yapım süresine ve mevcut ekipmana göre belirlenmiştir. Birincil konsolidasyon sürelerini hızlandırmak için sürşarj kullanımına dayalı bir metodoloji geliştirilmiştir. Dolgu malzemesi kullanımını minimize edebilmek için sürşarj yüklenmesi yöntemi geliştirilmiştir. Kademeli sürşarja, atık malzemesinin daha kalın olması nedeniyle

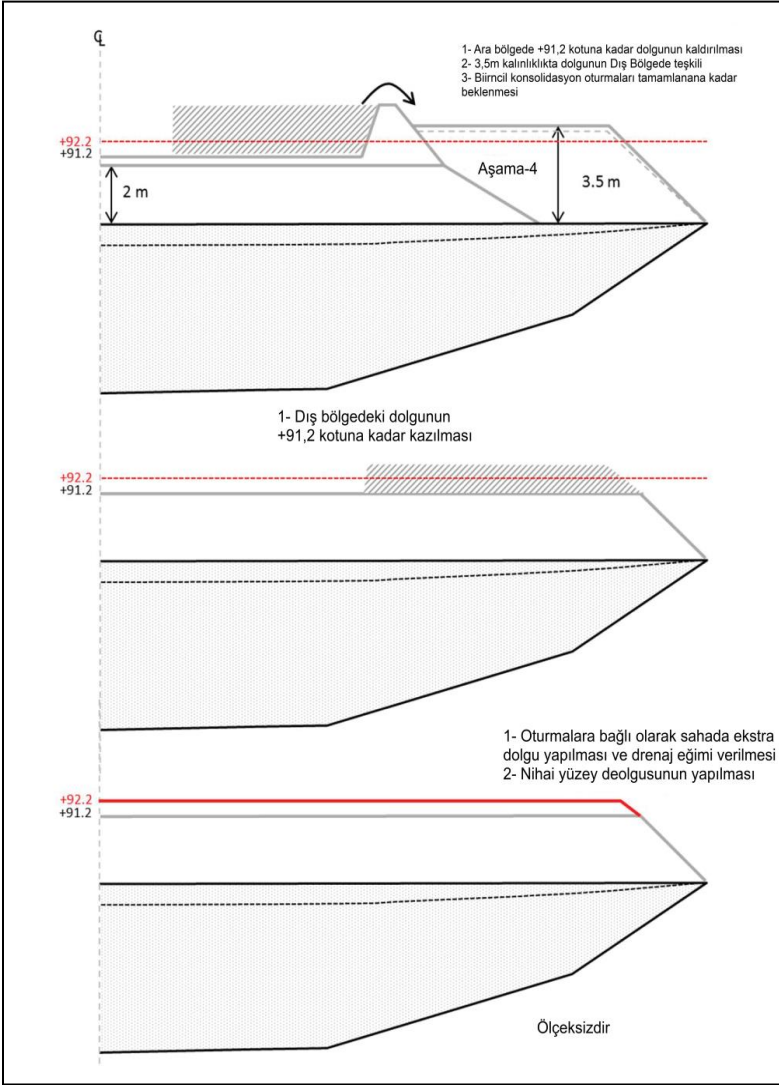
birincil konsolidasyon sürelerinin artacağı orta kesimlerin önyüklenmesi ile başlanmıştır. Sonrasında ise sürşarj malzemesinin dış kesimlere doğru taşınmasıyla, orta kesimi çevreleyen bölgelerin konsolide olması hedeflenmiştir.

Birincil konsolidasyonu hızlandırmak için 6 aşamalı önyükleme önerilmiştir (Fugro Sial, 2013). Bu şekilde dolgu, atık malzeme üzerine yığılacak ve orta kesimden başlanarak kademeler halinde seddelere doğru ilerlenerek önyükleme yapılması planlanmıştır. Önyükleme yapım aşamaları Şekil 3a ve 3b’de gösterilmiştir.

Bu yaklaşım ile kapama süreci ve kapama sonrasındaki emniyet faktörü daha yüksek olacak, önyükleme ile konsolide hale gelen atık daha kolay ve kısa sürede kapatılarak rehabilite edilebilecektir.



Şekil 3a. Kademeli önyükleme şeması 1-3. Aşamalar (Fugro Sial, 2013)



Şekil 3b. Kademeli önyükleme şeması 4-6. Aşamalar (Fugro Sial, 2013)

### 3.4. Saha Uygulamaları

Alanda altı aşamalı önyükleme gerçekleştirmek için bir kapatma termini oluşturulmuştur. İki ay süren birinci aşama dolgu işlerine Temmuz 2013 tarihinde başlanmış olup, dolgu çalışmasının tamamlanması sonrası yaklaşık dört ay süreyle izleme yapılarak dolgu oturmaları beklenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. I. Aşama önyükleme

Gerçekleştirilen önyüklemeler ile atık içerisinde bulunan su, dolgu ağırlığı ile gözenek boşluklarından yukarı yönlü harekete geçmektedir. Atık malzeme içindeki gözenek boşluklarını daha hızlı azaltmak amacıyla ADT içerisindeki mevcut su besleme kulesi (dekant) kullanılmaktadır. Dekant sisteminin işlerliği ile oturma miktarları artmakta ve bu nedenle planlanandan daha fazla dolgu malzeme kullanılmaktadır (Koza Altın İşletmeleri A.Ş., 2015) .



Şekil 5. Dekant Yapısı

Dekant ile çekilen su, aktif olarak çalışan II. ADT’ye deşarj edilerek sıfır deşarj ilkesi korunmaktadır. Dekant yapısını içeren görüntü Şekil 5’de verilmiştir. Dekant sistemi ile çekilen tane arası boşluklarındaki suda aylık olarak analiz yapılmakta ve kayıt altına alınmaktadır. Şekil 3a’da detayları verilen ikinci aşama dolgu

çalışmalarına Nisan 2014 itibarıyla başlanmış olup, iki aylık dolgu çalışması sonrası yaklaşık dokuz ay süreyle dolgu oturmaları gözlemlenmiştir (Şekil 6). Modellenen oturma miktar ve hızları için yapılan gözlemler sonrası istenilen düzeye ulaşılması ile Mayıs 2015 tarihinde üçüncü aşamaya geçilmiştir (Şekil 7).



Şekil 6. II. Aşama önyükleme



Şekil 7. III. Aşama önyükleme

Dolgu çalışmaları sonrası yaklaşık üç ay süreyle oturmalar gözlemlenecek ve sırasıyla diğer aşamalar öngörülen plan doğrultusunda tamamlanacaktır. Tüm aşamalar boyunca gerçekleşen oturma miktarı ve hızlarına göre iş termin planı güncellenebilmektedir. Çalışmaların planlandığı gibi sürmesi durumunda, dolgu ve oturma bekleme süreleri toplam olarak dördüncü aşamada dokuz ay, beşincide bir ay ve altıncıda ise dört ay daha sürecektir.

#### 4. SONUÇ

Yapılan jeoteknik çalışmalar ve laboratuvar testleri sonrası, dolgu yapımı ve dolgu oturma süresinin hızlandırılması için mühendislik firması tarafından sürşarj da denilen önyükleme metodolojisi önerilmiştir. Sürşarj uygulamasının toplam altı aşamada tamamlanması öngörülmüştür. Kademeli sürşarj yaklaşımının felsefesi, atık malzemenin daha kalın olması nedeniyle birincil konsolidasyon sürelerinin artacağı orta kesimlerin önyüklemesi ile başlanmasıdır. Sonrasında ise sürşarj malzemenin dış kesimlere doğru taşınmasıyla, orta kesimi çevreleyen bölgelerin konsolide olması beklenmektedir.

ADT yapısı içerisinde inşa edilmiş olan Su Toplama Kulesinin (Dekant Yapısı) atık içerisindeki suyun alınmasında ve dolayısıyla dolgu yükleme işleminin başlamasında temel unsur olduğu görülmüştür. Sondajlı araştırmalar sırasında atık içerisinde varlığı belirlenen kum bant ve mercceklerinin de atıktaki tane arası boşluklarda duran suyun toplama kulesine doğru drenajında büyük yararı olmuştur.

Dolgunun atık malzeme üzerine yığılarak ve orta kesimden başlanarak kademeler halinde serildiği birinci ve ikinci aşama önyükleme çalışmaları tamamlanmıştır. Çalışmalar esnasında yağışların ve alttaki atık malzemenin de etkisiyle, oturmalar projede öngörülen bekleme sürelerinden daha uzun sürede gerçekleşmiştir. Mayıs 2015 itibarıyla başlanan üçüncü aşama dolgu çalışmalarında sürşarj sonrası yaklaşık üç aylık bekleme süresinde oturmaların tamamlanması gözlenecektir. Geriye kalan üç aşama toplamının da ondört ay sürmesi planlanmıştır.

Çalışmaların insan ve çevre sağlığı açısından güvenli bir biçimde devam edebilmesi için oturma hızları dikkate alınarak bekleme süreleri revize edilebilecektir. Mühendislik projelendirmesi ile birlikte tüm aşamaları içeren kapatma çalışmalarının yaklaşık üç sene tamamlanması planlanmıştır.

ADT'nin nihai yüzey kapama tabakası 1.2m kalınlığında geçirimsiz malzemeden ve yüzey toprağından oluşacaktır. Kapama tabakasının esas amacı, yağmur suyunun ve diğer yüzey sularının atık malzeme içerisine sızmasını önlemektir. Yüzey sularının dolgu dışına akabilmesi için kenarlara doğru eğimli olması sağlanacaktır. Atık malzemenin konsolidasyonu üniform olmayacağı için, nihai geçirimsiz tabakanın inşasının oturmaların tamamlanmasından sonra yapılması uygun olacaktır.

Nihai tabakada sıkıştırılmış geçirimsiz kil, çakıl ve en üst yüzeye bitkisel toprak serilerek bölgeye uygun bitkilendirme yapılacak ve atık depolama tesisi kapatma projesi tamamlanacaktır.

## **KAYNAKLAR**

- Fugro Sial, 2013. *Bergama Ovacık ADT Kapatılması Jeoteknik Raporu.*
- Koza Altın İşletmeleri A.Ş., 2015. *Ovacık Altın Madeni İşletmesi I. Atık Depolama Tesisi Kapama Faaliyet Raporu.*
- SRK Danışmanlık ve Mühendislik A.Ş., 2009. *Ovacık Altın Madeni Çevresel Etki Değerlendirme Raporu.*

# Maden Projelendirme Süreçlerinde Bilişim Teknolojilerinin Rolü

## *Use of Information Technology in Mining Project Processes*

T.E. Toptaş

*Netcad Yazılım A.Ş., Teknik Hizmetler ve Eğitim Müdürü, Ankara  
Gazi Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Ankara*

**ÖZET** Madenlerin yenilenemez ve yerine konulamaz nitelikte varlıklar olmaları, maden kaynaklarının en yüksek fayda ile gelecek nesiller için sürdürülebilir yapıda, toplum yararına kullanım gerekliliğini de zorunlu kılar. Madencilik faaliyetlerinin bilim ve teknoloji ilkeleri çerçevesinde yürütülmesi, sürdürülebilirliğin sağlanmasındaki en etkin gerekliliktir.

Çağdaş madencilik bilim ve teknolojisi, madenlerin çıkarılmadan önce; ocak optimizasyonlarının yapılmasını, üç boyutlu olarak modellenmesini, olası rezerv kestirimlerinin yapılmasını, üretim yönteminin belirlenmesini ve üretim planlarının yapılmasını gerektirir. Bu süreçlerin gerçekleştirilmesini sağlayan araçlar ise; bilişim teknolojileridir.

Bu çalışmada, farklı ölçeklerdeki maden projelendirme süreçlerinin bilişim teknolojilerinden yararlanılarak gerçekleştirilmesine yönelik proje uygulamaları ortaya konmuştur. Bu kapsamda örneklem alan üzerinde topografik, hidrotopografik, hidrolojik ve çevresel analizler gerçekleştirilerek uygun maden işletme alanların belirlenmesine yönelik iş akış modelleri oluşturulmuştur.

Gerçekleştirilen analizler sonrasında, madencilik faaliyetleri için uygun olarak belirlenen sahanın üretim haritaları hazırlanmış, sondaj çalışmaları değerlendirilerek cevhere ait üç boyutlu katı model oluşturulmuş; jeostatistiksel yöntemlere göre kestirim işlemleri gerçekleştirilmiş; açık ocak ve patlatma tasarımları yapılmış; Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) analizleri oluşturularak çalışma tamamlanmıştır.



**ABSTRACT** Mines are non-renewable assets relentless in nature, a sustainable structure for the benefit of society necessitates requires maximum benefit of mineral resources for future generations. Execution of mining activities are the most effective requirement in ensuring the sustainability in the borders of science and technology principles.

Science and technology of modern mining before extraction of minerals requires processes such as; preparing the pit optimization, modeling in three-dimensions, preparing the possible reserve estimation and making the determination of the production method and production plan. The tools used for these processes are placed under information technology.

In this study, the project implementation towards the realization of mineral project development process utilizing the information technology has been demonstrated at different scales. In this context, the sample topography on the area, hydro-topographic, hydrological and environmental analysis workflow models for carrying out the identification of suitable mining areas have been established.

Following the analysis carried out, maps of the mining activities are prepared and identified as suitable for the production, drilling three-dimensional solid model of the ore formed are evaluated; according to the geostatistical estimation methods operations are conducted and blasting open pit design are made. Finally; the environmental impact assessment (EIA) analysis by creating this work has been completed.

## 1. GİRİŞ

Bu çalışmada Sivas İli sınırları dâhilinde ruhsat koordinatları belirlenmiş olan sahanın işletme uygunluğu, 1/25.000 ölçekte gerçekleştirilen topografik, hidrotopografik, hidrolojik ve çevresel analizler yardımıyla ortaya konmuştur. Bu kapsamda çalışma sahasına ait 1/25.000 ölçekli hâlihazır harita Netcad GIS ortamında coğrafi referanslandırılarak altlık olarak kullanmış; ruhsat koordinatları ile ruhsat alanı oluşturulmuştur. İşletmeye açılacak sahanın yakınında bulunan eski işletme sahaları ile olan yakınlık analizleri yapılmıştır.

Çalışma sahasının işletmeye uygunluğu yükseklik bazlı topografik ve hidrotopografik analizler ile araştırılmıştır. Bu bağlamda yükseklik analizi, eğim analizi, topografik nemlilik indeksi (TWI) analizi, sediman taşıma kapasite (LS) analizi, nehir aşındırma gücü (SPI) analizi, litoloji analizi ile bitkisel indis (NDVI)

analizleri gerçekleştirilmiş; her bir analiz sonucu işletme uygunluğu açısından değerlendirilmiştir.

Gerçekleştirilen birinci türev analizler sonrasında, bu analizler bir arada değerlendirilerek belirlenen sahanın heyelan duyarlılığı tematik olarak oluşturulmuş; bu sayede çalışma sahasında heyelan açısından riskli alanlar sınırları ile belirlenmiştir.

İşletme izin sürecinde, çalışma sahasındaki taşkın riskli alanların belirlenebilmesi için bu alandaki havzalar modellenmiş; bu sahayı etkileyen yağış istasyon verileri kullanılarak yağış analizleri gerçekleştirilmiş ve bu analiz sonuçları doğrultusunda birim hidrograf pik debi hesaplamaları yapılarak ruhsat sahasındaki akış kollarındaki taşkın riskli alanlar sınırları ile belirlenmiştir. Gerçekleştirilen çoklu risk analizlerine göre ruhsat sahası içerisindeki ocak sahası belirlenmiştir.

Belirlenen ocak sahasında gerçekleştirilen sondaj verileri *Netpro/MINE* teknolojisi ile değerlendirilerek üretimi gerçekleştirilecek cevherin üç boyutlu katı modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan katı model jeostatiksel kestirim için ana ve alt bloklara ayrılarak cevher kalitesi tematik olarak üç boyutlu ortamda modellenmiştir. Jeostatiksel kestirim sonrası işlenecek cevher için açık ocak tasarımı yapılmıştır. Patlama yapılacak alanlar belirlenmiş ve patlatma tasarımları çevre etki değerlendirme analizleri değerlendirilmiştir.

### **1.1. Ruhsat Saha Koordinatlarının Belirlenmesi ve Diğer Maden Sahaları İle Olan İlişkilerinin Analiz Edilmesi**

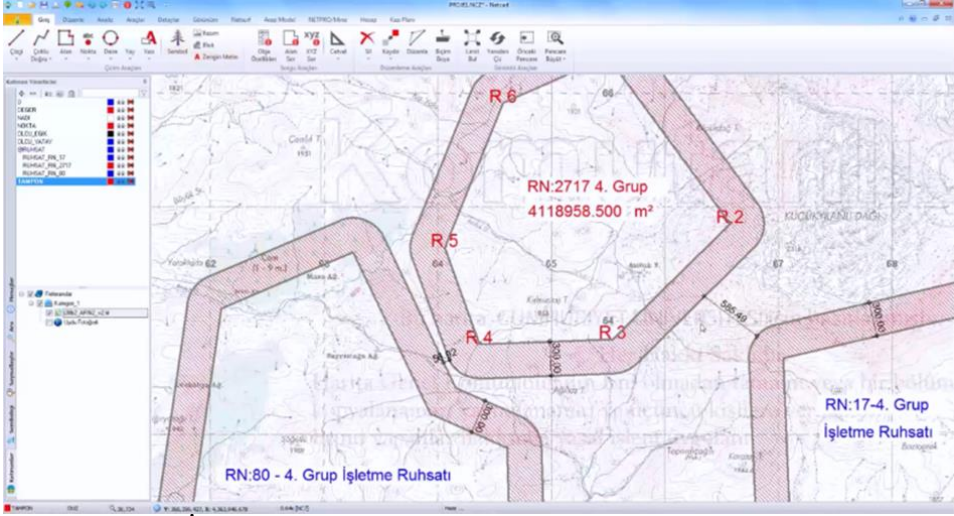
Madencilik (arama ve üretim) faaliyetlerinin yürütüleceği örneklem sahasına ait raster formattaki altlık (hâlihazır, jeoloji vb.) haritalar coğrafi referanslama (raster dönüştür) işlemi sonrası proje ekranına eklenmesi sağlanmıştır.

Sahanın mevcut durumunu gösteren hâlihazır haritalar üzerine maden işletme ruhsat sınır koordinatları ile bu alana ilişkin daha önceden izin verilmiş ruhsat alanları projeye aktarılmıştır. İşletme ruhsat alanlarına ait etki (tampon) alan analizleri oluşturularak diğer ruhsat alan sınırları ile aralarındaki sınırsal ilişkinin ortaya çıkartılması sağlanmıştır (Şekil 1).

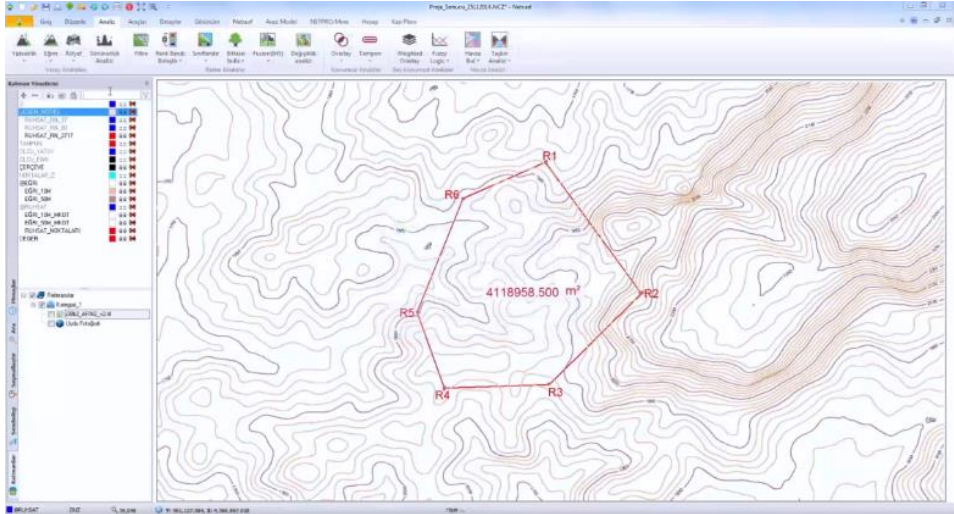
### **1.2. Topografik ve Hidrotopografik Analizler**

Örneklem alanına ait topografik, hidrotopografik ve hidrolojik analizlerinin yürütülmesinde girdi olacak sayısal arazi modeli (SAM) oluşturulmuş ve tüm saha yükseklik değerleri hesaplanmıştır. Oluşturulan sayısal arazi modeli üzerinden

yükseklik değişimlerini ifade eden eş yükseklik eğrileri oluşturularak ve kot değerleri yazdırılmıştır (Şekil 2).



Şekil 1. İşletme ruhsat sınır etki(tampon) alanlarının oluşturulması.

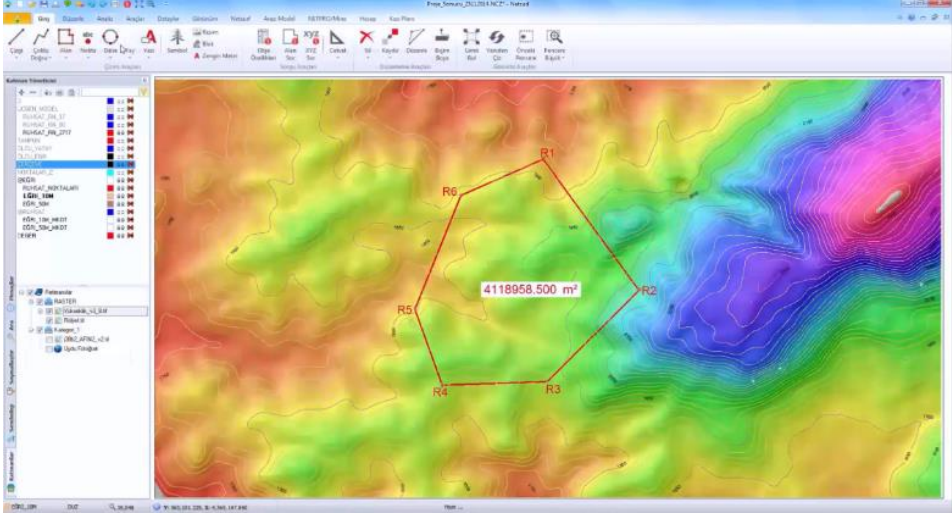


Şekil 2. Sayısal arazi modelininve eş yükseklik eğrilerinin oluşturulması.

Maden sahası ve yakın civarının topografik ve hidrotografik analizlerinin yapılarak bir arada değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Bu amaçla oluşturulan sayısal arazi modeli üzerinden yükseklik ve eğim gibi temel topografik analizlerin yanı sıra; heyelan duyarlılık analizine girdi olacak topografik nemlilik indeksi

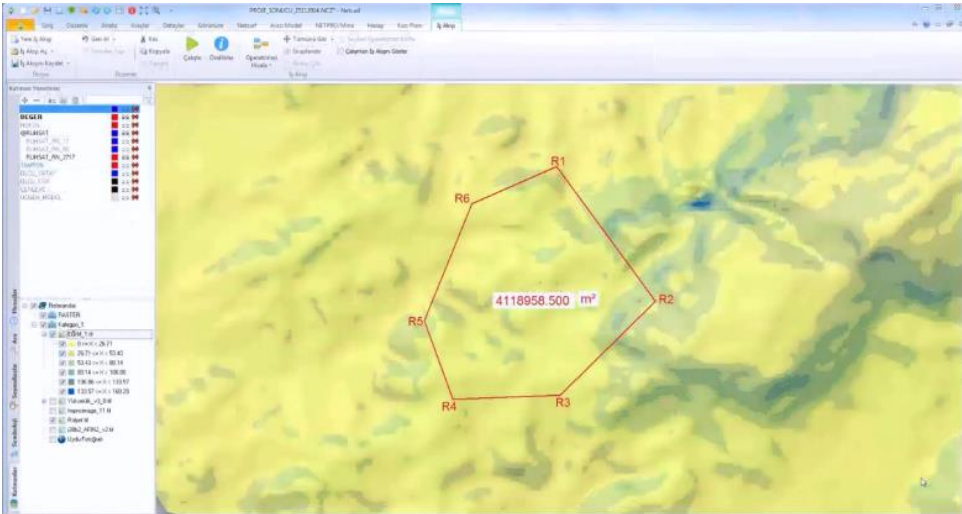
(TWI), sediman taşıma kapasitesi (LS) ve nehir aşındırma gücü (SPI) indeks hidrotopografik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Sayısal arazi modeli üzerinden yükseklik analizi ile maden sahası ve yakın çevresinin yükseklik değişimleri tematik aralıklar ile ortaya konmuştur. (Şekil 3).



Şekil 3. Maden sahası ve yakın çevresinin yükseklik değişimi.

Sayısal arazi modeli üzerinden yürütülen diğer bir analiz ise; eğimdir. Eğim analizi sonrasında örneklem alanın ve civarının eğim değişimleri tematik yapıda ortaya çıkartılmıştır (Şekil 4).



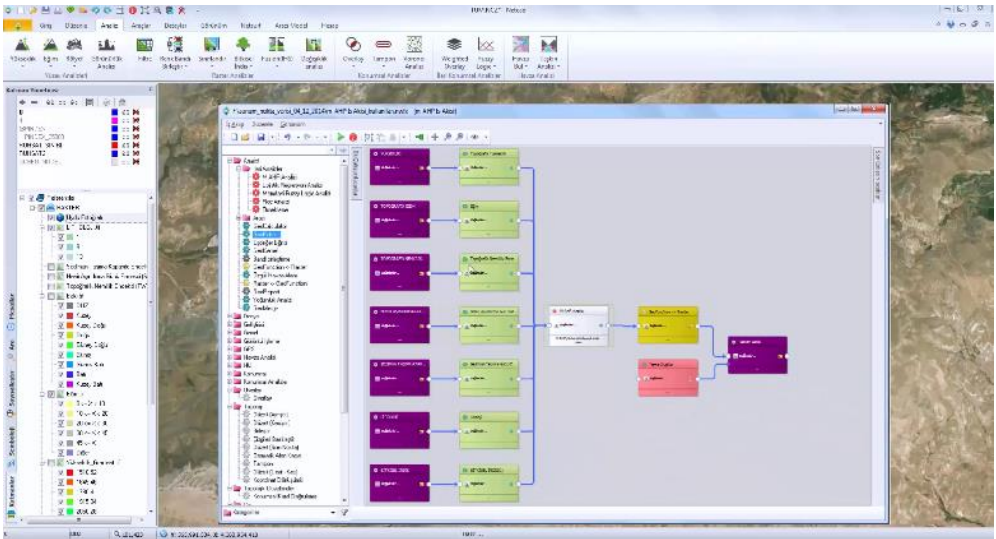
Şekil 4. Maden sahası ve yakın çevresinin eğim değişimi.

Hidrotopografik analizler, heyelan, çığ vb. duyarlılık değerlendirmelerinde sayısal yükseklik modelinden üretilen türev analizlerin oluşturulmasında girdi olarak kullanılırlar.

Bu çalışma kapsamında hidrotopografik analiz haritalarının oluşturulmasında sahaya ait sayısal yükseklik verisi girdi olarak kullanılmış, yükseklik bazlı topografik nemlilik indeksi (TWI), sediman taşıma kapasitesi (LS) ve nehir aşındırma gücü (SPI) hidrotopografik analizleri gerçekleştirilmiştir. Hidrotopografik analizler sonrası oluşan veriler heyelan duyarlılık analizi için girdi olarak kullanılmıştır.

### 1.3. Heyelan Duyarlılık Analizi

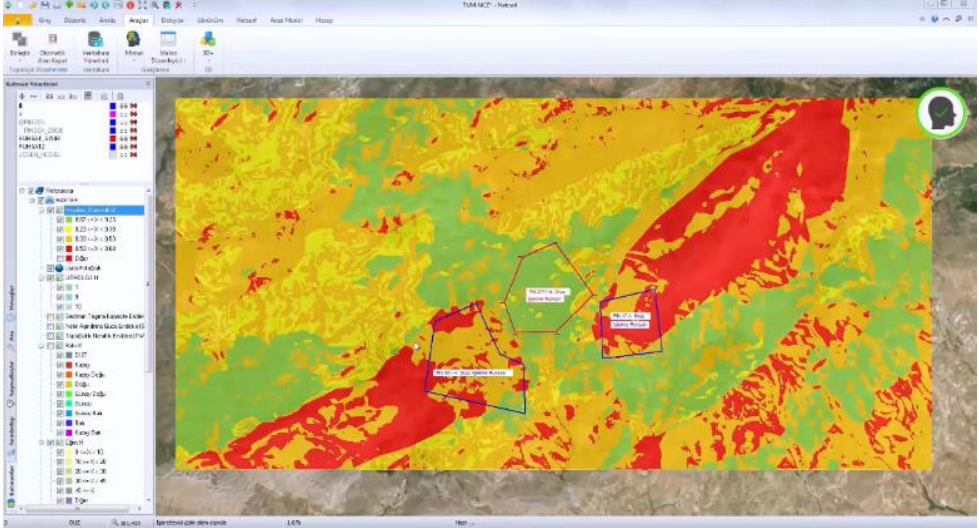
Heyelan duyarlılık analizinin temel amacı, işletme sahası içerisinde heyelan açısından riskli alanların tespit edilmesidir. Maden sahası ve yakın civarına ilişkin heyelan duyarlılığı 'Değiştirilmiş Analitik Hiyerarşi Süreci-mAHP (*Modified Analytic Hierarchy Process*)' yöntemi ile yükseklik, topografik eğim, topografik nemlilik(TWI), litoloji, sediman taşıma kapasitesi (LS), nehir aşındırma gücü indeksi (SPI) ve bitkisel indis (NDVI) analizleri girdi olarak kullanılarak modellenmiş ve heyelan duyarlılığı tematik olarak oluşturulmuştur (Şekil 5).



Şekil 5. Heyelan duyarlılık analizi için oluşturulmuş iş akış modeli.

Heyelan duyarlılık analizi sonrası elde edilen haritaya göre; düşük değere sahip alanların madencilik faaliyetler için uygun;orta-yüksek değere sahip alanların ise

gerekli önlemler alınması durumunda tercih edilmesi gerektiği ortaya konmuştur (Şekil 6).

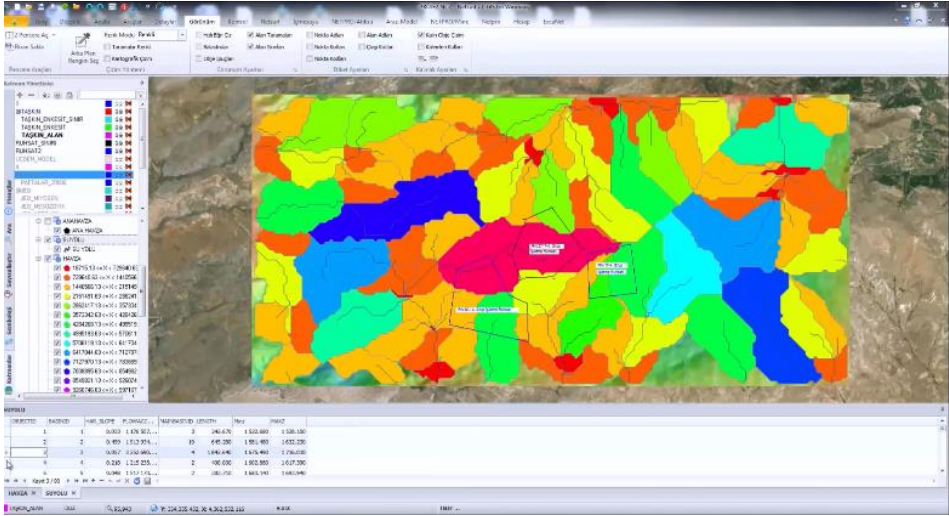


Şekil 6. Çalışma alanı ve yakın civarının heyelan duyarlılık haritası.

#### 1.4. Hidrolojik Analizler

Madencilik faaliyetlerinin yürütüldüğü bölgenin hidrolojik yapısının bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda çalışma sahası ve çevresinde bulunan akış kolları ve bu kollara ait havzalar TauDEM algoritmasına göre modellenmiş; her bir akış kolundaki harmonik eğim ve kümülatif akış değerleri hesaplanmıştır.

Ruhsat sahasının içerisinde bulunduğu havzayı etkileyen yağış istasyonlarının sağladığı yağış verileri analiz edilerek altı farklı dağılım tipine göre 2, 5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıl için yağış analizleri yapılmıştır. En uygun dağılım tipine göre taşkın pik debileri Mockus hidrografı baz alınarak hesaplanmıştır. Hesaplanan taşkın pik debisine göre çalışma sahası içerisinde bulunan akış kolundaki taşkın riskli alanlar sınırları ile belirlenmiştir (Şekil 7 ve 8).



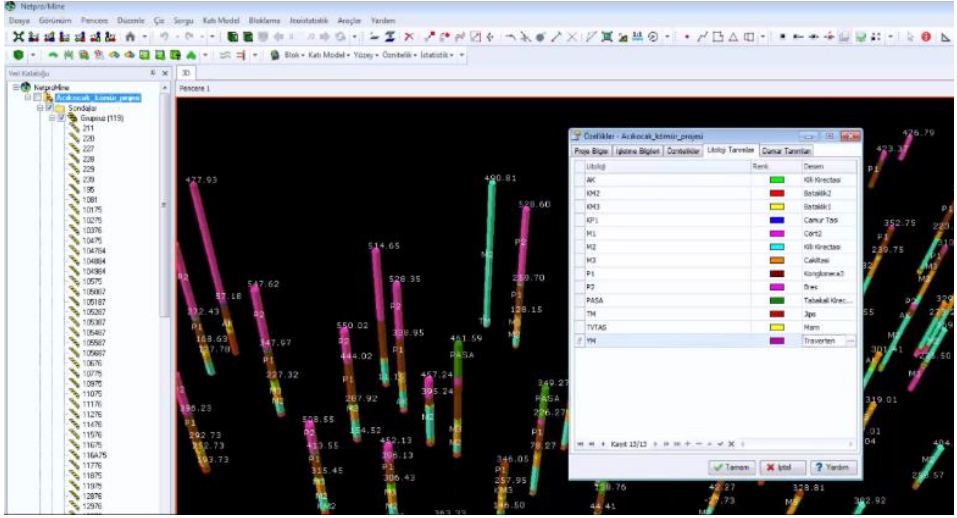
Şekil 7. Çalışma alanı ve yakın civarındaki havzalar.



Şekil 8. Çalışma sahasına ait taşkın risk haritası.

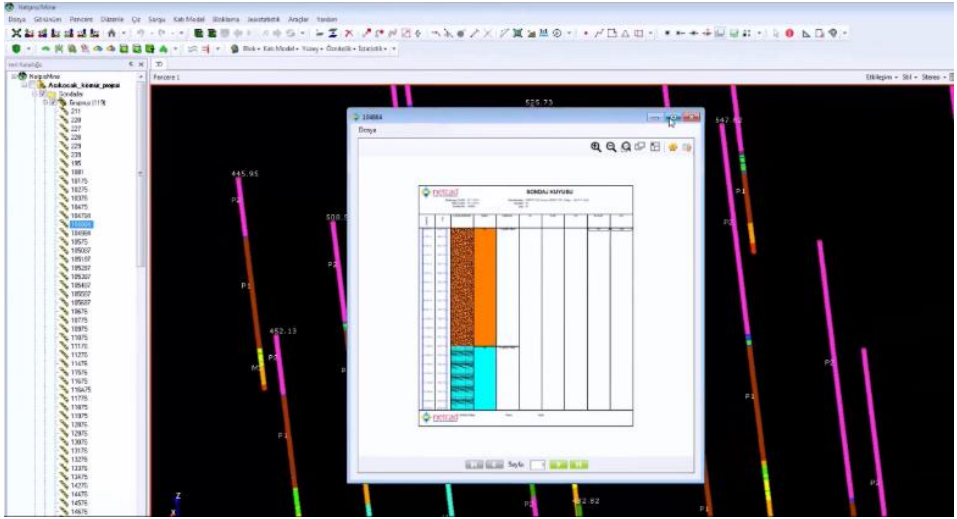
## 2. CEVHER MODELLEME VE AÇIK OCAK ÜRETİM PLANLARININ HAZIRLANMASI

Proje sahasında yapılan sondajlara ilişkin geometri bilgileri (sondaj numarası, koordinat bilgileri, doğrultu, eğim, açı, derinlik) ve öznetelik verileri (numune analiz değerleri) projeye entegrasyonu ve sondajların üç boyutlu ekranda görselleştirilmesi için; sondaj boyunca kesilen damar/litoloji seviyelerine farklı renk, etiket ve jeolojik tanımlamaları yapılmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Sondajların üç boyutlu ekranda görselleştirilmesi.

Sondaj verileri üzerinden uzunluk ve öznelik istatistikleri öğrenilerek proje metrikleri belirlenmiştir ve bu değerler jeostatistiksel kestirim için kullanılmıştır. Sondajlarda kesilen jeolojik birimlere standartlara uygun renk ve litoloji tanımları yapılmış ve sondaj log raporları hazırlanmıştır (Şekil 10)

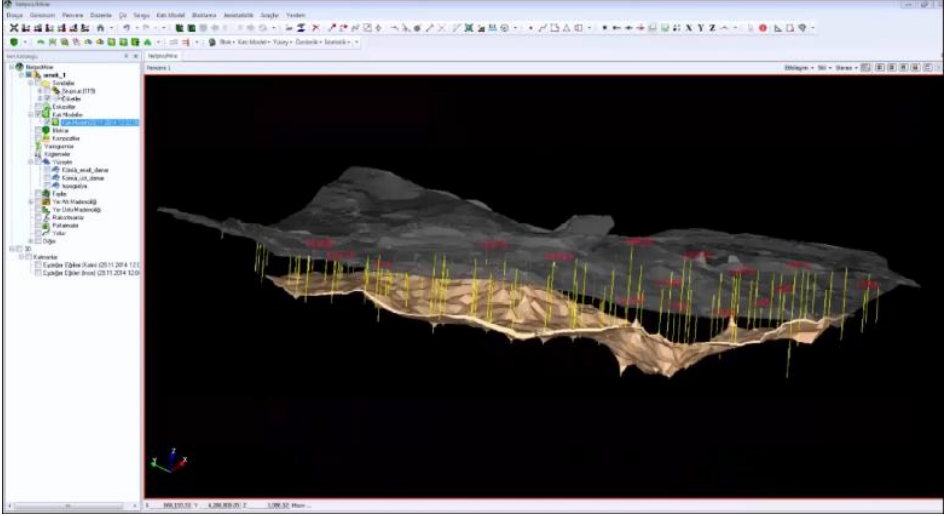


Şekil 10. Sondaj log raporlarının hazırlanması.

Cevher modelleme esnasında cevherin veya diğer sedimanter birimlerin alt, orta ve üst yüzey sınırları tercih edilmektedir. Projede kömür cevherinin alt ve üst sınır



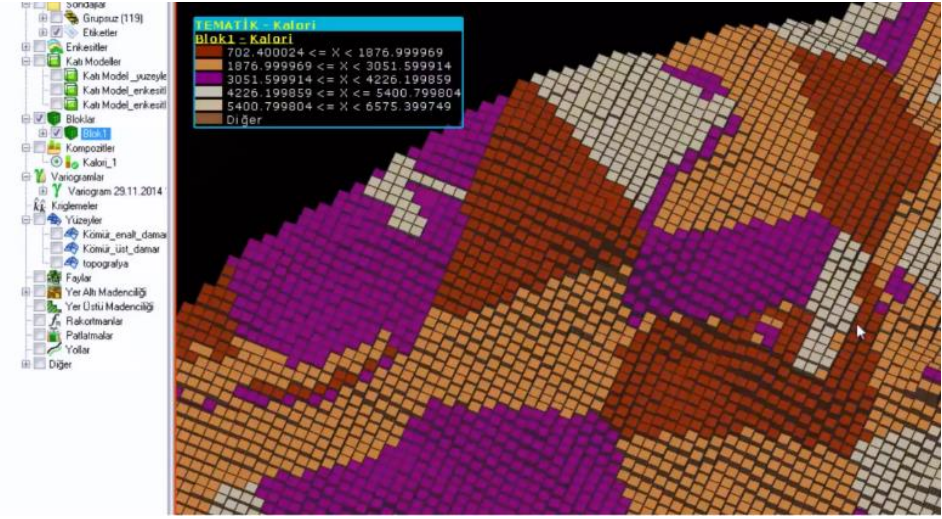
yüzeylerinden faydalanılmış; cevheri temsil eden katı model oluşturulmuş ve hacim bilgisine ulaşılmıştır (Şekil 11).



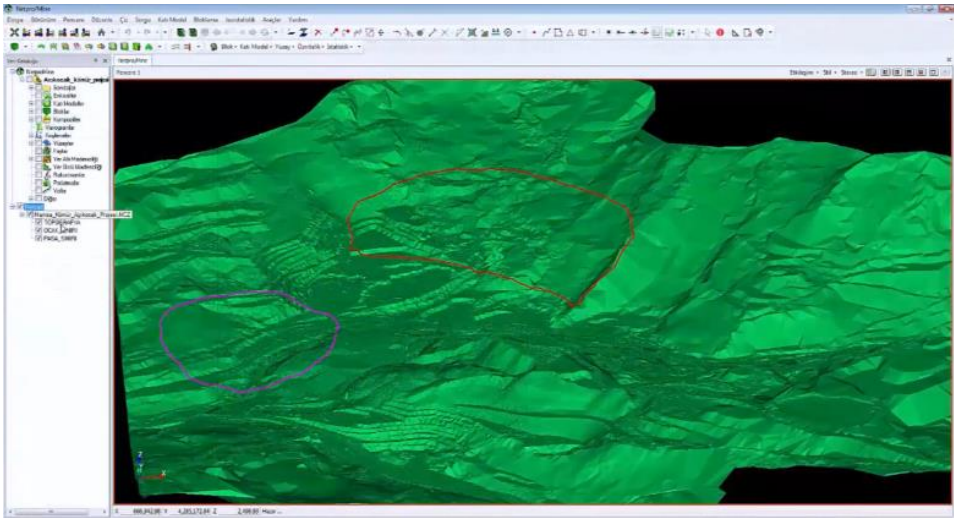
Şekil 11. Cevheri temsil eden katı model.

Cevheri temsil eden katı modeller bahsedilen yöntemler yardımıyla oluşturulmuş ve modele ait öznitelik kestirimlerinin yapılması için uygun değerlerde bloklanmıştır. Bloklar üzerinde jeostatistiksel yöntemler kullanarak kestirim yapabilmesi için farklı uzunluktaki örnek değerlerini eşit uzunluklu örnek (kompozit) değerlerine dönüştüren kompozitleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kompozitleme sonrası bloklar üzerinden jeostatistiksel yöntemler (variogram, en yakın komşu, ters uzaklık, krigleme) kullanılarak kestirim işlemi gerçekleştirilmiş ve bloklara ait öznitelik değerlerinin üç boyutta tematik olarak oluşturulması sağlanmıştır (Şekil 12). Blok model üzerinde gerçekleştirilen kestirim işlemi ile her bir blok için atanmış yoğunluk ve öznitelik değerleri raporlanmıştır. Raporlarda cevher yoğunluk, öznitelik, tenör-tonaj ve hacim bilgileri listelenmiştir.

Modellenen cevherin üretimi için en ekonomik üretim yönteminin açık işletme olacağı öngörülmüştür ve ocak planı oluşturulmuştur. Açık ocak maden işletmeciliğinde ocak/pasa harmanı tavan veya taban sınırı belirtilerek basamak tasarımı gerçekleştirilmiştir. Seçilen sahada tavan/tabana sınırları sayısallaştırılmış ve projeye aktarılmıştır (Şekil 13).



Şekil 12. Blok modelin jeostatistiksel yöntemlere göre kestirimi.

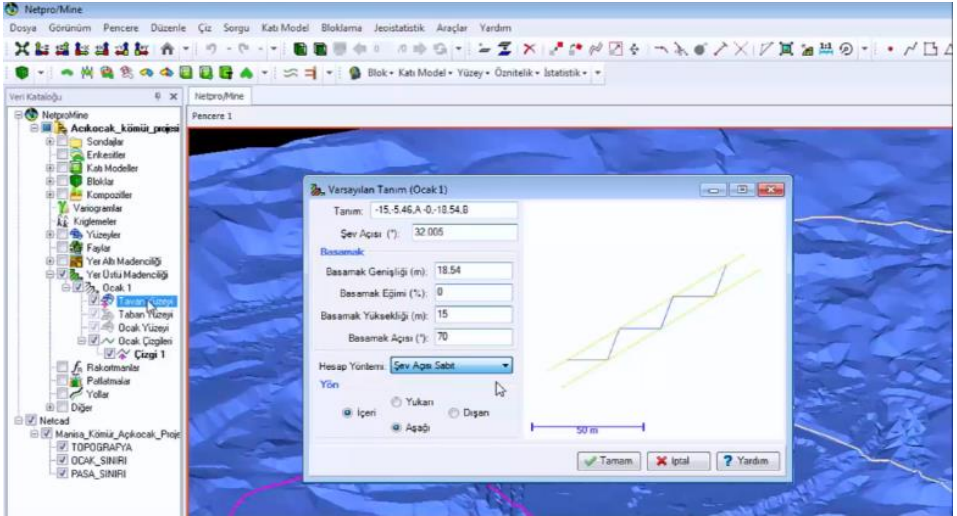


Şekil 13. Açık ocak ve pasa harmanı tavan sınırı, yüzey topografyası.

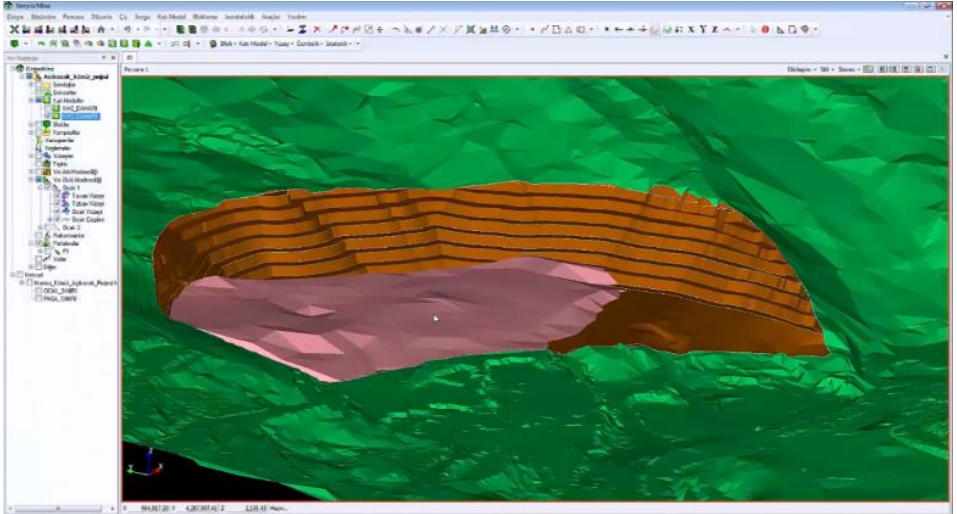
Ocak çizgisi olarak tanımlan sınır üzerinden basamak tanımları (genişlik, eğim, yükseklik ve açı değerleri) yapılarak basamaklar oluşturulmuştur. Basamak tanımı içinde hesap yöntemi ve yön tayini yapılarak ocak tasarımının tavandan tabana veya tabandan tavana doğru yapılması sağlanabilmektedir (Şekil 14).

Basamaklar arası geçişi sağlayacak rampa tanımları yapılarak ocak tasarıma eklenmesi sağlanmıştır. Tanımlanan basamak ve rampa tanımları sonrasında otomatik basamak oluşturma yöntemi kullanılarak basamaklar oluşturulmuştur.

Oluşturulan açık ocak basamak tasarımları, topografya ve cevher ile entegre edilerek proje yüzeyleri yenilenmiştir (Şekil 15).

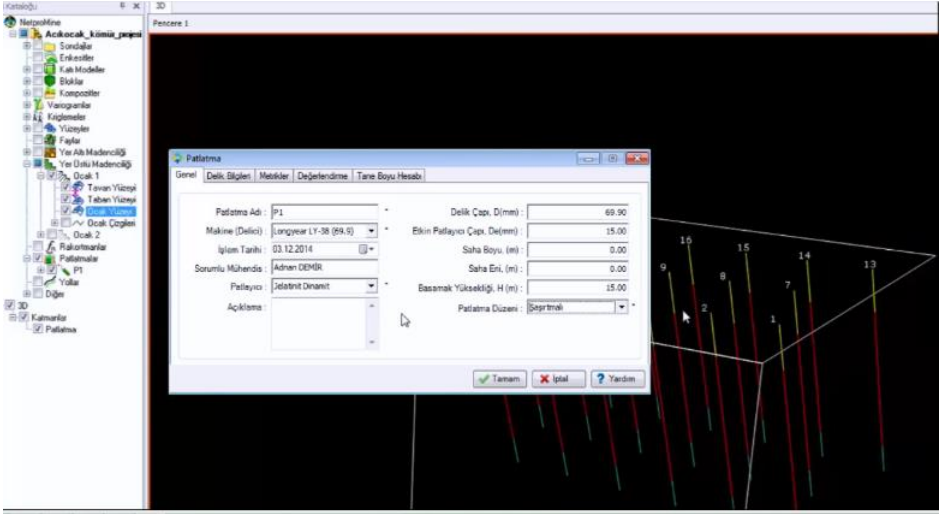


Şekil 14. Açık ocak basamak tasarımı için gerekli parametrelerin tanımlanması.

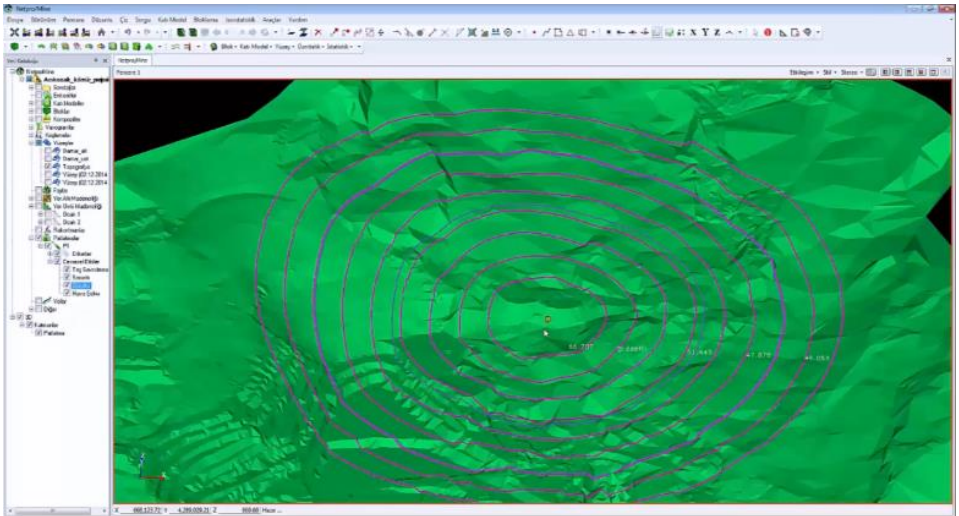


Şekil 15. Ocak yüzeyinin topografik yüzey ile entegrasyonu.

Açık ocak tasarımı sonrasında patlatma paterntasarımı (Şekil 16) ve patlatma yöntemine göre patlatma değerlendirmeleri yapılmış; belirlenen model ile çevresel etki değerlendirme analizleri olan 'hava şoku', 'gürültü', 'vibrasyon(yer sarsıntısı)' ve 'taş savrulması' değerlendirmeleri yapılmış ve yüzey modeli ile birleştirilmiştir (Şekil 17).

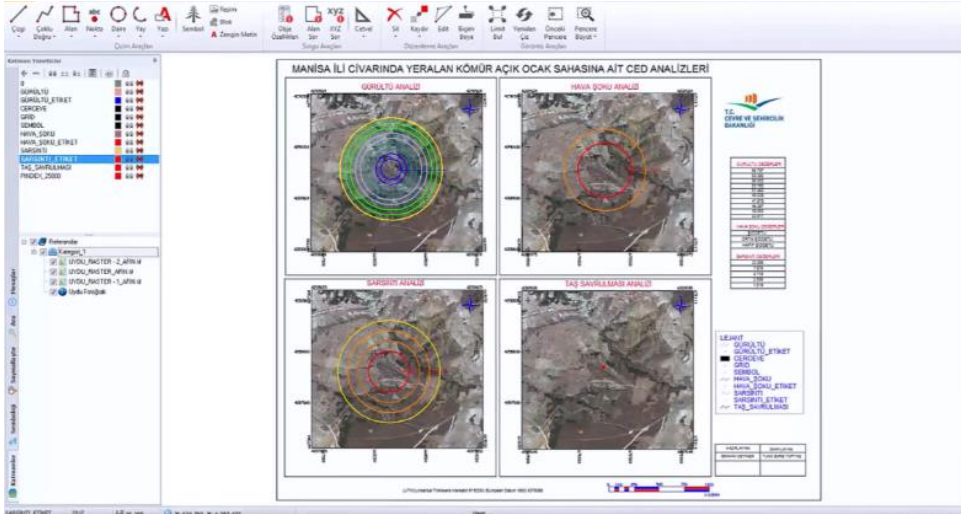


Şekil 16. Patlatma patern tasarımı



Şekil 17. Çevresel etki değerlendirme analizinin topografya üzerinde gösterilmesi.

Çevresel etki değerlendirme çalışmaları kapsamında yapılan ‘hava şoku’, ‘gürültü’, ‘vibrasyon(yer sarsıntısı)’ ve ‘taş savrulması’ analizlerine göre çalışma alanı ve civarının etkilenme derecelerine göre dağılım haritaları oluşturulmuş ve kurum standartlarına uygun yapıda hazırlanan çıktı şablonları yardımıyla kıtaya hazır hale getirilmiştir (Şekil 18).



Şekil 18. Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) analiz sonuçları.

### 3. SONUÇLAR

Maden proje süreçlerinde ruhsat sahalarına verilen izinler öncesinde bu sahalara ilişkin risk analizlerinin gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde çok sayıda maden kazası olmakta ve bu kazalarda çok sayıda üzücü can kayıpları yaşanmaktadır. Bunun en önemli sebeplerinden biri işletme izni verilen alanların doğal riskler açısından uygunluğunun araştırılmıyor olmasıdır. Oysa bilişim teknolojilerinin maden sahalarının risk analiz süreçlerinde kullanılması, olası risklerin önceden belirlenerek, işletme izinlerinin uygun alanlarda verilmesi için yol gösterici olmaktadır.

Çağdaş madencilik bilim ve teknolojisi, madenlerin çıkarılmadan önce; ocak optimizasyonlarının yapılmasını, üç boyutlu olarak modellenmesini, olası rezerv kestirimlerinin yapılmasını, üretim yönteminin belirlenmesini ve üretim planlarının yapılmasını gerektirir. Bu süreçlerin gerçekleştirilmesini sağlayan araçlar da yine bilişim teknolojileridir.

### KAYNAKLAR

Toptaş, T.E., 2015. Açık Ocak ve Yer Altı Maden Projelendirme Süreçlerinde Teknolojik ve Bütünleşik Yaklaşım, *Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi (TUMAKS-2015)*, Ref. No: MD-2014-535, Antalya

# Urfa Taşı ve Mardin Taşının, Binalarda Yapı Elemanı Olarak Kullanılmasında Ekolojik Özelliklerinin Karşılaştırılması

## *Comparison of Ecological Characteristics of Mardin and Urfa Stone Used as Structural Elements in the Building*

A. Sarıışık

*Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyon*

P. Derin

*Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyon*

**ÖZET** Bu çalışmada, Urfa taşı ve Mardin taşından alınan numuneler üzerinde, bazı mühendislik özellikleri araştırılmıştır. Bu araştırma sonucu Urfa taşı ve Mardin Taşının 4 farklı ortam koşulunda ısı iletkenlik özellikleri belirlendi ve diğer doğal taşlarla karşılaştırıldı. Amaç, bölgede çok kullanılan bu doğal taşların, bina yapı elemanı, cephe kaplama, dekorasyon ve restorasyon malzemesi olarak, gerçekte ne tür özelliklere sahip olduğunu ve yalıtım özelliklerini belirlemektir.

Bu amaçla, Mardin taşı için taş ocağından numuneler alınmış, mineralojik ve petrografik özellikleri, fiziksel, kimyasal, mekanik özellikleri belirlenmesi için analizler yapılmıştır. Yapılan (ses hızı ilerlemesi tayini, kılcal etkiye bağlı su emme katsayısı, basınç dayanımı, atmosfer basıncında su emme, sabit moment altında eğilme dayanımı, termal şok etkisiyle yıpranma direnci, aşınma direnci, nemli ortamda SO<sub>2</sub> yıpranmasına karşı direnç, cıva porozimetre, don tesirlerine dayanıklılık ve don sonrası basınç dayanımı, özgül kütle deneyi, SEM analizi, XRD analizi, DTA- TG analizi) deney ve analizlerden elde edilen sonuçlar standartlar açısından değerlendirilmiştir.

**ABSTRACT** In this study, some engineering properties were explored on the samples obtained from the Mardin Stone. The aim of this study is determining the insulating properties of this Natural Stones which are used widely in the region as a building structural member, facing work, decoration and restoration material. To that end, it had taken samples from the quarry for Mardin Stones and was analyzed to determine mineralogical and petro graphic features, physical, chemical and

mechanical properties. Experiments and analysis (determination of sound velocity progress, effect capillary bound water absorption coefficient, compressive strength, water absorption at atmospheric pressure, flexural strength under constant moment, wear resistance effect of shock, wear resistance, SO<sub>2</sub> resistance to wear in the environment, mercury porosimetry, strength on frost effect and pressure resistance after frost, SEM analyze, XRD analyze, DTA-TG analyze) had done and the results were evaluated in terms of standards.

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde, tarih boyunca farklı bölgelerde değişik iklim şartlarına uygun yapı malzemeleri kullanılmıştır. Doğu ve güney bölgelerde yapı malzemelerin özellikle yalıtım değerlerinin ön plana çıktığı gözlenmektedir. Tarihi dönemde kullanılan yapı elemanlarının bu günün şartlarında kullanım özelliklerinin araştırılması ve restorasyon işlerinde aslına uygun yapı elemanlarının temini önem kazanmıştır. Enerji verimliliği konfor, hizmet ve üretim seviyelerinde düşüşe yol açmadan, birim hizmet veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılması olarak tanımlanabilir.

Dünya genelinde yapılan çalışmalar, bina ve sanayi sektöründe önemli derecede enerji tasarruf potansiyeli bulunduğunu göstermekte, gelişmiş ülkeler bu konuya önemle eğilmektedir. Enerji verimliliği, en az yeni ve alternatif enerji kaynaklarının ve bunlara yönelik teknolojilerin geliştirilmesi kadar önem taşımaktadır. Ülkemiz enerji tüketimi son 15 yılda ikiye katlanırken dışa bağımlılık önemli oranda yükselmiştir. Yörede daha çok Mardin Taşı olarak bilinen kireçtaşları Mardin ve çevresinde yapılan günümüze kadar gelmiş olan birçok mimaride ve diğer tarihi yapılarda kullanılmıştır. Doğaltaşlar hakkında pek çok bilgi literatürde yer almaktadır. Ancak Mardin yöresinden çıkarılan doğal taşların yalıtım özellikleri hakkında kapsamlı bir deneysel verilere dayanan çalışma bulunamamıştır. Bilindiği üzere Mardin yöresinden çıkarılan doğal taşlar tarihi yapıları ile çok zengin olan bu kentimizin hemen hemen tüm yapılarında kullanılmıştır. Bu çalışmada Mardin yöresindeki Yalıtım köy ocağından alınan doğal taşın özellikleri deneysel olarak belirlenmiş ve analiz edilmiştir. Mardin taşının daha bilinçli olarak kullanımına katkı getirmek amaçlanmıştır.





## 2.2. Metot

Başlıklardan veya boş bir satırdan sonra başlayan paragrafları paragraf başı boşluğu bırakmadan yazınız.

### 2.2.1. Karakteristik testler

Ocaktan alınan numuneler Afyon Kocatepe Üniversitesi (AKÜ), Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme laboratuvarına getirilerek gerekli analizler, Bölüm laboratuvarı, Doğaltaş Analiz Laboratuvarı (DAL)ve Üniversite bünyesinde bulunan Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezinde (TUAM) yapılmıştır. Numunelerin içyapı analizleri, ısı iletkenlik analizleri, fiziksel analizler, kimyasal analizler ve mekanik analizler TS EN (1926,12371,14066 vb.) standartlarına göre yapılmıştır.

**XRF analizi**, cihaz, katı ve toz numuneler için numune tutucuya sahiptir. Numune hazırlama işlemi, öğütme ve eritiş sistemi ile gerçekleştirilmektedir. Analiz için gerekli numune, 30 ton kapasiteli manuel hidrolik numune presi ile analize hazır hale getirilmekte ve öğütme kabı tungsten karbürden mamuldür. Analiz numunesi, aynı zamanda talep üzerine; CLAISSSE M4 bilgisayar kontrollü 3'lü eritiş cihazı ile hazırlanmaktadır. TS EN 15309 standardına göre yapıldı. Çalışma kapsamında bu analiz AKÜ,Maden Mühendisliği Bölümü DAL laboratuvarlarında yapılmıştır.

**XRD analizi**, Doğaltaşların mineralojik analizi "Bruker Marka D8 Advance model" XRD (X-Işınları Difraktometre) cihazı ile AKÜ, TUAM' de yapılmıştır.

**SEM analizi**, LEO 1430 VP model SEM cihazı W (Tungsten) filament ile çalışmaktadır. Cihaz üzerinde ikincil elektron (secondaryelectron), geri yansıyan elektron (back scattered electron) ve X ışınları (EDX- Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) detektörü bulunmaktadır. Cihaz görüntü üzerinde nokta, çizgi, alan ve haritalama yöntemleri ile kalitatif ve semikantitatif olarak elementer analizleri yapabilmektedir. Çalışma kapsamındaki numunelerin analizi AKÜ, TUAM laboratuvarlarında yapılmıştır.

**Civa Porozimetre analizi**, Civa porozimetresi cihazı (MICROMERITICS), toz veya yığınsal numunelerde por boyutu, por boyut dağılımı ve yüzey alanı ölçümleri ile kütleli yoğunluk tayininde kullanılmaktadır. 2-3 gram parça halinde numuneler kullanılır. Cihazda, düşükbasınç; 50 psia, yüksek basınç 60.000 psia aralığında, numunelere basınç uygulayarak malzemenin % gözeneklik miktarı tayin edilir. Cihazda 3 nm ile 360 mikrometre aralığında iç gözenekler ölçülebilir.

**DTA/TG analizi,** Analizler normal atmosferde 0-20/dk ısıtma hızıyla numunelerin yapısında meydana gelen ağırlık kayıpları (TG) ve sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen endotermik ve ekzotermik reaksiyonların (DTA) hangi sıcaklıklarda meydana geldiğini gösterir. 3-4 gram civarında numune AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kroze kullanıldı.

**Termal iletkenlik analizi,** TCI- Thermal Conductivity Analyzer marka cihaz (Şekil 2.4) numunelerin düz yüzeylerinde 1 cm kalınlığında 10x10 cm numune boyutundaki numuneler cihazın sensörü ile numunenin yüzeyi çok iyi şekilde temas ettirilerek, Termal iletkenlik ölçümleri yapıldı. Her bir analiz için 6 numune ve her bir numune yüzeyinden 3 ölçüm alındı, toplamda 12 ölçüm yapıldı.

Termal şok etkisiyle yıpranma direncin tayini, TS EN 14066 Standardına göre yapıldı. Doğal taşlarda ani sıcaklık değişimlerinin etkisi ile (termal şok) meydana gelebilecek muhtemel değişimlerin tayinine yönelik deney metodunu kapsar.

Nemli halde ısı iletim katsayılarının ölçümü deney numuneleri etüve konularak kurutuldu. Daha sonra numunelerin üzerindeki tozlar bir fırça ile temizlendi. 0.1 duyarlıkta tartılarak kuru numune ağırlıkları (W) tespit edildi. Kurutulmuş numuneler, içinde oda sıcaklığında ve numune uzunluğunun dörtte biri kadar derinlikte su bulunan kaba yerleştirildi. Bir saat sonra numunelerin yarısı ve ikinci saatin sonunda dörtte üçü su içinde kalacak şekilde kaba su ilave edildi. Üç saat sonra sudan çıkarılan numuneler, ıslatılarak sıkılmış bir bez parçası ile silinip, bekletilmeden 0.1 g duyarlılıktaki terazide tartıldı ve su emdirilmiş ağırlıklar bulundu (W). Bu iki ağırlığın oranı alınarak su emme yüzdesi tespit edildi. Su emme oranı; denklemler yardımıyla yüzde (%) olarak hesaplandı. Mardin Taşı için %14.1, Urfa Taşı için de %21.8'lik su emme miktarları elde edilmiştir. 48 saat su kabı içerisinde bekletilen numuneler sudan çıkarılıp ıslak bir bezle durulandıktan sonra, 20 °C oda sıcaklığında iletkenlik deneyinden önce 25 dk doğal kurumaya bırakılmıştır. Nem oranı deneyinde amaç, numunelerin suya doymuş hale geldikten sonra içindeki nem oranına göre ısı iletimlik değerindeki değişim araştırılmıştır. Deney numuneleri, 200x200x20 mm (±2mm) ebatlarında olmalıdır. Dona Dayanım Tayini için TS EN 12371 standardından yararlanılmıştır.

### **3. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ**

#### **3.1. Karşılaştırılacak Testlerin Sonuçları**

Mardin Taşı örneklerinin İTÜ Maden Fakültesinde yapılan mineralojik-petrografik inceleme sonuçları: Doğal taşların mineralojik ve petrografik analizleri TS EN 12407'e göre hazırlanan ince kesitler, polarizen mikroskop altında incelenerek,

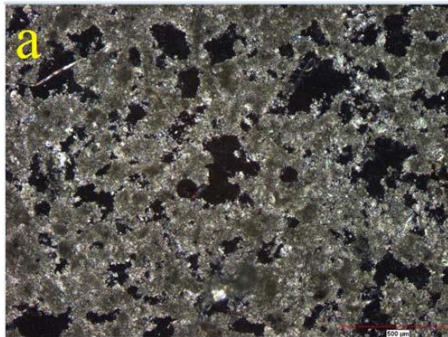
tanımlama ve yorumlamaları yapıldı. Makroskopik inceleme; Bej, grimsi bej renkte, bazı alanlarda ince beyaz mineral dolgulu kayadır. İkincil çatlak ve buna bağlı dolgu önemsizdir. Kayaç yüzeylerin de boyanma ve alterasyon zayıf gelişmiştir kayaç % 10luk seyreltik HCl asit ile muamelede belirgin bir reaksiyon verir genel olarak kayaçta asit ile muamelede reaksiyon izlenir sertlik (mohs cetveline göre) yaklaşık 3 Mohs olarak ölçülmüştür.

Mikroskopik İnceleme; Mikroskop altında yapılan incelemede çoğunlukla mikritik ve kristalize kalsitten oluşan kayadır. Mikritik kalsitler 0.01 mm ve altındaki boyutlardadır. Daha iri kristalize kalsit taneleri ise 0,1 mm ve altındaki boyutlardadır. Bu tür mineraller dışında kayaçta çok az oranda opak mineral izlenmiştir. Bazı alanlarda zayıfça izlenen fosil kavkılar tamamen ikincil kalsitlere dönüşmüştür. İkincil çatlak ve buna bağlı ikincil mineraller izlenmez numunenin petrografik-polarizan mikroskop ile saptanan bileşimi Çizelge 3.1'de verilmiştir (İTÜ, 2013). Kayaç yarı mikritik-yarı kristalize kireçtaşıdır. % 99 oranında kalsitten oluşur. Diğer bir ifadeyle  $\text{CaCO}_3$ (kalsiyum karbonat) oranı %99'dur (İTÜ, 2013).

Çizelge 1. Doğaltaşların kimyasal analizi.

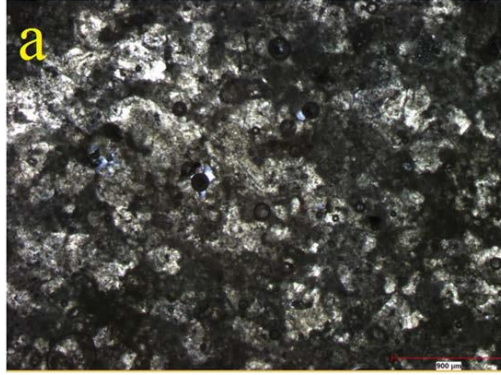
Numune	Bileşen (%)									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SrO	A.Z.
Mardin Taşı	0,15	0,01	0,06	54,72	0,21	0,18	0,01	0,02	0,02	44,60
Urfa Taşı	0,32	0,10	0,08	55,89	0,19	0,02	0,02	0,03	0,02	43,29

Polarizan mikroskobu ile mineralojik ve petrografik analizler Mardin taşı Şekil 1' de görülen ince kesitte gözenekli olan kayaç mikro kristalin kalsit kristallerinden oluşmaktadır. İnce taneli sert ve masif yapı sergiler az miktarda erime boşlukları ve gözenekler izlenmiştir.



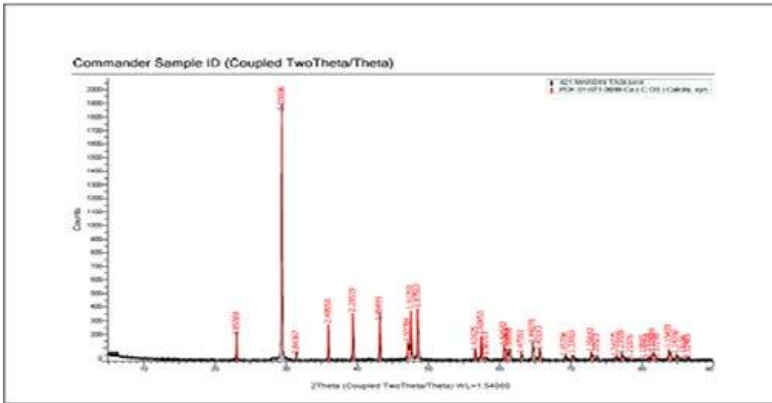
Şekil 1. Mardin taşı mikro kristalin kalsit kristalleri.

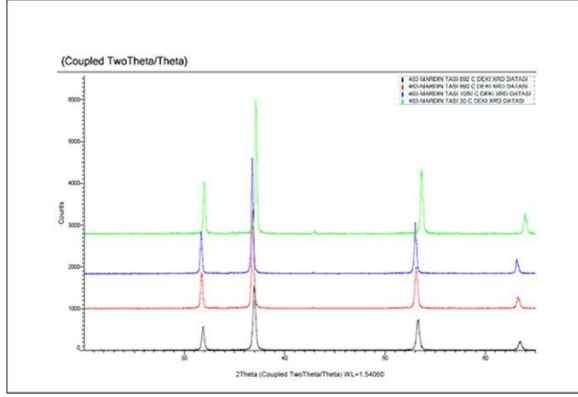
Urfa taşı, mikritik matris içerisinde yerleşmiş iri taneli kalsit kristallerinden oluşmaktadır. Yer yer gözenekli yapı sunan kayaç tamamen kalsit kristallerinden oluşmuş kireçtaşıdır (Şekil 2).



Şekil 2. Urfa taşı iri taneli kalsit kristalleri

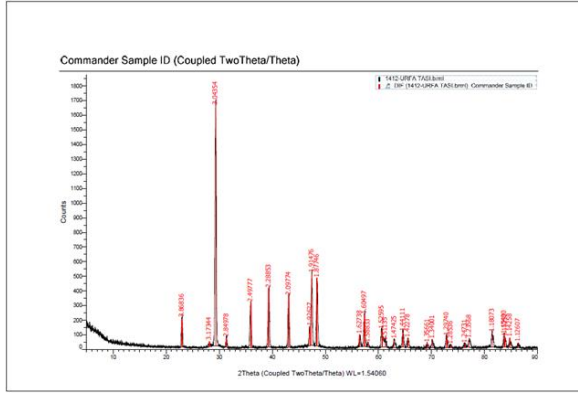
XRD Analizleri Deneysel çalışmalarda kullanılan Mardin Taşı (Mardin/Yalınköy ocağı), Urfa Taşı (Urfa/Merkez) numuneleri temin edilerek, Afyon Kocatepe Üniversitesi'nde bulunan Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde XRD analizleri yapılmıştır. Yapılan XRD difraksiyonu analizi sonucunda,  $2\Theta=200$  ile  $500$ arası incelendiğinde yüksek şiddetli bir çok pik görülmektedir. Farklı sıcaklıklarda yapılan XRD analizleri Şekil 3 ve Şekil 4'de verilmiştir.



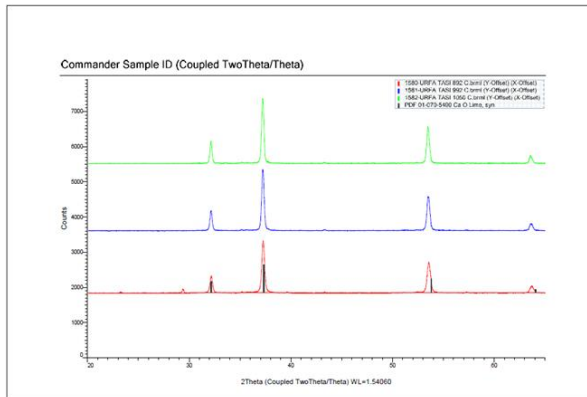


Şekil 4. Mardin taşı yüksek sıcaklık XRD (datası).

Diğer bir benzer yapıya sahip olan Urfa Taşına yapılan XRD analizinde Mardin Taşına yakın bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Urfa Taşına yapılan XRD analizi Şekil 5-6'de verilmiştir.

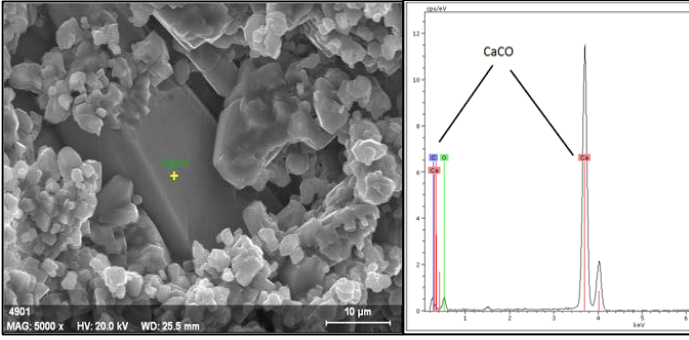


Şekil 5. Urfa taşının mineralojik (XRD) analizi.



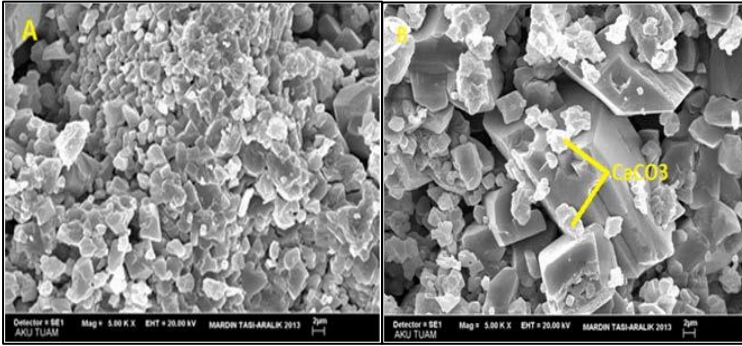
Şekil 6. Urfa taşının yüksek sıcaklık (XRD) analizi.

SEM Analizi Mardin taşı örnekleri yaklaşık 1 cm çapında parçalara kırılmıştır. Bu sayede kayaç yapısını ve dokusunu temsil eden yüzeyler elde edilmiştir. SEM incelemeleri için 250°C -300°C’de ince karbon filmle kaplandı. Numunelerin SEM görüntüleri ve EDX analizleri Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Mardin taşı SEM görüntüsü (kristal yapısı) ve EDX analizi.

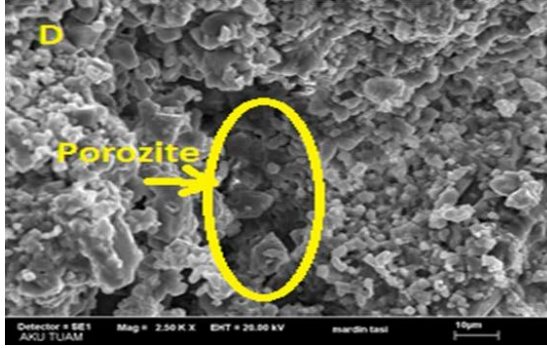
Mardin taşının mikro yapısını detaylı olarak gösteren SEM fotoğrafları Şekil 8, Şekil 9’da verilmiştir. Mardin taşı homojen mikro yapıya sahipken, gözenekli ve poroz bir özelliği göze çarpmaktadır. Mardin taşının homojen yapısını gösteren (A) ve (B) fotoğraflarındaki kristal yapıların yaklaşık yüzde yüze yakını kalsit kristalleri olarak görülmektedir. Kristallerin tane boyutları birçok alanda birbirine yakın boyutta iken poroz yapıların olduğu bölgelerde kristal tane boyutları büyümüştür.



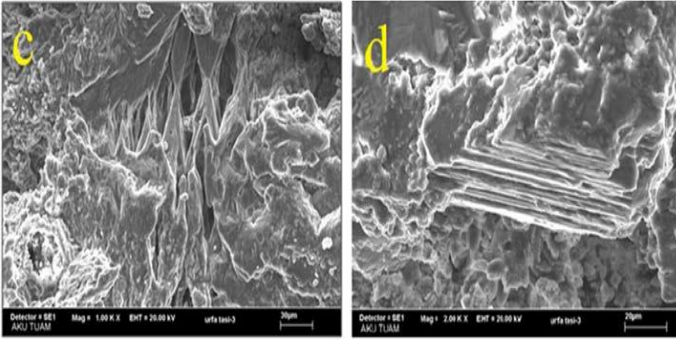
Şekil 8. Mardin taşı SEM görüntüsü (kristal yapısı).

Mardin taşı SEM (D) fotoğrafında boşluk her ne kadar büyük görünse de, kapalı boşluk olduğu anlaşılmaktadır. Kayacın gözenekleri içerisinde yer yer sarkıt ve dikit benzeri yapıların olduğu gözlenmiştir. Kayaç içerisindeki bazı sparitik kalsit kristalleri kırılırken dilinim düzlemleri boyunca kırılmıştır (Şekil 10). Kayacın yapısındaki gözenekler diğer numunelere göre daha fazla olduğu görülmüştür.

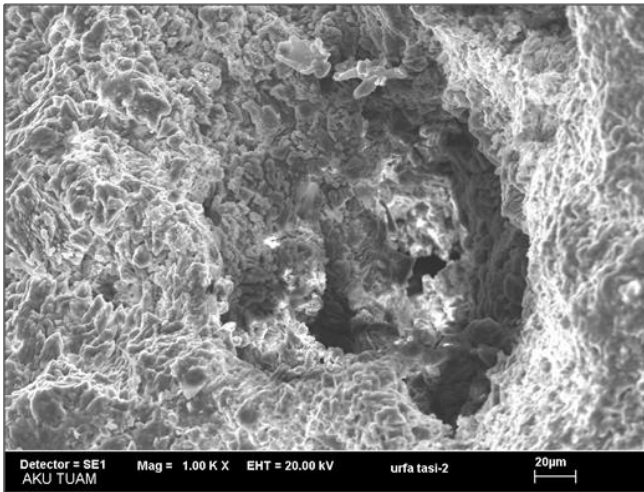
Şekil 11'de gözeneklerin iç kısımlarında tane sınırları boyunca çimentolaşma oldukça zayıftır. Civa Porozimetre analizi sonuçları Çizelge 1 ve Çizelge 2'te verilmiştir.



Şekil 9. Mardin taşı SEM görüntüsü (porozite).



Şekil 10. Urfa taşı SEM görüntüsü.



Şekil 11. Urfa taşı gözeneklerde yer yer birbirine bağlantılı olduğu yapı.

Çizelge 1. Mardin taşı civa porozimetre analizi sonuçları.

Numune	Toplam gözenek çapı m <sup>2</sup> /g	Medyan gözenek çapı (nm)	Ortalama gözenek çapı (nm)	Görünür yoğunluk (g/mL)	Porozite (%)
Mardin 1	0,718	4138	9687	2,7446	32,2421
Mardin 2	0,648	4212	7983	2,4647	24,1608
Mardin 3	0,492	4363	9529	2,4085	21,9981
Mardin 4	0,606	5801	10297	2,5572	28,5319
Mardin 5	0,672	4312	7836	2,6432	25,8207
Mardin 6	0,592	6365	8080	2,4713	22,7909
Ort	0,620	4415	8902	2,5482	25,9241

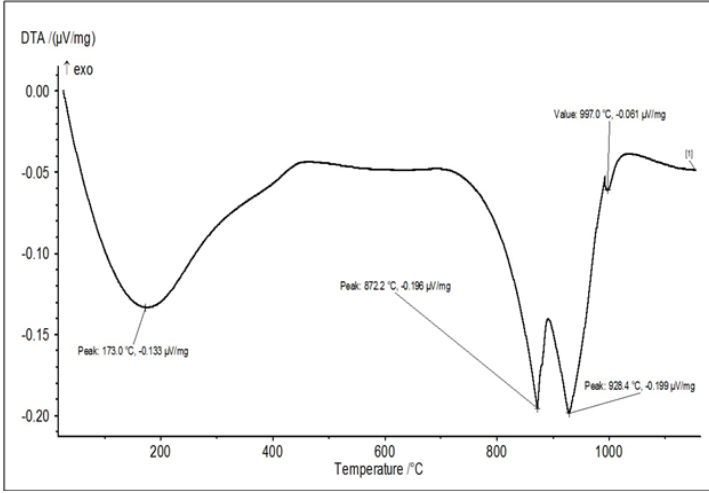
Çizelge 2. Urfa taşı civa porozimetre analizi sonuçları.

Numune	Toplam gözenek çapı m <sup>2</sup> /g	Medyan gözenek çapı (nm)	Ortalama gözenek çapı (nm)	Görünür yoğunluk (g/mL)	Porozite (%)
Urfa 1	0,222	2383	19494	2,5422	21,5476
Urfa 2	0,225	1961	13327	2,5131	15,8681
Urfa 3	0,217	1449	15100	2,5061	17,0426
Urfa 4	0,266	1348	11287	2,5300	15,9807
Urfa 5	0,290	7080	8283	2,8151	4,6678
Urfa 6	0,196	2342	20982	2,5392	20,7193
Ort	0,236	1698,5	14745	2,2409	15,9710

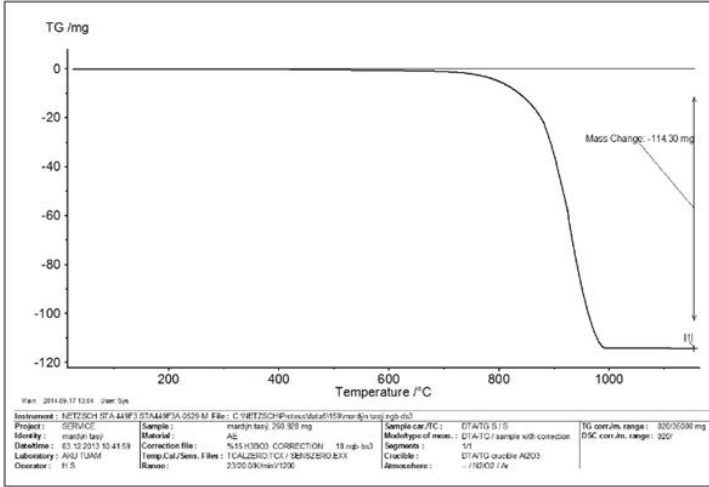
DTA/TG Analizler normal atmosferde 20°C/dk ısıtma hızıyla numunelerin yapısında meydana gelen ağırlık kayıpları (TG) ve sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen endotermik ve ekzotermik reaksiyonların (DTA) hangi sıcaklıklarda meydana geldiğini gösterir. Mardin taşı numunesi üzerinde TG analizi yapıldığında 114,30 mg kütle azalması oluşmuştur. Bu azalma Şekil 13'de görülmektedir.



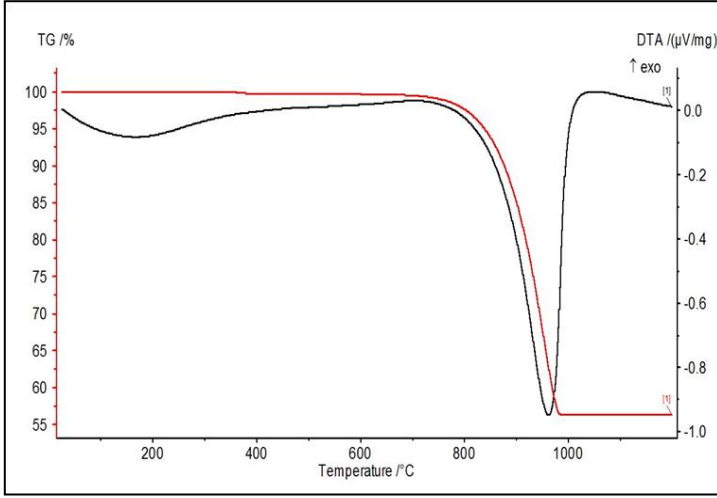
Urfa taşı numunesi DTA grafiğini Şekil 14’de incelediğimizde endotermik reaksiyon gerçekleşmiştir. Urfa taşı numunesi TG analizi yapıldığında -43,72 mg kütle azalması oluşmuştur. Bu azalma Şekil 15’de görülmektedir.



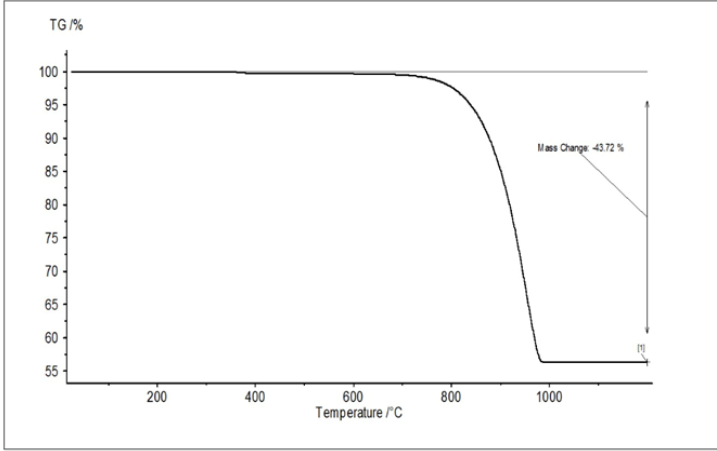
Şekil 12. Mardin taşı DTA analizi.



Şekil 13. Mardin taşı TG analizi.



Şekil 14. Urfa taşı DTA analizi.



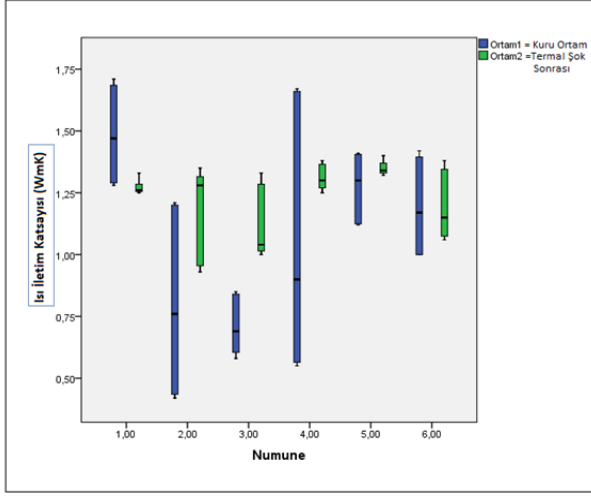
Şekil 15. Urfa taşı TG analizi.

#### 4. DOĞALTAŞLARIN ISI İLETİM KATSAYILARININ KARŞILAŞTIRILMASI

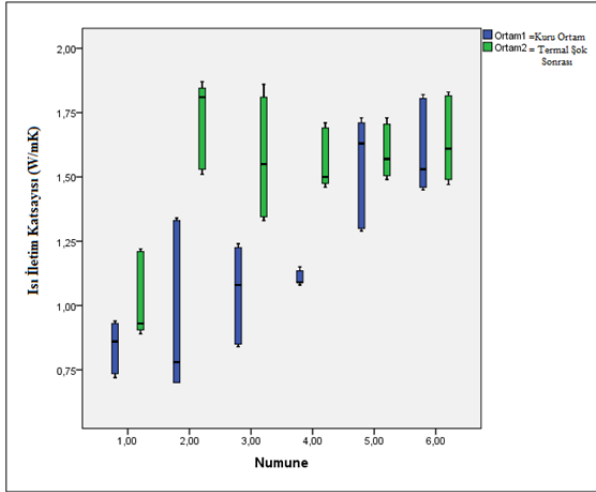
##### 4.1. Kuru ve Termal Şok Sonra Ölçülen Isı İletim Katsayılarının Karşılaştırılması

Doğal taş numunelerinin kuru ortamdaki (mavi renk) ve termal şok sonrası (yeşil renk) ısı iletim katsayıları arasındaki değişim Şekil 16 ve Şekil 17'de görülmektedir. Doğal taşlar çevre etkilerine bağlı olarak değişik ortamlara tabi tutulmuş özellikle oda koşullarında kuru ortamda ve termal şok sonrası ısı iletim katsayısı ölçümleri yapıldığında, doğal taşların kuru ortamdaki ısı iletim

katsayısının düşük, termal şok sonrası ısı iletim katsayısı büyümüşür. Bu veriler taşımızın termal şok sonrası bir miktarda olsa bozuşma gösterdiği ifade edilebilir (Şekil 16-17).



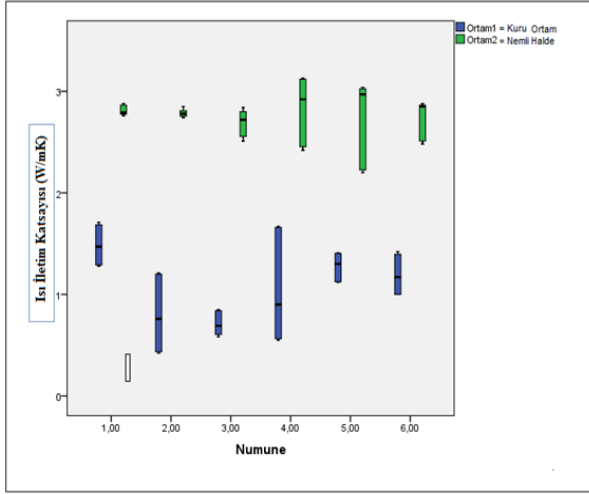
Şekil 16. Mardin Taşının iki farklı ortamdaki ısı iletim katsayıları grafiği.



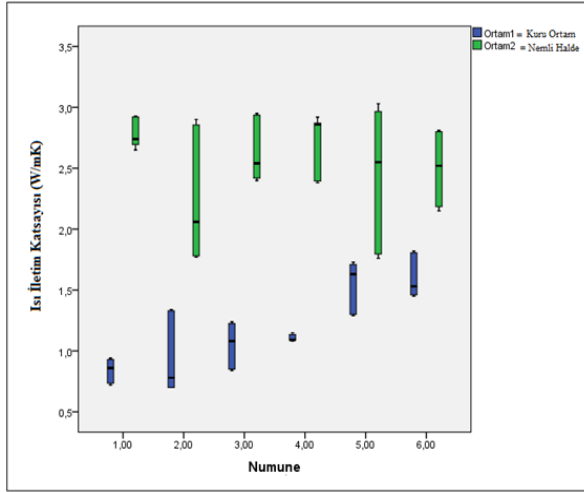
Şekil 17. Urfa taşının iki farklı ortamdaki ısı iletim katsayıları grafiği

#### 4.2. Kuru ve Nemli Halde Ölçülen ısı İletim Katsayılarının Karşılaştırılması

Doğal taş numunelerinin kuru ortamdaki (mavi renk)ve nemli halde (yeşil renk) ısı iletim katsayılarıarasındaki değişim Şekil 18 ve Şekil 19’da görölmektedir.



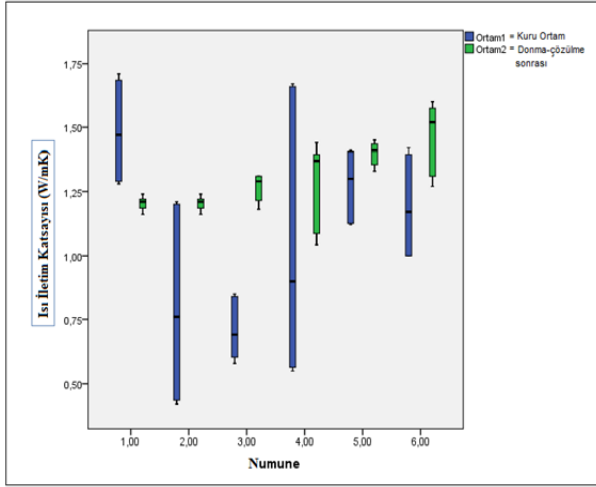
Şekil 18. Mardin Taşının iki farklı ortamdaki ısı iletim katsayıları grafiği.



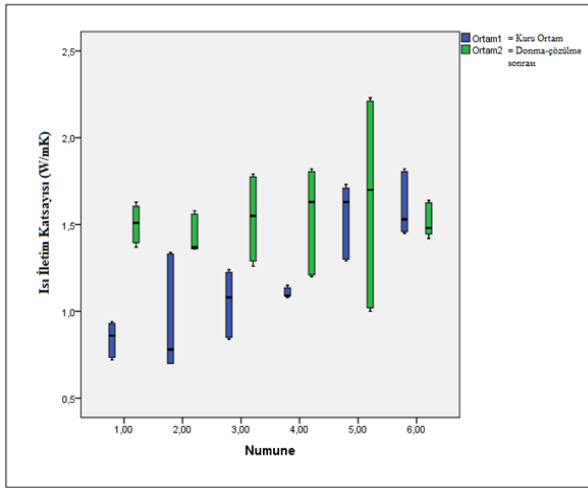
Şekil 19. Urfa taşının yüksek sıcaklık (XRD) analizi.

### 4.3. Kuru ve Donma-Çözülme Sonrası Ölçülen Isı İletim Katsayılarının Karşılaştırılması

Doğal taş numunelerinin kuru ortamdaki (mavi renk) ve donma-çözülme sonrası (yeşil renk) ısı iletim katsayıları arasındaki değişim Şekil 20 ve Şekil 21'de görülmektedir.



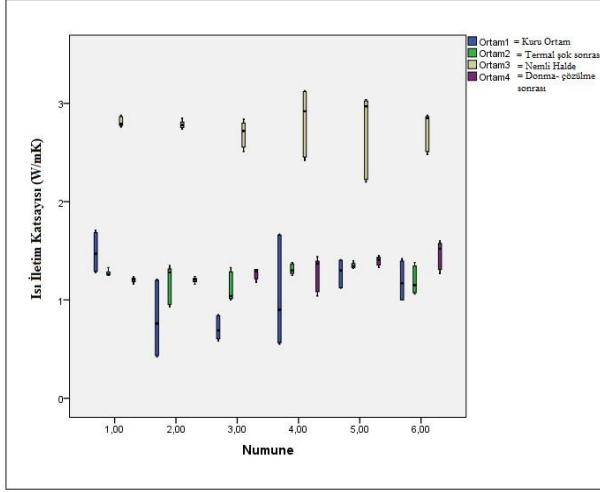
Şekil 20. Mardin Taşının iki farklı ortamdaki ısı iletim katsayıları grafiği.



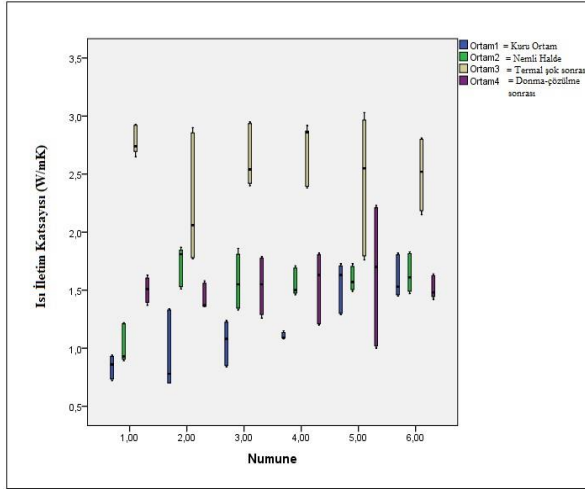
Şekil 21. Urfa taşının iki farklı ortamdaki ısı iletim katsayıları grafiği.

#### 4.4. Doğaltaşların Dört Farklı Ortamda Ölçülen Isı İletim Katsayılarının Karşılaştırılması

Mardin ve Urfa Taşı numunelerin dört farklı ortamdaki ısı iletim katsayısındaki değişim Şekil 22'de ve Şekil 23'de verilmiştir.



Şekil 22. Mardin Taşının dört farklı ortamdaki ısı iletim katsayıları grafiği.



Şekil 23. Urfa Taşının dört farklı ortamdaki ısı iletim katsayıları grafiği.

## 5. SONUÇLAR

Doğaltaş örneklerinin fiziksel, kimyasal, mekanik ve içyapı özelliklerini belirlemek, bu özelliklerin ısı iletim katsayısı ile ilişkisini açıklamak için çeşitli deneyler yapılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçların TS EN doğal taşlar standartlarına uygunlukları incelenmiştir. Buna göre; Mardin taşında, renk değişimi yoktur. Çünkü kimyasal içeriğinde %  $Fe_2O_3$  oranı düşüktür. Porozite ölçümlerinden civa porozite değerleri ortalama olarak, Mardin Taşının % 25,924, Urfa Taşının %15,971, bulunmuştur. Isıl iletkenlik değerleriyle karşılaştırıldığında Mardin Taşının ısı iletkenlik değerinin düşük ve porozite değerlerinin yüksek

olmasından dolayı ısı ve ses yalıtımında kullanılması Urfa Taşına göre uygun görülmektedir. Özgül ağırlıkları, için Mardin Taşı 2,55 g/mL, Urfa Taşının 2,25 g/mL, olarak ölçülürken TS EN 1936 (minimum 2,55 gr/cm<sup>3</sup>) standardına Mardin Taşının uyduğu saptanmıştır. Görünür yoğunluk deney sonuçları ortalama olarak Mardin Taşının 2,55 (g/mL), Urfa Taşının 2,25 (g/mL), bulunmuştur. Gerçek yoğunlukları Mardin Taşının 1,88(g/mL), Urfa Taşının 1,85 (g/mL), bulunmuştur. Hacim kütlesi ile yoğunluk arasındaki farklılık porozitenin yüksek değerlerde olmasından kaynaklandığı görülmektedir. Hacimce su emme oranları Mardin Taşının % 25,93, Urfa Taşının %16,58, bulunmuştur. Ağırlıkça su emme oranları Mardin Taşının % 13,72, Urfa Taşının % 8,20 olarak tespit edilmiştir. Ultra ses geçiş hızı ölçüm sonuçları, Mardin Taşının 3,27 Km/s, Urfa Taşının 3,21 Km/s, olarak ölçülmüştür. Mardin taşının ultra ses geçiş hızı daha yüksek çıkmasının ana nedeninin porozite olduğu açıkça görülmektedir. Mardin Taşının SEM görüntülerinden, kayacın yapısındaki gözeneklerin birbiri ile temasının olmamasından dolayı, yalıtım özelliği üst düzeyde olduğu görülmüştür. Mardin Taşı ses yalıtımında da kullanılabilir. Mekanik özelliklerin belirlenmesi ve sonuçların ısı iletkenlik ile arasındaki ilişkilerin yorumlanması aşamasında doğaltaşların basınç dayanım testleri ve don sonrası kütle kayıpları belirlenmiştir. Sonuç olarak; Mardin Taşının tek eksenli basınç dayanımı 20 MPa, Urfa Taşı 23 MPa olduğu belirlenmiştir. Kayacın açık ve kapalı gözenek miktarının standart değerlerden çok yüksek olması Doğaltaşların mukavemetini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Basınç dayanımı yüksek olanın ısı iletkenliği yüksek, düşük olanın ısı iletkenliğinin düşük olduğu gözlenmiştir. Don sonrası meydana gelen kütle kayıpları ise Mardin Taşı için % 0,02, Urfa Taşı için %0,4 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen don sonrası kütle kayıplarının ısı iletkenlik ile ters orantılı olduğu belirlenmiştir. Bunun dışında, TS EN 12371 (maksimum %5) standardına göre sınır değerlerin altında kaldıkları görülmüştür. Sıcak iklimlerde denenmiş başarısının yanı sıra, (-40 °C) kadar dona karşı dayanım kapasitesine sahiptir. Don kaybı deneyi sonucunda örneklerde gözle görülebilecek şekilde değişiklikler meydana gelmemiştir. İklim şartları da dikkate alındığında donma sonucu halinde dökülme veya dağılma söz konusu değildir. Ancak kayaçların gözenekleri içerisinde bulunan değişik boyuttaki kristallerden çok az bir kısmının döküldüğü görülmüştür. Mardin Taşı'nın fiziksel yapısında herhangi değişikliğin meydana gelmemesi don sonrası ağırlık azalması % 0,02'de kalması ve don sonrası basınç dayanım değerinin 15,58 MPa çıkması farklı ortam şartlarında kullanılabilirliğini gösterir. Urfa taşının sem analizi sonucu kayacın kristal yapıları tam olarak gözlenememekle birlikte, yer yer yarı öz şekillidir. Kayacın genel

yapısını incelediğimizde, kayacı oluşturan tanelerin birbiriyle kalsitik bir çimentoyla bağlandığı görülmüştür.

Numunelerin, SPSS Programı ile farklı ortamlardaki ısı iletim katsayıları tespit edilmiştir. Farklı ortamlara tabi tutularak deney öncesi ve deney sonrası değişimler gözlemlenmiştir. Numunelere kuru, termal şok, nemli, dona dayanım, etkilerine karşı ısı iletim analizi yapılmıştır. Numunelerin deney öncesi ve deney sonrası değerleri karşılaştırılarak değişim oranları tespit edilmiştir. Yapılan bu analiz, test ve deneylerin sonucunda erişilen bulgular aşağıda verilmiştir: Termal iletkenlik analizi sonucunda bulunan ısı iletim katsayıları, Mardin Taşının 1,08 k (W/mK), Urfa Taşının 1,18 k (W/mK)'dir. Mardin Taşının kuru ortamda en düşük ısı iletim katsayısı değerine sahip olduğu görülmüştür. Termal şok deneyi sonrası ısı iletim katsayıları Mardin Taşının 1,24 k (W/mK), Urfa Taşının 1,52 k (W/mK)'dir. Donma-çözülme sonrası ölçülen ısı iletim katsayıları Mardin Taşının 1,32 k (W/mK), Urfa Taşının 1,53 k (W/mK) olarak bulunmuştur. Nemli halde ölçülen ısı iletim katsayıları Mardin Taşının 2,77k (W/mK), Urfa Taşının 2,55 k (W/mK)'dir. Nemli ortamın diğer ortamlardan farkı doğaltaşların ısı iletkenliğini arttırdığı ve yalıtım özelliğini düşürdüğü görülmüştür. Dört farklı ortama tabi tutulan numuneler için ölçülen ısı iletim katsayılarının değiştiğini özellikle doğal taşların cıvaporozimetre değerleri göz önüne alındığında nemli halde ısı iletim katsayılarında büyük bir artış gözlemlenmiştir. Numunelere uygulanan deneyler sonucunda numune yüzeylerinde aşırı derecede yıpranma ve çatlama meydana gelmemiştir. Numunelere uygulanan termal şok ve dona dayanım deneyinden sonra ölçülen ısı iletim katsayılarının nemli halde ölçülen ısı iletim katsayılarından düşük olduğu belirlenmiştir. Doğaltaşların farklı ortamlarda, belirlenen ısı iletim katsayıları bakımından değerlendirecek olursak, genelinde kuru ortamda ısı iletim katsayıları daha düşük olduğu görülmüştür. Termal şok deneyi ve donma-çözülme deneyi sonrasında ölçülen ısı iletim katsayılarında çok az bir değişim olduğu gözlemlenmiştir. Fakat en çok nemli ortamda ısı iletim katsayılarının arttığı görülmüştür. Bu doğal taşların nemli iklimlerde kullanılması tavsiye edilmemektedir.

## KAYNAKLAR

- Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2011. Mardin Taşı Teknik Rapor, AKÜ Maden Mühendisliği Doğal Taş Analiz Laboratuvarı (DAL), Afyonkarahisar, 6 sf.
- İstanbul Teknik Üniversitesi, 2013. Doğal Taş Numunesi Hakkında, Teknik Rapor No:853, İTÜ Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü, İstanbul, 5 sf.
- MTA, 2008. Mardin Taşı Analizi, MTA Rapor No:3739 Ankara, 6 sf.



- Sarışık, A., Derin, P., 2015. Mardin Taşının Farklı Ortam Koşullarında Isı İletkenlik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Diğer Doğaltaşlarla Karşılaştırılması, AKÜ Bilimsel Araştırmalar Proje Birimi Proje No, 14.HIZ.DES.62, Afyonkarahisar.
- TSEN12371, Türk Standartları, 2009. Doğal Taşlar Deney Metotları-Dona Dayanım Deneyi, *TSE*, Ankara.
- TSEN12440, Türk Standartları, 2009. Doğal Taşlar Deney Metotları-Açık Hava Etkisiyle Görünüş Değişikliğinin Tayini, *TSE*, Ankara.
- TSEN13755, Türk Standartları, 2006. DoğaltaşlarDeney Metotları-Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini, *TSE*, Ankara.
- TSEN14579, Türk Standartları, 2006. Doğal TaşlarDeney Metotları-Ses Hızı İlerlemesinin Tayini, *TSE*, Ankara.
- TSEN1936, Türk Standartları, 2001, Doğal TaşlarDeney Metotları-Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini, *TSE*, Ankara.

# Bir Çevre Kirliliği ve Savurganlık Sorunu, Şiferton Gerçeği

## *An Environmental Pollution and Splurge Issues, the Fact Fireclay*

B. Haner

*Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak Meslek Yüksekokulu, Zonguldak*

S. Haner

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Isparta*

Ö. Elitok

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta*

**ÖZET** Batı Karadeniz Havzası, üretilebilir maden yatakları bakımından oldukça büyük bir zenginlik arz etmektedir. Ancak bu hammaddelerden yararlanılması düşük bir düzeyde kalmaktadır. Üstelik yüksek maliyetlerle elde edilen bu hammaddelerin bir kısmı veya tamamı çevreye atılmakta ve kirlilik yaratmaktadır. Cevher hazırlama yöntemlerinin etkin bir şekilde uygulanacağı yatırımların yapılmadığı görülmektedir. Zahmetli yöntemlerle yeraltından elde edilen bu hammaddelerin başında, kömürün bir yan ürünü olan ve serbest damarlar halinde de bulunabilen şiferton gelmektedir. Posta harmanlarına işe yaramayan taş diye atılan bu hammaddeyi gelişmiş ya da gelişmekte olan birçok ülkenin aradığı fakat sanayisi gelişmiş ülkelerin ancak mamul olarak sattıkları, ya da kendi gereksinimlerini karşılamak üzere kullandıkları görülmüştür.

Bu bildiride, şifertonun bir çevre sorunu olmaktan çıkartılıp, ağır sanayimizin gelişmesinde bir katkı olarak değerlendirilmesi üzerinde durulacaktır.

**ABSTRACT** The Western Black Sea basin is enriched in terms of ore deposits. However, benefit from these raw materials is still at lower level. Some or all of raw materials produced at higher costs are thrown away to the environment and this causes pollution in the region. On the other hand, investments to developed mineral processing methods are not enough. One of the most important raw material produced from underground in the region is fire clay that is produced in very difficult conditions and occurs as veins in relationship with coal. Fire clay carried to waste piles as waste material is demanded by developing or developed countries,

and developed countries sell fire clay as processed valuable industrial material or use for their needs.

In this paper, beyond becoming an environmental problem, we will discuss contribution of fire clay to our heavy industry.

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Şiferton ve Özellikleri

Şiferton yaygın olarak, ateşe dayanıklı killerin metamorfizması sonucu oluşan ve plastik olmayan refrakter özellikli kil minerali şeklinde tanımlanır (Haner, 1980). Bu iki ifadenin dışında, refrakter killerin ileri derecede diyajenezi sonucunda oluşan plastik özelliğini yitirmiş kil minerali olarak da tanımlanabilir (Öcal, 1993).

Şiferton, bilhassa ağır sanayide, ateş tuğlası yapımında kullanılan bir hammadde kaynağı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, Batı Karadeniz Havzasında önemli bir ekonomik girdi olan kömürün çıkartıldığı damarlara bitişik veya içice tabakalar halinde olması, hatta bileşiminin kömürün oluşumu esnasında meydana gelen organik asitlere ve havza koşullarına bağlı olması da önemli bir konudur.

Şiferton hammaddesine ait genel kimyasal bileşim Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Şifertonun genel kimyasal bileşimi

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Alkali oksitler	Ateş zayılatı
Şiferton	45-50	25-45	1-5	1	0.8	15-25

Şifertonun içerisindeki Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> genellikle, siderit (FeCO<sub>3</sub>), limonit (FeO(OH)nH<sub>2</sub>O) ve pirit (FeS<sub>2</sub>) gibi minerallerden kaynaklanmaktadır. Ateş zayılatının %12’si mineral suyu, %5-6’sı da maden kömürü gibi yanıcı maddelerden oluşmaktadır.

Şifertonun, sinterleşme teorik ısısı 940 Kcal/kg’dır. Bu değer 240 Kcal/kg’ı mineral suyunu atmak için 700 Kcal/kg’ı da sinterleşme esnasında harcanmaktadır.

Şiferton, bileşimindeki maddelerin oranlarının etkilediği kalitelere ayrılmaktadır. Kalite tespitinde esas olarak, SK (Seger Konisi) derecesi önemlidir. SK, ısıya karşı mukavemeti belirleyen Alman Standartlarını ifade etmektedir. Ele alınmaya değer en düşük kalitedeki şifertonun ısıya dayanım değeri 1500°C olarak kabul edilmiştir (Oral, 1976). Bunun üstündeki 1535°C’lik bir ısıya mukavemet eden şifertonun SK’si 26’dır. Azami 1830°C’ye mukavemet eden şifertonun SK’si 37’yi bulmaktadır. SK’si yüksek olan şiferton daha kaliteli olarak kabul

edilmektedir. İçerik olarak  $Al_2O_3$  oranının yükselip,  $SiO_2$  oranının azaldığı durumlarda şifertonun kalitesi de artmaktadır.

Şifertonun içeriğindeki demir türü safsızlıkların azaltılması için ön yakma ve manyetik ayırma işlemleri uygulanmaktadır. Hammaddeye ilk olarak kırma işlemi uygulanır ve tane boyutu 0-20 mm aralığına getirilerek ön yakma fırınında ateş zayıyatı %2'nin altına düşürülür. Böylece şifertonun içindeki manyetik olmayan demir oksitlerin manyetik hale gelmesi sağlanmakta ve %20 civarındaki karbon da yakılarak uzaklaştırılmaktadır. Kırılan malzemenin tane iriliğinin 3 mm'den az olan kısmının demir bileşikleri ve ateşte zayıyat bakımından zengin olması durumunda da kayıp artmaktadır. Manyetik ayırmada küçük boyutlara kırma gerektiğinden zayıyatın artışı buna bağlanabilir. Bunun yanı sıra 3 mm'den büyük şifertonun içine ısı iyi nüfuz edemediğinden tekrar kırıcıya verilerek boyutunun küçültülmesi yine kaybı arttırıcı bir durumdur. Ön yakma işleminden sonra şiferton, manyetik seperatörlerde, tamburlardaki manyetik alan şiddeti ayarlandıktan sonra demir oksit ayıklama işlemi yapılır. Böylece en yüksek %5 civarında  $Fe_2O_3$  içeren ön yakılmış şiferton, %1.5  $Fe_2O_3$  olarak alınabilir. Manyetik seperatörlerden alınan konsantre şiferton döner fırınlarda sinterlenerek ateş zayıyatı %0.3 seviyesinin altına düşürülür. Şiferton içerisindeki demir türü safsızlıkların %2'den fazla olması durumunda, hammaddenin döner fırında pişirilmesi esnasında kemer oluşumu meydana gelmektedir. Ayrıca demir içeriği fazla olan şifertonun kullanıldığı refrakter tuğlaların fiziksel özelliklerinde çeşitli olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra alkali oksitlerin miktarının %0.8'den fazla olması ve fırının normalden fazla malzeme ile beslenmesi istenmeyen kemer oluşumunu hızlandırmaktadır.

## 1.2. Batı Karadeniz Havzasındaki Şiferton Potansiyeli

Şiferton varlığı ile ilgili belirlemeler yapılması için başta MTA'nın 1974 yılından başlayan araştırmaları olmak üzere geniş kapsamlı çalışmalar yürütülmüştür. Sonuçlar dönemsel raporlar halinde sunulmuştur. Bu araştırmalar 1947 ile 1987 yılları arasında yoğunluk kazanmıştır. P. Arni, 1940 yıllarında havzadaki refrakter kil etütlerine ilişkin ilk çalışmayı yaparak araştırdığı mostralardan aldığı örneklerin ateşe dayanım testlerini yaptırmış ve bu mineralin şiferton olduğunu belirtmiştir. Bu yıllarda havzada araştırmalar yapan A. Shlehan, Amasra, Bartın ve İnkum Bölgeleri'nin incelemesini yapan F. Charles ve havzanın ilk yorumlarını yapan P. Arni ile birlikte J. Louis ve Recep Egemen'i ilk grupta sayabiliriz. Daha sonraları Sümerbank Filyos Ateş Tuğlası Müessesesi'ne şiferton yatağı bulmak için Amasra, Tarlaağzı ve Gömü sahalarında ilk araştırmayı Sadettin Pekmezciler yapmıştır

(Pekmezçiler, 1947). Bunu takiben Melih Tokay'ın aynı amaçla yaptığı çalışmalar incelemelere ışık tutmuştur (Tokay, 1954). Augusto Zallaco 1965-1967 yıllarında Tarlaağzı sahasında yaptığı sondajlı etütlerle 675 000 ton şiferton rezervi bulmuştur. Yine aynı araştırmacı Karadon Bölgesinde de 1 milyon ton işletilebilir, 2.5 milyon ton görünür muhtemel rezerv saptamıştır (Zallaco, 1966, 1967). Muhtelif zamanlarda İbrahim İnce, Koray Tüzüner, Ferhat Denizci (Denizci, 1976), Nejdî Üzer (Üzer ve Karakullukçu, 1985), Tahir Karakullukçu, Salih Güldiken, İrfan Arslan gibi araştırmacılar incelemeleri ve raporlarıyla katkı sağlamışlardır. Bu çalışmalar sonucunda Karadon, Kozlu, Kırat, Ontemmuz, Taşkesen, Amasra, Azdavay, Söğütözü, Kurucaşile Bölgelerinde şifertona rastlanılmış ve bu bölgelerin bazılarında yapılan sondajlar, galeri aramaları ve mostra verileriyle şiferton rezervleri belirlenmiştir. Havzada şiferton arama amacıyla 1978-1987 tarihleri arasında yapılmış, 15 adet kömür sondajında da şiferton kesilmiştir. En sığ sondaj 11 m (Kırat), en derin sondaj 1125 m'de gerçekleşmiştir. Yapılan bu araştırmalarla havzada saptanmış şiferton sahaları Şekil 1'de ve bulunan rezervler ise Çizelge 2'de görülmektedir.



Şekil 1. Batı Karadeniz Taşkömürü Havzası şiferton sahaları jeoloji haritası

### 1.3. Şifertonun İşletilebilirliği

Bu konuda karar verebilmek için damar karakteristiklerinin, şifertonun kömürle olan ilişkisinin, derinliğin bilinmesi ve kesitler üzerinde çalışılması gerekmektedir. İlk planda bu işletmeciliğin yapılabilir olması gerekmektedir. Doğal olarak böyle bir çalışmanın öncelikle yeterli sondaj verisine dayandırılması şarttır. Ayrıca

havzanın geçirmiş olduğu tektonizma ve arızalı yapı nedeniyle ele alınan damarın sıklıkla kaybedilmesi veya kalitesinin kömüre olan durumuna göre değişkenlik göstermesi gibi sorunlarla karşılaşılabilir. Verimli damarı bulmak ve onu izlemek verilerin doğruluğu nispetinde kolaylaşmaktadır.

Çizelge 2. Bölgelere göre saptanmış şiferton rezervleri (Haner, 1998)

Bölge	Görünür+Muhtemel rezerv (ton)	
Filyos ırmağının batısı	Kilimli-Karadon	6 185 130
	Kırat	150 000
	Ontemmuz	750 000
Filyos ırmağının doğusu	Amasra-Gömü	1 500 000
	Amasra-Tarlaağzı	10 000 000
	Tarlaağzı-Gürlek	675 000
	Azdavay	2 000 000
	Bartın-Kazpınar	17 816 917
	Kurucaşile	5 000 000
	Pelit Ovası	1 000 000
<b>Genel Toplam</b>		<b>45 077 047</b>

MTA Genel Müdürlüğü'nün 1975 yılından bu yana yaptığı kömür+şiferton amaçlı sondajlardan ve yeraltı işletmesi ocaklarından elde edilen verilere göre şifertonun konumu genelde izleyen şekillerde olup bu durumun işletilebilirliğe etkisi bulunmaktadır.

- İnce kömür seviyesinin üzerinde veya altında,
- İki ince kömür seviyesinin arasında,
- Kömürden ayrı olarak bağımsız seviyeler şeklinde,
- Kalın kömür seviyeleri ile birlikte,
- Kömür tabakası içinde ara kesmeler halinde.

Bu durumun yanı sıra işletilebilirlik, şiferton damarının derinliği göz önüne alınarak belirlenmektedir. Maliyet açısından bakıldığında mostra ve yüzey işletmeciliği her durumda yapılabilirken yeraltı işletmeciliği, şiferton damarının kömürle ve kömür için açılan galerilerle olan ilişkisine ve derinlik artışına bağlı olarak değerlendirilmelidir. Günümüzün şartlarına göre, derindeki şifertonu almak için yapılacak büyük ve küçük hazırlıklar ekonomik değildir. Sağlam yapılı bir mineral olduğundan genelde mostrayı takiben damar içinde çalışılmıştır. Mostra ve

yüzey işletmeciliği Kırat–Osmançayırı’nda uygulanmıştır. Üçüncü durumun yeraltı işletmeciliği, Tarlaağzı’na Kömür İşletmeleri tarafından terkedilen ocaklarda yapılmıştır. Bunun yanı sıra Karadon, Kırat, Amasra-Gömüköy-Çınarlı-Tarlaağzı ve Tontonkaya civarı için açık işletmeciliğin fizibilitesi üzerinde durulmalıdır. Sondaj logları ve kesitler göz önüne alınarak yapılabilecek yeraltı işletmeciliği ekonomiklik esas alınarak belirlenebilir. Şekil 2’de sıklıkla karşılaşılan damar durumları ve bazı öneriler sondaj logları ile birlikte verilmektedir.

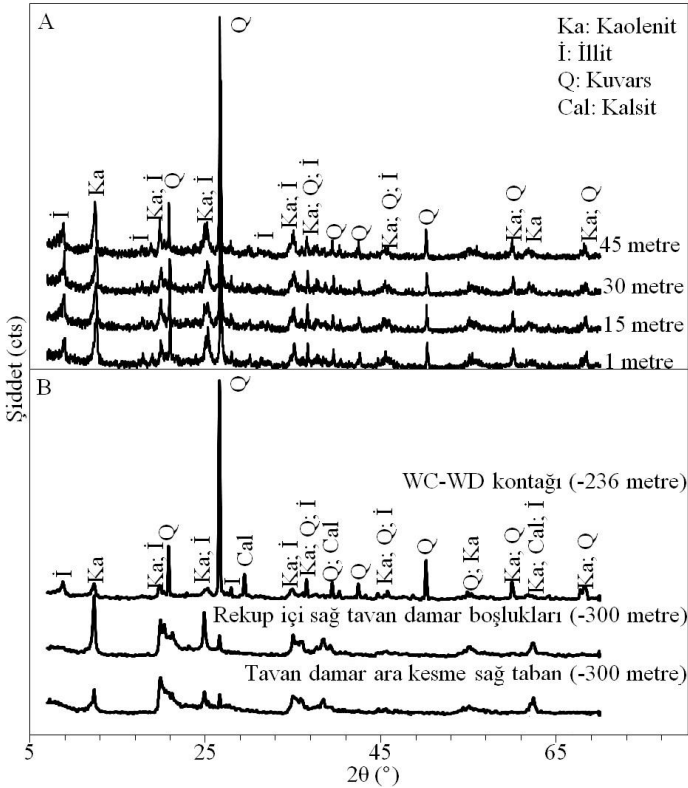
Eğer yukarıda sıralanan durumlardan sonucunda olduğu gibi şiferton, kömür tabakaları arasında ara kesmeler halinde bulunuyorsa lavuarlardaki yıkama esnasında ayırmaya çalışılmalıdır. Böyle bir ayırma yapılmadığı için bugün yağlarda on binlerce ton şiferton bulunmaktadır. Ancak burada damarda da yapılabilecek şeyler vardır. Bu durumda kömür damarının ve ara kesmenin kalınlığına göre üretilebilirliğin etüt edilmesi gerekmektedir. Ancak kömür kalınsa, genelde arakesitle alınmayıp, tavan stabilitesi için ve tahkimata yardımcı olması amacıyla yerinde bırakılabilir. İlk durum, yani ince kömür seviyesinin üzerinde veya altında olması durumu, Amasra-Çınarlı Aygün ocağında uygulanmıştır.

SONDAJ LOG’U BİLGİLERİ	HAZIRLIK ÜRETİM GALERİSİ KESİTİ	ÖNERİLER
<p>N-5 +155.00 Koordinatlar x= 93 032 y= 97 747 z= 154.19 m Şiferton Tarlaağzı</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Şiferton kalın; delme-patlama ile önce alınır.</li> <li>-Kömür üstte ve tavan akıcı, çürük karakterde ise, bu durumda kömür yerinde bırakılır.</li> <li>-Kömür üstte, tavantaşı sağlamsa üretilebilir.</li> <li>-Kazı aracı olarak martopikör ve kazma kullanılır.</li> <li>-Kömür altta ise şifertonu takiben kömür üretilebilir.</li> <li>-Şiferton kalınsa, dilimli çalışma yapılır.</li> </ul>
<p>N-1 142.00 (0) 51.90 53.10 Şiferton 96.40 96.60 Şiferton Tarlaağzı</p> <p>Koordinatlar x= 93 256 y= 97 663 z= 139.74 m</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>-İnce kömür seviyesinin arasında ise,</li> <li>-Tavan ve tavantaşı müsaitse, önce şiferton delme patlatma ile sonra kömür martopikör ve kazma ile alınır.</li> <li>-Şiferton kalınsa, dilimli çalışma uygulanabilir.</li> <li>-Kalın kömür damarıyla birlikte, şifertonun durumuna ve kalınlığına göre ayrı ayrı alınır.</li> <li>-Taşıma ve havalandırma için aynı galerilerden yararlanılır.</li> </ul>
<p>N-9 +192.00 (0) 47.00 Şiferton 50.80 61.80 Şiferton 64.20 Tarlaağzı</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bağımsız damarlar ayrı hazırlık gerektiriyorsa ekonomisi ve bunun derinlikle değişimi etüt edilmelidir. Üretim delme patlatma ile gerçekleştirilir (Tarlaağzında kömür işletmeleri tarafından terk edilen ocaklarda uygulanmıştır).</li> </ul>

Şekil 2. Şifertonla kömürün durumlarına göre üretim önerileri

## 2. KARADON VE AMASRA BÖLGESİ ŞİFERTONU

Karadon sahasındaki şiferton damarları, Şevket Gözülü adlı şahsın aldığı ruhsatla çalıştırılmıştır. Ancak günümüzde üretim yapılmamaktadır. Şifertonun bolca bulunduğu Westfalien-C jeolojik döneminde oluşmuş Acılık Damarı ara kesmelerinden ve Amasra-Tarlaağzı bölgesinden alınan örnekler üzerinde yapılan XRD (X-Işını kırınımı) analizi ve kimyasal analiz sonuçları Şekil 3 ve Çizelge 3'de verilmiştir.



Şekil 3. A) Karadon Bölgesi ve B) Amasra Bölgesi numunelerinin XRD analizi

Karadon Bölgesi Acılık Damarı ara kesmelerinden farklı aralıklarla alınan ve Amasra-Tarlaağzı Bölgesi şiferton içeren örneklerin faz içerikleri X-Işını kırınım (XRD) yöntemi ile belirlenmiştir. Bu amaçla örnekler, Philips X'Pert PRO MPD marka ve model X-Işını kırınım cihazında;  $2\theta=7-77^\circ$ , Cu K- $\alpha$ , 2 derece/dakika tarama hızında çekime tabi tutulmuşlardır. Örneklerin XRD analizleri Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeotermal Enerji, Yeraltı Suyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezinde gerçekleştirilmiştir. XRD analizine göre



şiferton olarak adlandırılan kayacın ana olarak kaolinit ve kuvars az miktarda illit mineralinden oluştuğu söylenebilir.

Çizelge 3. Karadon ve Amasra Bölgeleri numunelerinin kimyasal analizi

	Karadon Bölgesi		Amasra Bölgesi					
	1 metre	45 metre	WC-WD*		R.İ.D.B*		T.D.A.K*	
	Çiğ	Çiğ	Çiğ	Pişmiş	Çiğ	Pişmiş	Çiğ	Pişmiş
SiO <sub>2</sub>	60.13	52.93	64.90	70.33	49.30	57.40	47.80	59.94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.43	17.04	14.65	15.88	32.00	37.20	28.70	35.99
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.13	3.97	2.45	3.20	1.10	1.28	1.20	1.51
TiO <sub>2</sub>	0.76	0.73	0.50	0.54	0.20	0.23	0.10	0.13
CaO	0.26	0.17	6.02	6.52	1.54	1.79	1.26	1.58
MgO	0.72	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.22	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	2.54	2.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A.Z.*	13.81	21.42	11.48	3.53	15.86	2.10	20.94	0.85

\*WC-WD kantağı, -236 m

\*R.İ.D.B. Rekup içi sağ tavan damar boşlukları, -300 m

\*T.D.A.K Tavan damar ara kesme sağ taban, -300 m

\*A.Z. Ateş ziyatı

Çizelge 3'deki kimyasal analiz sonuçlarına bakıldığında, Amasra Bölgesi numunesinde WC-WD kantağına yaklaşıldıkça, kömürle birlikte olan şifertonun kalitesinin bozulduğu, ancak damar içinde bulunan şifertonun A Kalite olduğu ve demirinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu damarlardan üretilen tüvenan kömürün lavuarda yapılan yıkama sonucu ortaya çıkan atıklarının içinde önemli miktarlarda şiferton bulunmaktadır. Atıkların içinde bulunan bu hammaddenin çıkarıldığı yerde yapılacak ek bir tesiste gerekli işlemlerden geçirilmesi neticesinde tüketim yerine gönderilecek ürün kullanıma hazır hale gelecektir. Böylelikle kullanım yerlerine kadar gereksiz kısımların nakledilmesiyle ortaya çıkan yüksek maliyet azaltılmış olacaktır. Ayrıca hammaddenin yeraltından çıkarılması için ek bir maliyetin gerekmediği, zaten üretim esnasında çıkarılmasının zorunlu olduğu da maliyete katılırsa, yan ürün olarak devlete büyük bir katkı sağlanacağı görülmektedir. Diğer yandan bu hammadde, ekonomik bir değeri olmadığı düşünülerek doğaya atılmakta ve çevre sorunu yaratmaktadır. Yurt dışından büyük maliyetlerle alınan bu kil türünün değerlendirilmesi ülke ekonomisine büyük bir katkı sağlayacaktır. Bölgede ateş tuğlası imalatı yapan Zonguldak Yatırım Filyos Ateş Tuğlası Makina Madencilik Enerji San. Tic. A.Ş.

ve Çaytaş Ateş Tuğla Sanayi ve Ticaret A.Ş. fabrikaları, tesislerine uzak mesafedeki yurtiçi bölgelerden ve yurtdışından bu ve benzer hammaddeleri yüksek fiyatlarla temin etmektedirler. Bu firmaların yıl içinde temin etmiş oldukları hammadde fiyatları Çizelge 4’te görülmektedir.

Çizelge 4. Ateş tuğlası kilinin kimyasal bileşimi ve fiyatı (Kıyıcı, 2015)

		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	Ateş zayılatı	Fiyatı (\$/ton)
Esan şamot	Çiğ	42.20	39.10	0.84	1.20	0.56	16.10	190+KDV
kili	Pişmiş	49.40	44.64	0.71	1.40	0.65	3.20	

### 3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yığınlara atık diye atılan şiferton, çok ihtiyaç duyulan bir hammadde olmasına rağmen, ateş tuğlası üreticileri onu değerlendirmektense düşük kapasite ile çalışmayı tercih etmektedirler. Yurtdışından hammadde ithalatıyla ihtiyacın karşılanamaması ve fiyatların gün geçtikçe artması nedeniyle her yıl mamul tuğla ithalatı artmaktadır. Önümüzdeki yıllarda ateş tuğlası ihtiyacının gitgide artacağı görülmektedir. Ancak buna rağmen gerekli yatırımlar yapılmamakta, aksine tesisler küçülmekte ve ayakta kalma mücadelesi vermektedir.

Önceleri, Amasra’ya bağlı Tarlaağzı ve Çınarlı sahalarından elde edilen şiferton, 90 km ötedeki fabrikaya kamyonlarla taşınıyordu. Taşıma masrafları toplam maliyetin %18’ini teşkil ediyordu. Malzeme ham olduğundan yakma kaybı oranında fazladan taşıma yapılmış oluyordu. Manyetik ayırmanın devreye girmesi ile bu kayıp %50 civarına çıkmaktaydı. Bu durum, şifertonun yarısının boşa taşınması anlamına gelmektedir. Oysa bu sakıncanın önüne geçmek için hammaddenin elde edildiği yerde bir band, kırma ve eleme tesisi ile döner bir fırın yapılması, böylelikle tüvenan cevherin değerlendirilerek, ürün haline getirilmesi sağlanabilir. Amasra’da veya Karadon’da TTK veya özel sektör, böyle bir yatırımı kolaylıkla yapabilir. Böylelikle yurtdışından dövizle yüksek alüminalı ham ve yarı mamul alınmadığı gibi fabrikaların düşük kapasite ile çalışmasının önüne geçilebilir.

Jeolojik etütleri biten sahaların işletilebilirliği için detaylı şekilde çalışma yapılmalıdır. İşletilebilirliğe etki eden etkenlerden fizibilite, mineralojik, petrografik, teknolojik ve kalite yönünden değerlendirmeler yapılmalıdır. Pratikte ve sanayide kullanılabilirlik yöntemleri tespit edilmelidir.

Kömürde yapılan sondajların karotlu olmasına özen gösterilmeli, kırıntılı sondaj yapılmamalıdır. Bu sahaların üretim haritaları ve üretim profilleri, damar

korelasyonları yapılmalıdır. Yatak boyutlarının ortaya konması gerekmektedir. Ayrıca radyometrik yaş tayini palinolojik yaş tayinleri sağlıklı biçimde ortaya konulmalıdır.

Öte yandan, sahaların işletilebilmesi için hukuki sorunlar halledilmeli, rüdevansla kömür + şiferton sahası kiralayanların şifertonu üretmesi veya sahada ayıklayarak değerlendirmesi şart koşulmalıdır.

Yukarıda belirtilen önlem ve tedbirlerin alınmaması sonucu, bilhassa Westfalen-C formasyonlarından alınan kömürlerin, ara kesmesinde, taban ve tavan taşında bulunan ve ekonomik değeri olan şiferton (ateş kili), yıkanan kömürün atığı olarak atılmakta ve çevreyi kirletmektedir. Ateş tuğlası fabrikalarımız ise ihtiyacı olan bu hammaddeyi en düşük maliyeti 170-180 \$/ton olmak üzere genellikle yurtdışı piyasalarından temin etmektedirler.

## KAYNAKLAR

- Denizci, F., 1976. *Amasra Karbonifer Havzasında Yapılan Şiferton Etütleri*, Rapor No 3370, Ankara.
- Haner, B.,1980. Şifertonun Önemi ve Tanıtılması, *Türkiye 2. Kömür Kongresi*, s.63-73, Zonguldak.
- Haner, B., 1998. Şiferton'un Havzadaki Durumu İşletilmesi ve Maliyetler, *Türkiye 11. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, s.251-260, Bartın.
- Kıyıcı, B., 2015. Kişisel Görüşme, Filyos-Zonguldak.
- Oral, A., 1976. *Makine-Enerji Teknik El Kitabı*, Sümerbank Teknik Yayınları, No 1, Ankara, 543 s.
- Öcal, M., Güngör, G., Gök, M.Ş.,1993. *Resimli Madencilik Terimleri Sözlüğü*, Kutay Ofset Matbaacılık, Ankara, 291 s.
- Pekmezçiler, S., 1947. *MTA Enstitüsü Tarafından Yapılan Arama ile Tetkikler Hakkında Rapor*, Rapor No 1736, Zonguldak.
- Tokay, M., 1954. Filyos Çayı Ağızı-Amasra-Bartın-Kozcağz-Çaycuma Bölgesinin Jeolojisi, *MTA Enstitüsü Dergisi*, 46-47, s.58.
- Üzer, N., Karakullukçu, T., 1985. *Zonguldak-Bartın-Kazpınarı-Kaman Köyleri Dolayındaki Şiferton Ruhsat Sahalarında Yapılan Taşkömürü Sondajlarının Etüt Jeolojik Raporu*, GMD:102228-29, Zonguldak, 25 s.
- Zallacco, A., 1966. *Tarlaağzı-Amasra-Bartın-Zonguldak Bölgelerinde Ateşe Dayanıklı Kil Aramaları Hakkında Nihai Rapor*, Ankara.
- Zallacco, A., 1967. *Amasra Karbonifer Havzasında Ateş Kili Aramaları*, Derleme No 273, Ankara.

# Köyceğiz Yöresi Olivin Cevherinin Karakterizasyonu ve Çevresel Uygulamalar Yönünden Değerlendirilmesi

## *Characterization of Köycegiz Olivines, and Assessment Regarding its Environmental Applications*

S. Aktürk

*Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fizik Bölümü, Muğla*

T. Güler

*Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Muğla*

**ÖZET** Bu çalışmanın amacı Muğla/Köyceğiz yöresinden temin edilen olivin cevheri örneğinin mineralojik karakterizasyonunun gerçekleştirilmesidir. Boyut küçültme ile farklı fraksiyonların mineralojik bileşiminde değişimler de incelenmiştir. Karakterizasyon işlemi XRD, XRF, SEM-EDS ve mikroskopik inceleme yöntemleri uygulanmıştır. Cevher örneğinin olivin, forsterit, lizardit, kromit, enstatit ve augit içerdiği ve harzburjit-lerzolit bileşiminde olduğu bulunmuştur. Boyut küçültme ile farklı fraksiyonlarda lizardit dışında mineral zenginleşmesi olmamıştır. Boyut küçültme ve sınıflandırma ile çevresel uygulamalara yönelik düşük kromlu ürün elde edilememiştir.

**ABSTRACT** The aim of this study is to determine the mineralogical composition of olivine ore sample supplied from Muğla/Köyceğiz location. Mineralogical variations in different size fractions of comminuted sample were also investigated. Characterization works were conducted by XRD, XRF, SEM-EDS and microscopic inspection. Olivine, forsterite, lizardite, chromite, enstatite and augite were the minerals in ore sample. The content of ore was determined that it has been made up of harzburgite-lherzolite composition. Mineral enrichment in certain fractions after comminution was not seen except lizardite. Olivine sample having low Cr for environmental applications could not be obtained by comminution and classification.

## 1. GİRİŞ

Olivin, bazik ve ultrabazik kayalar içerisinde oluşmuş bir ortosilikat mineral grubudur. Ortorombik sisteminde kristalleşir ve esas olarak  $Mg^{+2}$  ve  $Fe^{+2}$  silikatlardan oluşur. Kristal halde bulunan olivinin genel formülü  $(Mg,Fe)_2SiO_4$ 'tır.  $Mg^{+2}$  ve  $Fe^{+2}$ 'in baskın olduğu uç mineraller forsterit ( $Mg_2SiO_4$ ) ve fayalit ( $FeSiO_4$ ) olarak isimlendirilmişlerdir.

Olivin içeren en önemli kayalar dünit, harzburjit ve lertzolittir. Teorik olarak dünit içerisindeki olivin miktarı % 95-99 arasındadır. Geri kalan %1-5 kısmı piroksen, serpantin, klorit ve spinelden oluşur. Bu miktar harzburjit ve lertzolitte %90'dan azdır (Uysal, 2007). Olivin genellikle yeşil ve koyu yeşil renkte olup oldukça sert bir mineraldir. Sertliği, forsterit içeriğinin artışı ile artmakla birlikte Mohs ölçeğine göre 6,5-7 arasındadır (www.mindat.org, www.webmineral.com). Yoğunluğu, içerdiği Fe miktarına göre 3,22 ile 4,40  $gr/cm^3$  arasında değişmektedir (Krivolutskaya ve Bryanchaninova, 2011; Vebel, 2009).

Olivinin önemli kısmı, fiziksel ve termal özelliklerinden dolayı refrakter tuğla üretiminde ve demir-çelik sektöründe kullanılmaktadır. Bu amaçla tüketilen olivinlerin genel olarak MgO miktarının %42'den fazla, toplam  $Fe_2O_3$  miktarının ise %7-8'den az olması istenmektedir. Ayrıca  $SiO_2$  miktarının %38-42 arasında, diğer oksitlerin toplamının %3'den az ve ateş kaybının da %1'den az olması istenir (Acar, 2003; Kleiv ve Thornhill, 2011; Örgün ve Erarslan, 2012). Fakat alterasyondan dolayı talklaşma ve serpantinleşme sonucu forsteritik olivin oranı bazı cevher yataklarında düşüktür. Alterasyon MgO içeriğinin azalmasına ve  $SiO_2$  oranı ile kristal suyundan dolayı kızdırma kaybının artmasına neden olmakta ve dolayısıyla cevherin refrakterlik özelliği düşmektedir (Kanarya, 2010). Ayrıca yüksek kızdırma kaybı, yüksek fırın ve sinter tesislerinde gerçekleşen endotermik tepkimelerde yüksek enerji tüketimine ve dolayısıyla maliyet artışına neden olmaktadır (Örgün ve Erarslan, 2012).

Aşındırıcı, elektrikli ısıtıcı, balast, kaya yünü, gübre, astar boya üretimi, agrega, cam sanayi gibi birçok saha olivinin ikincil tüketim alanlarıdır. Günümüzde farklı endüstri dallarındaki hızlı gelişme sonucu çevresel kaygıların artmasıyla olivinin birçok yeni uygulama alanı ortaya çıkmıştır. Atık sulardaki biyolojik bileşenlerin ve ağır metallerin giderimi, asit maden drenajının ve atık asitlerin nötralizasyonu ve karbondioksit depolanması, olivinin önemli çevresel uygulamalarıdır (Acar, 2003; Haug, 2010; Kleiv ve Thornhill, 2011). Yüksek çözünürlüğü olan olivin, sulu ortama  $Mg^{+2}$  iyonu vererek ortamdaki ağır metalleri bünyesine alır. Bu amaçla kullanılacak olivinin Cr içeriğinin %0,1'den az olması gerekir (Kleiv ve Thornhill, 2011; NME, 2004). Bu çalışma kapsamında Köyceğiz yöresi olivinlerinin

karakterizasyonu yapılmış ve boyut küçültme sonrası sınıflandırma ile farklı fraksiyonların kimyasal bileşimde farklılaşma ve Cr içeriğindeki değişim incelenmiştir.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

Olivin örneği Muğla/Köyceğiz yöresinden temin edilmiştir. Cevher örneğinin mineralojik ve yapısal karakterizasyonu mikroskobik inceleme, XRD, SEM-EDS ve XRF analizleri ile yapılmıştır.

Cevher örneği öncelikle çeneli kırıcı kullanılarak -1cm boyutuna indirilmiştir. Kırılmış ürün laboratuvar tipi (200x300mm) çubuklu değirmen ile -212µm boyutuna öğütülmüştür. Değirmen yükü %40 katı ve değirmen hızı, kritik hızın %60'ı olacak şekilde uygulanmıştır.

Boyut küçültme işleminin farklı fraksiyonlarda Cr zenginleşmesi üzerine etkisini araştırmak için örnek, belirli boyut aralıklarında sınıflandırılmıştır. İri boyutta (+38 µm) sınıflandırma, Retsch marka laboratuvar tipi elekler ile yapılmıştır. İnce boyutta (-38 µm) ise sedimentasyon yöntemi uygulanmıştır. Sedimentasyon havuzunda katı oranı %5 olacak şekilde ayarlanmıştır. Belirli boyuttaki tanelerin çökmesi için gerekli süre, aşağıdaki Stokes sedimentasyon formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Sedimentasyon, viskoz direnç bölgesinde gerçekleştirildiği için suyun viskozitesi ( $\eta = 0,001 \text{ kg/m.s}$ ) ortam viskozitesi olarak alınmıştır.

$$\text{Stokes Sedimentasyon Hızı} = V = \frac{g \cdot d^2 \cdot (\gamma_s - \gamma_f)}{18 \cdot \eta} \quad (1)$$

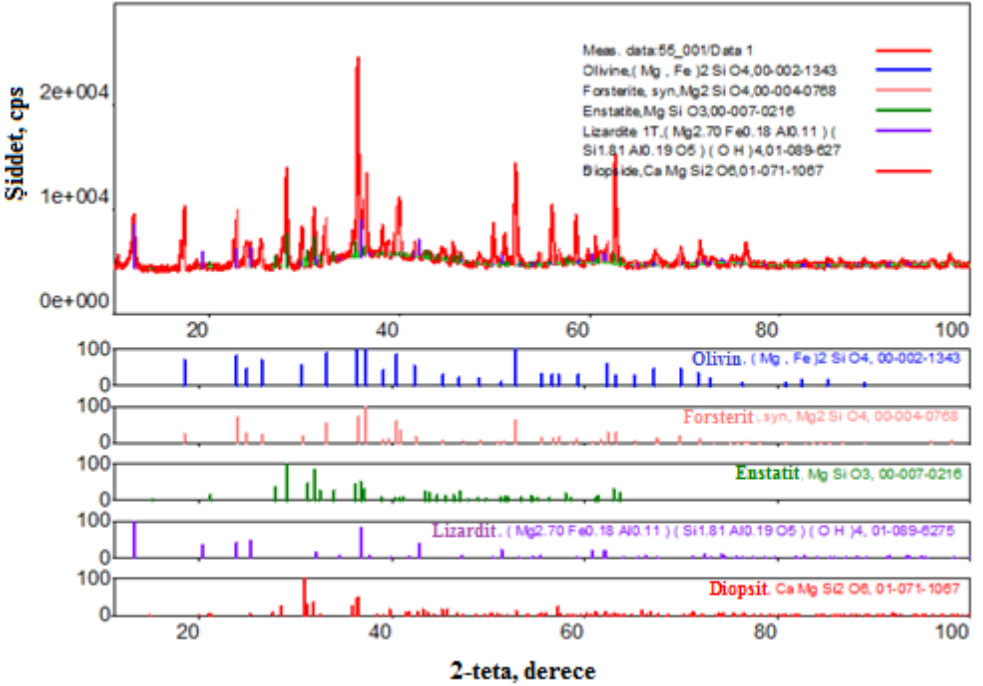
Örneklerin yapısal karakterizasyonu JEOL JFM 7600F (SEM) taramalı elektron mikroskobu, bu mikroskoba bağlı çalışan enerji dağılım spektrometresi (EDS), SmartLab Rikagu X-ışınları kırınım (XRD) sistemi ve WD X-ışınları floresans (XRF) sistemi ile yapılmıştır.

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Mikroskobik inceleme, örneğin ultramafik bir kayaç olduğunu ve mikroskobik olarak taneler doku gösterdiğini ortaya koymuştur. Mineralojik olarak başlıca olivin ve piroksen (ağırlıklı ortopiroksen, klinopiroksen) minerallerinin yanı sıra opak olarak düşük oranda kromit mineralleri içermektedir. Bahsedilen bu mineralojik bileşime göre cevher örneği, harzburjit-lerzolit bileşiminde bir kayaçtır.

Çekilen XRD paterninde (Şekil 1) tespit edilen mineraller, olivin ( $(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$ ) ve forsterit ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ) ilaveten ortopiroksen grubu minerallerden enstatit ( $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ ) ve az miktarda klinopiroksen grubundan augit (başlıca diopsit olmak üzere) mineralleridir ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ). Ayrıca olivinin alterasyonu sonucu serpantinleşme sürecinde ilk oluşan lizardit mineralinin ( $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) pikleri de Şekil 1de verilen XRD paterninde güçlü bir şekilde ayırt edilmiştir (Gürtekin ve Albayrak, 2006).

Mineralojik karakterizasyon sürecinde tespit edilen minerallerin bazı fiziksel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Olivin, kromit ve piroksen mineralleri Mohs ölçeğine göre ortalama 5-7 sertliğe sahipken alterasyon ürünü lizarditin sertliği 2,5'tir (Davis, 1977; www.mindat.org; www.webmineral.com). Benzer şekilde lizarditin yoğunluğu, bünyesinde kristal suyu içerdiğinden diğer minerallere oranla düşüktür. Mg içeriği en yüksek olan mineral forsterit, en düşük olan ise augittir. Tespit edilen mineraller arasında Cr kaynağı olan tek mineral kromittir. Olivin örneği kromit tenörünün düşük olduğu göz önünde bulundurulduğunda, silikat minerallerinin kristal kafesinde gerçekleşmiş olası izomorf yer değiştirmeler dışında, örneğin Fe içeriğini sadece olivin ve augit mineralleri etkileyebilir.



Şekil 1. Olivin örneği XRD paterni

Çizelge 1. Olivin örneğinde tespit edilen minerallerin bileşimi, setliği, yoğunluğu ve içeriğindeki bazı elementlerin teorik oranı (www.mindat.org, www.webmineral.com)

Mineral	Kimyasal Formül	Element içeriği, %					Mohs Sertliği	Yoğunluk g/cm <sup>3</sup>
		Mg	Si	Fe	Ca	Cr		
Olivin	(MgFe) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	25,37	18,32	14,57	-	-	6,5-7,0	3,27-3,37
Forsterit	Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	34,55	19,96	-	-	-	7,0	3,21-3,33
Enstatit	Mg <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	24,21	27,98	-	-	-	5,0-6,0	3,10-3,30
Augit	CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	9,26	22,58	4,73	15,26	-	5,5-6,0	3,20-3,60
Lizardit	Mg <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	26,31	20,27	-	-	-	2,5	2,55-2,60
Chromite	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	-	-	24,95	-	46,46	5,5	4,50-5,09

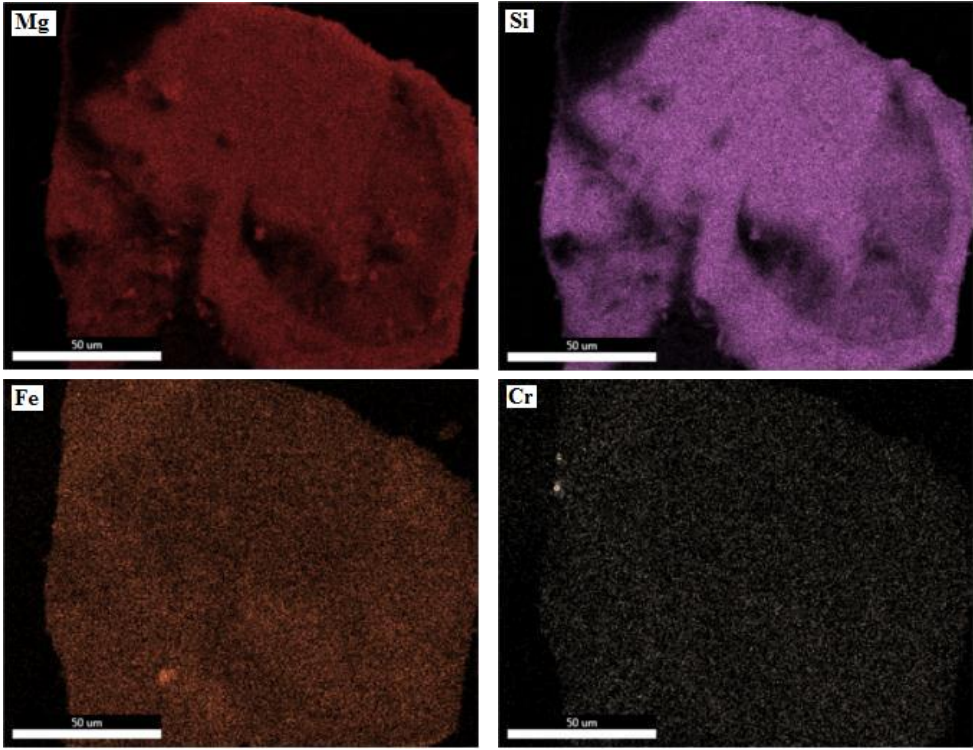
Örneğin element ve oksit analiz sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. MgO ve SiO<sub>2</sub> oranlarının yüksek çıkması, zengin bir cevher olduğunu ortaya koymuştur. Sonuçlar olivin örneğinin var olan hali ile birçok tüketim sahası için gerekli Mg ve Si spesifikasyonlarını fazlasıyla karşıladığını göstermektedir (Acar, 2003; Kleiv ve Thornhill, 2011). Fakat Cr içeriği, endüstriyel atık sulardan ağır metal giderimi için gerekli olan %0,1’den fazla çıkmıştır (Kleiv ve Thornhill, 2011; NME, 2004).

Çizelge 2. Olivin örneğinin element ve oksit analiz sonuçları

Element	Mg	Si	Fe	Ca	Cr
%	28,82	18,40	6,23	1,21	0,26
Oksit	MgO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
%	47,79	39,36	8,87	1,69	0,38

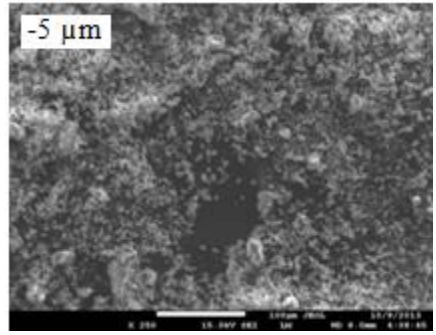
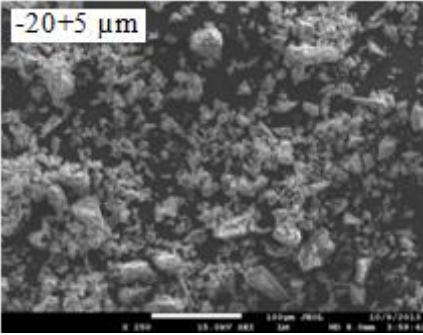
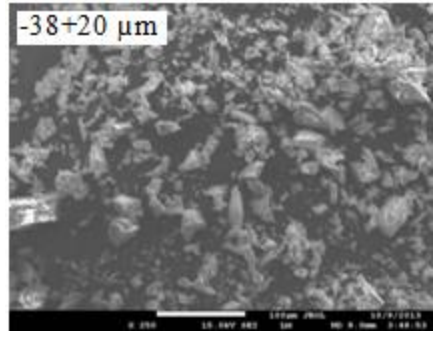
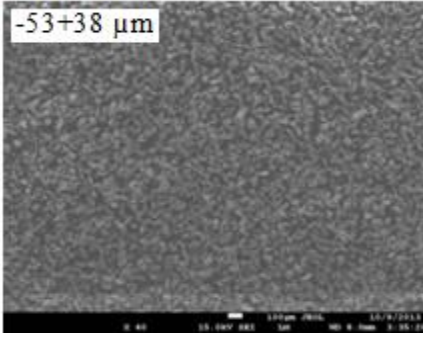
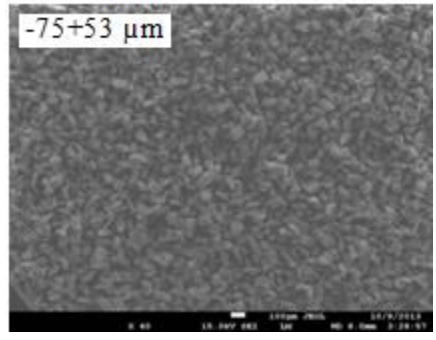
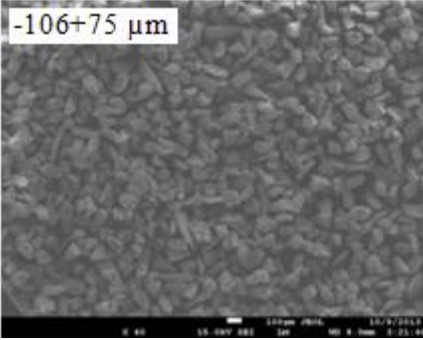
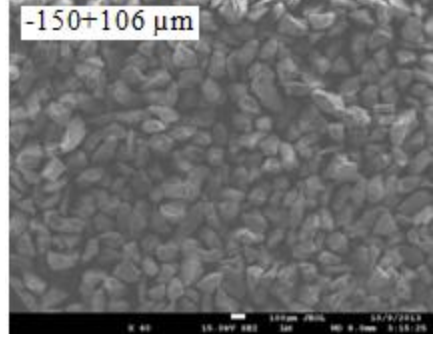
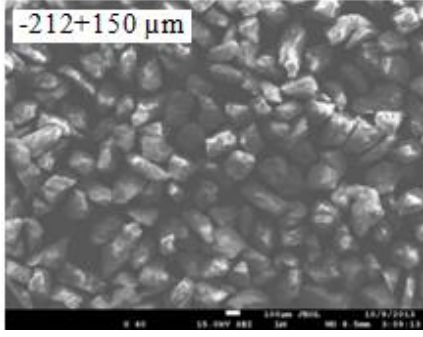
Olivin örneğinde Mg, Si, Fe ve Cr dağılımını tespit etmek amacıyla SEM-EDS (element haritası) analiz görüntüleri elde edilmiştir (Şekil 2). Her bir elementin dağılım haritası düzgün dağılım olduğunu göstermiştir. Fe ve Cr görüntülerinde sadece birer küçük lokal zenginleşmeler gözlenmiş, diğer bölgelerde ise homojen dağılım tespit edilmiştir.





Şekil 2. Olivin örneği SEM-EDS analiz görüntüsü

Çeneli kırıcı ve çubuklu değirmen ile tamamı  $-212 \mu\text{m}$  boyutuna indirilen olivin örneği,  $+38 \mu\text{m}$  boyutunda, laboratuvar tipi elekler kullanılarak ve  $-38 \mu\text{m}$  boyutunda ise sedimentasyon yöntemini uygulayarak sınıflandırılmıştır. Eleme işleminde  $150 \mu\text{m}$ ,  $106 \mu\text{m}$ ,  $75 \mu\text{m}$ ,  $53 \mu\text{m}$  ve  $38 \mu\text{m}$  elekler kullanılmıştır. Sedimentasyon havuzunda gerçekleştirilen ince boyutta sınıflandırma işleminden  $-38+20 \mu\text{m}$ ,  $-20+5 \mu\text{m}$  ve  $-5 \mu\text{m}$  boyut aralıklarında ürün elde edilmiştir. Sedimentasyon havuzunda işlem başlangıcında karıştırma ile homojen karışım oluşturulduğundan dolayı, deneysel tasarım nedeniyle bir kısım ince ürün  $-38+20 \mu\text{m}$  ve  $-20+5 \mu\text{m}$  fraksiyonlarında kazanılmıştır. Bu durum Şekil 3’de verilen SEM fotoğraflarında da görülmektedir. Bu görüntülerde gözlenen farklı fraksiyondaki tanelerin kırılış şekli, gevrek kırılmanın gerçekleştiğini göstermektedir. İri ürün içinde kazanılan bu ince kısmı ayırmak için sedimentasyon işleminin en az beş kez tekrarlanması gerekir. Fakat bu ince kısım, deneyde ulaşılmak istenen hedefi fazla etkilemediği için tekrarlı sedimentasyon işlemi uygulanmamıştır.



Şekil 3. Öğütülmüş ve sınıflandırılmış ürünün SEM görüntüleri

Öğütülmüş ürün sekiz ayrı boyut fraksiyonunda sınıflandırılarak analizi yapılmıştır (Çizelge 3). Kimyasal analiz sonuçları, öğütme işleminin SiO<sub>2</sub>, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Cr oranlarında önemli bir değişime neden olmadığını göstermiştir. Kimyasal bileşimde, çok yakın değerler elde edilmekle birlikte Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriğinde tane boyutunun düşmesi ile ihmal edilebilecek düzeyde artış gözlenmiştir. Kromitin sertliğinin diğer mineraller ile benzer değere sahip olması nedeni ile farklı fraksiyonlarda Cr tenöründe önemli değişim görülmemiştir.

Çizelge 3. Çubuklu değirmen ürünü olivin kimyasal bileşimi

Boyut, µm	Ağırlık, %	MgO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr
-212+150	10,36	47,67	41,01	7,47	0,23
-150+106	16,58	47,68	38,90	9,63	0,31
-106+75	18,37	47,45	39,93	8,50	0,25
-75+53	15,60	48,73	39,12	8,55	0,25
-53+38	18,82	48,06	39,20	8,79	0,31
-38+20	18,86	47,41	38,63	9,62	0,21
-20+5	1,18	45,45	40,16	9,14	0,21
-5	0,23	47,00	39,61	9,75	0,14

#### 4. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında Muğla/Köyceğiz yöresinden temin edilen olivin cevheri örneği mineralojik bileşimi XRD, XRF, SEM-EDS ve mikroskopik analiz yaparak belirlenmiştir. Analiz sonuçları örneğin harzburjit-lerzolit bileşimine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Cevher örneğinde tespit edilen mineraller olivin, forsterit, lizardit, kromit, enstatit ve augittir. Örnekteki krom içeren tek mineral kromittir. Olivinin alterasyon ürünü olan lizardit yumuşak, diğerleri ise sert minerallerdir. Bu nedenle boyut küçültme sonrası cevher örneği sınıflandırıldığında ince fraksiyonlarda lizardit zenginleşmesi dışında hiçbir fraksiyonda mineral zenginleşmesi olmamıştır. Boyut küçültme ile çevresel uygulamalara yönelik düşük kromlu ürün elde edilememiştir.

#### TEŞEKKÜR

Bu bildiri, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 2013/55 numaralı proje kapsamında yapılan çalışmalardan hazırlanmıştır.

## KAYNAKLAR

- Acar, B., 2003. *Olivinin Sanayiye Yönelik Kullanım Özelliklerinin Tespiti: Çayırbağı (Konya) ve Kızıldağ (Akseki) Olivinleri*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Davis, E.G., 1977. *Beneficiation of Olivine Foundry Sand by Differential Attrition Grinding*, US Patent No.4039625, 5 s.
- Gürtekin, G., Albayrak, M., 2006. Antigoritin ısı reaksiyonu: XRD, DTA-TG çalışması, *MTA Dergisi*, 133, s.37-46.
- Haug, T.A., 2010. *Dissolution and Carbonation of Mechanically Activated Olivine – Investigating CO<sub>2</sub> Sequestration Possibilities*, Doktora Tezi, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway.
- Kanarya, A., 2010. *Olivin Kalp Kumlarının Özelliklerinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kleiv, R.A., Thornhill, M., 2011. Dry magnetic separation of olivine sand. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 47, s.213-228.
- Krivolutskaya, N.A., Bryanchaninova, N.I., 2011. Olivines of igneous rocks. *Russian Journal of General Chemistry*, 81(6), s.1302-1314.
- NME, 2004. *The Norwegian Waste Directive (FOR 2004-06-01 nr 930)*, The Norwegian Ministry of the Environment.
- Örgün, Y., Erarslan, C., 2012. 21. Yüzyılda olivin ve Türkiye'nin olivin potansiyeli, *Madencilik Türkiye*, Haziran, s.62-74.
- Uysal, 2007. *Muğla (GB-Türkiye) Üst Manto Peridotitleri ve Ofiyolitik Kromititleri'nin Petrolojileri: Mineral Kimyası, Ana Oksit-İz Element-NTE-PGE Jeokimyası, PGE Mineralojisi Ve Re-Os İzotop Sistematiikleri*, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Vebe, M.A., 2009. Dissolution of olivine during natural weathering, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73, s.6098-6113.
- [www.mindat.org](http://www.mindat.org)
- [www.webmineral.com](http://www.webmineral.com)

# Piritli Atıkların ve Atık Küllerinin Mikrodalga Kavurma ile Değerlendirilmesi

## *Use of Microwave Roasting in Beneficiation from Pyrite Tailings and Ash*

Y.İ. Tosun

*Şırnak Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Şırnak*

**ÖZET** Ergani Elazığ ve Şırvan Siirt piritli bakır cevherleri konsantratörde işlenerek zenginleştirilmektedir. Flotasyon selüllerinden pirit konsantresi olarak süpürülerek alınmaktadır ve ayrıca atık ürün olarak da alınmaktadır. Genellikle Ergani Konsantratöründe 1,700 bin ton/yıl atık pirit konsantresi ürün olarak sülfürik asit üretimine gönderilmektedir. Ayrıca Siirt Şırvan'daki tesislerde yaklaşık 300 bin ton piritli atık değerlendirilmeden atık ürün olarak atılmaktadır. Bu atık ürünler içerikleri bakımından hem bakırca hem de diğer Au, Ag, Co gibi metal içerikleri açısından değerlendirilmeleri gerekmektedir. Bu çalışmada atık pirit numuneleri mikrodalga kavurmaya tabi tutularak sülfürik asit, hipo klorür, ve hidroklorik asitlerde çözülmüştür. Seyreltik asit çözeltileri ile optimum sürede liç edilmişlerdir. Elde edilen sonuçlar kobalt, bakır, altın ve gümüşün kavurma işleminde süreye bağlı olarak kazanımının geliştiği belirlenmiştir. Bakır ve Kobalt da % 55-73 verimlere ulaşılmıştır. Bunun nedeninin demir içeriği olduğu ve düşük kısmi kavurmanın avantajlı bir kazanım sağladığı belirlenmiştir.

**ABSTRACT** In Ergani Elazığ and Siirt Şırvan copper pyrite ore concentrators, pyrite is received as pyrite concentrate from concentrating copper by flotation swept and waste products. Ergani Concentrator produce the pyrite concentrate byproduct about 350 thousand tons for sulfuric acid production and about 1,700 thousand tons of pyrite waste sent to dispose, Siirt Şırvan copper pyrite is not also evaluated. These pyrite waste products both should be evaluated by the copper content and the other metals such as, Au, Ag, Co, must be evaluated in terms of high valuable metal contents. In this study, samples are subjected to microwave

pyrite waste roasting and subsequently leached in sulfuric acid, hypo chloride, and hydrochloric acid. The samples were leached with aqueous acid solutions at optimum time. The obtained results showed the improved recoveries for cobalt, gold, silver and copper, in the advancing time of microwave roasting. Copper and cobalt have been achieved in 55-73% yield. The reason for this is that the iron content of waste and low partial conventional roasting provide an advantageous gain.

## 1. GİRİŞ

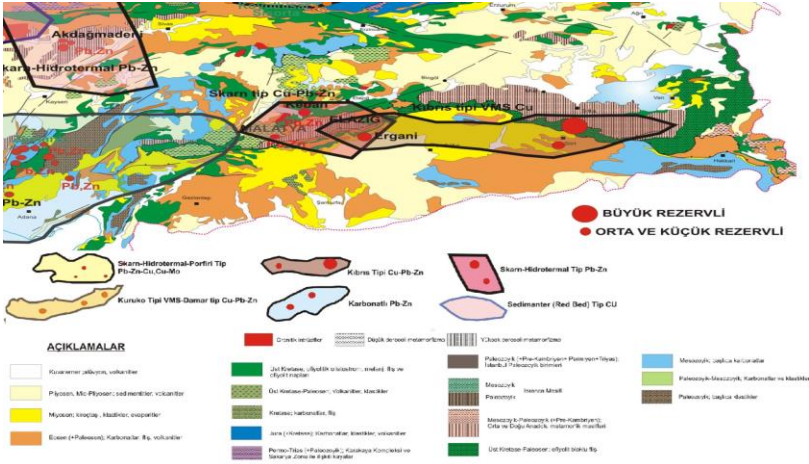
Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bakır cevherleri kompleks piritik hidrotermal cevher yatakları olup, kısmen zengin % 2-4 Cu içeren sülfürlü damarlardan teşkil olmaktadır. Ergani, Siirt Şirvan ve Hakkari bakırlı kurşun çinko sülfür yatakları geniş rezerv dağılımı göstermektedir. Ergani bakır konsantratöründe birkaç milyon tonluk cevher işlenerek en az yaklaşık 100 bin ton konsantre üretilmektedir. Yaklaşık her yıl 1 milyon tonluk pirit atığı ve 300 bin ton pirit konsantresi çıkmaktadır. Siirt Şirvan konsantratörün de 400 bin ton yılda ham cevher üretilirken yaklaşık 300 bin ton pirit atığı üretilmektedir. Bu nedenle yörede yaygın olarak atık pirit ürünü açığa çıkmaktadır. Bu atıkların toz boyutta oluşu genellikle, 75 mikronluk aşırı ince bir boyutun altında oluşu bunların kavurma ve çözeltme ile değerlendirilmesinde avantajlı olabilmektedir. Ülkemizde özellikle Siirt ve Hakkari yöresinde 15 m kalınlığında ve dağınık olarak geniş bir alana yayılmış bulunan bu piritli cevherlerin Cu ve Zn üretimi dışında da atıklarının değerlendirilmesi ekonomik yarar sağlar. Cevher içerisindeki silikatları da içermekte olan pirit atıklarının Fe üretiminde değerlendirilebilirliği bu çalışmada ayrıca kimyasal olarak irdelenmiştir.

Bu çalışmada; Mikrodalga kavurma niteliklerinin ve kavurma şartlarının belirlenmesi için ön testler yapılarak kimyasal nitelikleri, reaktiviteleri de incelenmiştir. Bu deneyler sonucunda pirit atıklarının çözeltme ile metal üretiminde avantajlı olduğu belirlenmiştir. Co, Cu, Au, Ag vs. gibi metalik değerlerin çözülebildiği ve elektroliz ile çözülden kazanımı ekonomiye fayda sağlayacaktır.

## 2. ERGANİ VE SİİRT PİRİTLİ BAKIR YATAKLARI

Alp orojenez kuşağında yer alan Türkiye’de etüd edilen 650 bakır zuhuru 4 ana metalojenik provens içerisinde görülür; (Şekil 1, MTA,1981)

1. Makedonya-Balkanlardan gelerek Istranca'dan sonra Karadenizden geçerek Sinop yakınlarından itibaren Doğu Karadeniz boyunca devam eden Kafkaslar ve İran üzerinden Himalayalara doğru uzanan kuşaktır. Bu kuşakta porfiri bakır yatakları ve Kuroko tipi masif sülfid yatakları yaygındır. Bu kuşak üzerinde Dereköy-Kırklareli, Bakırçay (Merzifon), Güzelyayla, Maçka, Ulutaş-İspir ve Balıca-Yusufeli-(Artvin) porfiri bakır yatakları bulunmaktadır. Bunların ortalama bakır tenörleri Balkanlardaki porfiri bakır yataklarına göre düşüktür. Ayrıca Espiye-Lahanos, Çayeli, Kutlular, Murgul ve Cerattepe volkanik masif sülfid yatakları bu kuşak üzerinde bulunmaktadır (MTA,1981).



Şekil 1. Türkiye GüneyDoğu Anadolu Bakır Yataklanma Türleri(MTA,1981)

2. Kıbrıs üzerinden gelerek İskenderun – Hakkari arasında devam eden ve daha sonra İran'a geçen Güneydoğu Anadolu Ofiyolit Kuşağı içerisinde ise Kıbrıs tipi bakır yatakları bulunmaktadır. Ergani bakır ve Sırt-Madenköy bakır yatakları bu kuşağın önemli bir kısmıdır (Kuyucak,1977).

3. Üçüncü metalojenik provens ise yine Kıbrıs tipi yatakların yer aldığı Batı Karadeniz Bölgesindeki Küre Bakır yatağıdır.

4. Asidik plütönizmaya bağlı hidrotermal damar ve kontakmetasomatik bakır-kurşun-çinko yataklarının bulunduğu Kuzeybatı Anadolu Bölgesi ise dördüncü metalojenik provensi oluşturur.

Dünya bakır tüketiminin büyük bir bölümünü karşılayan porfiri bakır yataklarını içerisinde barındıran kalkalen asidik magmatik kayalar ülkemizde yaygın olarak mostra vermektedir. Ancak Türkiye'de şu ana kadar belirlenen porfiri bakır yataklarının günümüz koşullarında işletilebilecek rezerv ve tenöre

sahip olmadıkları görülmektedir. Kırklareli – Dereköy porfiri bakır yatağı ülkemizdeki fizibilite çalışmaları tamamlanmış bu tipteki tek yataktır.

Aşıköy ve Bakibaba yataklarındaki cevher rezervi ile Cu, S, Co, Au, Ag tenörleri Çizelge 1 de metal içerikleri ve ekonomik değerleri verilmiştir. Ayrıca bu yataklardan Outokumpu Oy firmasının geliştirdiği akım şemasına göre, % 80 verimle % 15 Cu tenörlü kalkopirit konsantresi üretileceği öngörülmektedir, yataklardan elde edilecek pirit ve kalkopirit konsantreleri miktarları ve bunların ekonomik değerleri Çizelge 1 de verilmiştir (MTA, 1981). Yatakların içerdikleri metal değerlerine bakıldığında kobaltın bakıra oranla üç kat daha fazla ekonomik değer oluşturduğu görülmektedir. Ayrıca yataklarda bakıra eşdeğer altın bulunmaktadır.

Pirit atıklarının değerlendirilmesinde uygulanan genel işlem sülfürik asit üretimine göndermeden çözüme olmaktadır. Bakırlı pirit cevherleri konsantratörde önce fiziksel yöntemlerle cevherlerden pirit ve bakır mineralleri flotasyonla zenginleştirilmektedir. Daha sonra elde edilen bakır konsantrelerinden izabe işlemi ile blister bakır, pirit konsantrelerinden ise oksitleyici kavurma işlemi ile SO<sub>2</sub> sonra H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> üretilmektedir. Bu işlemler sırasında;

Bakır konsantrelerin de bulunan altın ve gümüş izabede blister bakırda kalmakta daha sonra rafinasyon işlemleri sırasında kazanılmaktadır. Ancak altın ve gümüşün kazanılma oranı cevherlerden elde edilecek bakır tenörü oranına bağlı olup bu oran Ergani cevheri için % 4 dolayındadır. Kobalt ise izabe sırasında konverter cüruflarına geçmekte ve değerlendirilememektedir.

Genellikle pirit konsantrelerinde kalan Co, Cu, Au ve Ag gibi metalik değerler ise kavurma işlemi sonrası pirit atık küllerinde kaldıklarından ancak küllerin değerlendirilmesi sırasında kazanabilmektedir.

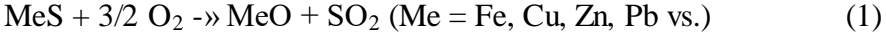
### **3. PİRİTLİ ATIKLARIN KAVRULMASI**

Sülfürlü cevherlerden söz konusu metallerin kazanılması amacıyla son yıllarda hidrometalürjik süreçler pirometalürjik süreçlere seçenek olarak geliştirilmişlerdir. Üretilen toplu konsantreler liç edilmektedir. Pirit ve gang minerallerine oranla cevherde bulunan diğer sülfür mineralleri yükseltgeyici etkenlerle sülfatlı ortamda Fe<sup>+3</sup> veya basınç altında O<sub>2</sub> ile (Canbazoğlu, 1979, Çolak ve Alken 1987), klorlu ortamda Fe<sup>+3</sup> veya Cu<sup>+2</sup> ile, nitrik (Çopur vd., 2001), asitli ortamda O<sub>2</sub> ile ve amonyaklı ortamda basınç altında O<sub>2</sub> ile çözündürülmektedir (Beşe vd., 2010).

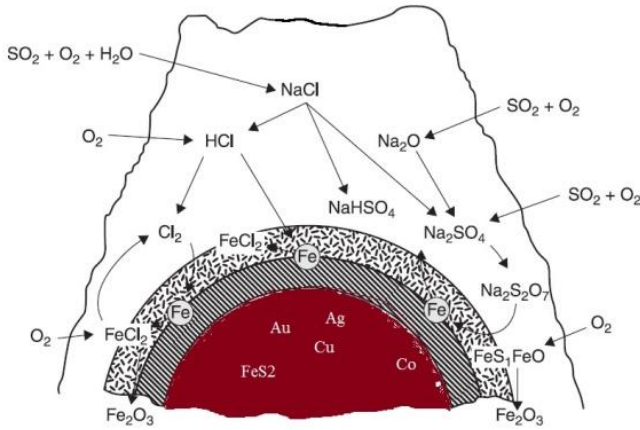


#### 4. PİRİT KÜLLERİNDEN Co, Cu, Au VE Ag KAZANILMASI

Ferrik klorür ile liç, kükürlü klorür ile liç, amonyaklı ortamda oksijen ile liç yöntemlerinin pirit küllerinde etki olduğu belirlenmiştir. (Okuba vd. 1968, Sokiç vd. 2009). Bu yöntemlerde pirit konsantreleri kavruktan sonra metal sülfürler aşağıdaki tepkimeye göre yükseltgenmektedirler: (Canbazoğlu, 1979, Çopur vd., 2001)



Okside dönüştürülen bu metallerin kazanılmasında uygulanan temel uygulama (Arbiter vd., 1979):



Şekil 2. Pirit Atıkların Kavurma sonrası Çözeltilme Reaksiyon Türleri

##### 4.1 Sülfürik Asit ile Liç

Küller düşük asit (% 1 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) içeren çözeltilerle liç edilmektedir. Suda çözünen bakır sülfat ile asitte çözünen bakır oksitler bu işlemde özündürülürken diğer bakır bileşikleri liç artığında kalmaktadır. Oluşan liç çözeltilerinin çözülmeyen kısımlardan ayrılması problem olmaktadır.

Bakır % 30-70 dolayında verimlerle kazanılırken diğer metaller arzulan verimlerle alınmamaktadır.

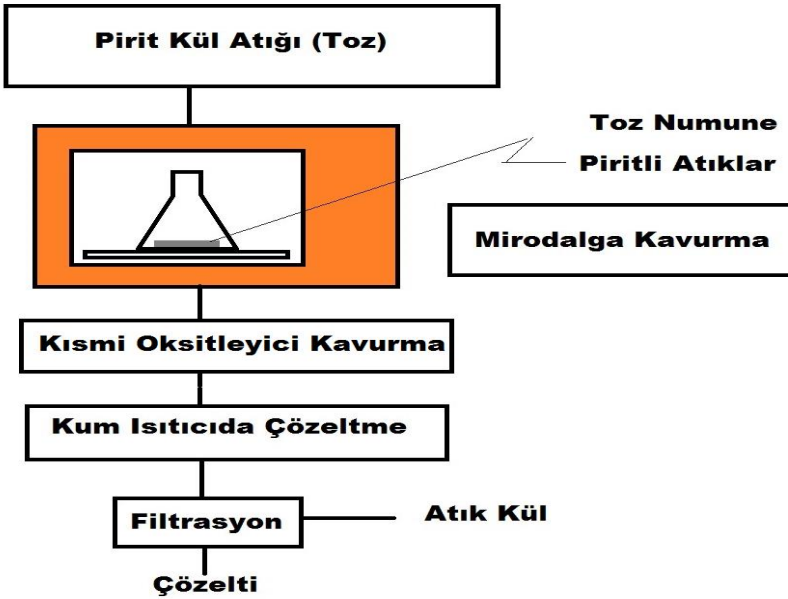
Liç çözeltilerinden bakır semantasyonla sement bakır olarak elde edilmektedir.

## 4.2 Sülfatlayıcı Kavurma ve Liç

Küller düşük asit (% 1 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) içeren çözeltilerle liç edilmektedir. Suda çözünen bakır sülfat ile asitte çözünen bakır oksitler bu işlemde çözündürülürken diğer bakır bileşikleri liç artığında kalmaktadır. Oluşan liç çözeltilerinin çözülmeyen kısımlardan ayrılması problem olmaktadır ve bakır % 30-70 dolayında verimlerle kazanılırken diğer metaller arzulan verimlerle alınamamaktadır. Liç çözeltilerinden bakır semantasyonla sementte bakır olarak elde edilmektedir.

## 5. METOD VE MALZEMELER

Bu yöredeki düşük tenörlü demir cevherleri ve pirit atıklarının ileri kavrulmasıyla metal üretimi gerçekleştirilmiştir. Ürünlerin X ray difraktometre analizleri mikroskobik incelemeler ile mineralojisinin tane boyutunun, fiziksel ve kimyasal parametrelerin çözeltilme niteliğine etkileri belirlenmiştir. Temsili Ergani ve Şirvan 100 gr lık pirit atıkları mikrodalga ile belirli süre kavruktan sonra 600-700°C 'de 1 saat kavrulmaktadır küllere önce belirli oranlarda derişik sülfürik asit karıştırılmakta ve kavruktan bu ürün %10 katı/sıvı oranında 3M seyreltik asitte liç edilmektedir. Deneylerde kullanılan yöntem akım şeması aşağıdaki Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Pirit Atıklarının Mikrodalga Kavurma ve sonrası Çözeltilme Akım Şeması.

Burada amaç demir oksitleri sülfatlamadan demir dışı metal oksitleri seyreltik asitte çözünen sülfatlara dönüştürmektedir.

Bu işlemin sakıncaları aşağıda verilmiştir:

Süzme güçlüklerini azaltmak için asit karıştırılan küllerin peletlenerek kavurma işleminin yapılması gerekmektedir.

Bakır, çinko ve kobalt yüksek verimlerle kazanılsa da, fazla arsenik içeren küllerden arseniğin zor çözünmesi nedeniyle liç artığının demir girdisi olarak yüksek fırına beslenebilmesi mümkün olamamaktadır.

Liç çözeltilerinden bakır semantasyonla kobalt ve çinko ise pH yükseltilerek elde edilir.

Deneylede Ergani Elazığ ve Şirvan Siirt konsantratör tesislerinin atık olarak tumba ettiği bu toz atıklar silis içeriğinden ötürü inşaat malzemesi olarak değerlendirilmesi öngörülmüştür ancak ortalama % 0,7- 1,2 Cu tenörlüdür ve toplam yaklaşık 270 bin ton Cu ve 30 bin ton Co içermektedir. Ayrıca 255 ton Ag ve 63 ton Au içerebileceği tahmin edilmektedir.

Cu içeren temsili atık numuneleri Ergani ve Şirvan konsantratöründen atık stoklarından alınan pirit numuneleri toz olarak alınmış ve oksitleyici koşullarda 750 °C'de 3 saat 100 gr numuneler olarak kavrulmuş ve elde edilen küller analize tabi tutulmuştur. Deneysel çalışmalara tabi tutulan atık pirit küllerinin analizi aşağıdaki Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1- Deneylede Kullanılan Örneklerin Kimyasal Bileşimi

Atık Numune	Kümülatif Stok	Miktar	Cu%	S%	Co%	Au,ppm	Ag,ppm
Ergani	2,200,000		0,7	37,4	0,33	3	16
Şirvan	1,300,000		1,2	33,2	0,22	2	22

Temsili atık numunelerinin boyutu (%90 -325 Mesh) üzerinde doğrudan hidrometalurjik süreçler ve küller(% 48 -325 Mesh) üzerinde ise oksitleyici kavurma süresinin etkisi incelenmiştir.

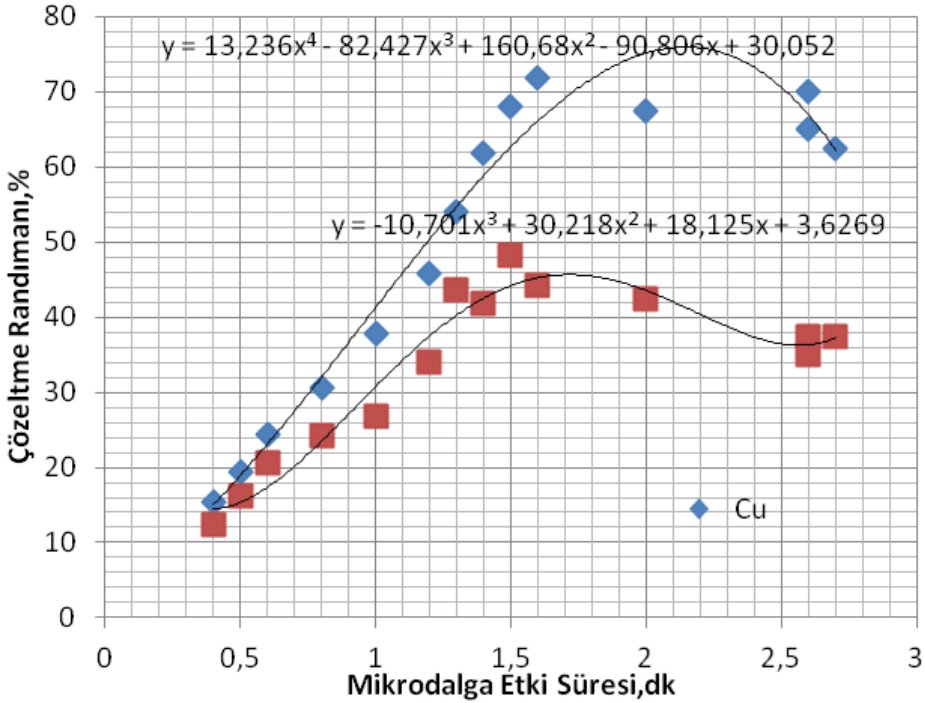
### 5.1 Mikrodalga Etkili Kavurma ve Liç

Ergani ve Şirvan piritli bakır konsantratör atıklarının 100gr lık temsili 75 mikronluk toz numuneleri oksitleyici liç öncesi oksitleyici şartlarda 1 ile 5 dk süreler arasında mikrodalga kavurmaya tabi tutulmuştur. Test sonuçları 3M HCl asit ile 30 dk kaynatma sonrası Cu ve Co kazanım verimleri olarak belirlenmiştir.

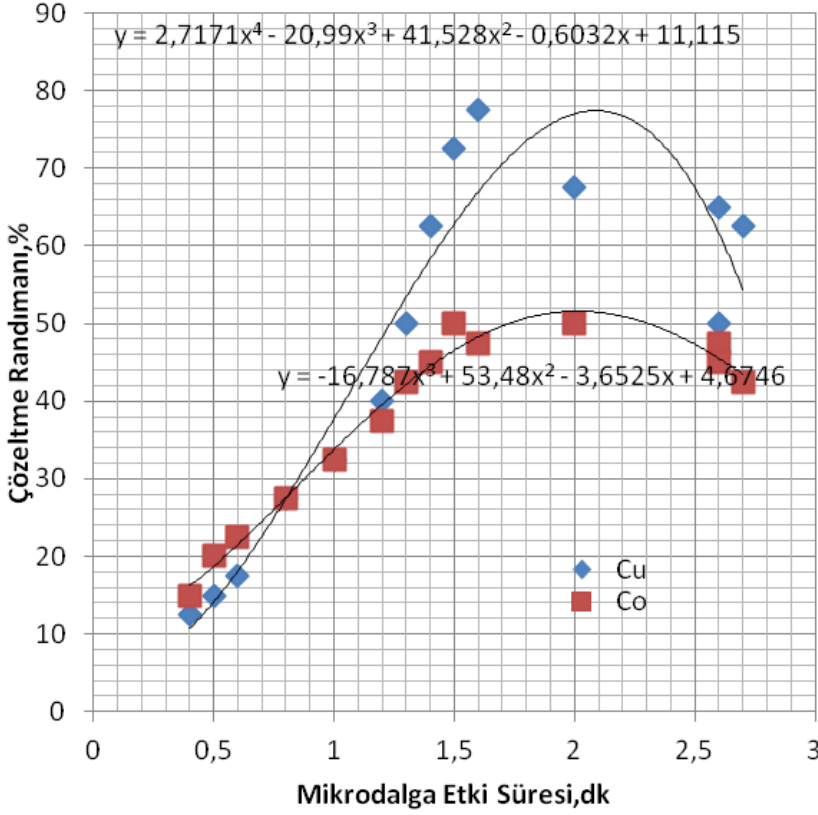
Test sonuçları Şirvan pirit atıkları için Şekil 4’de Ergani pirit atıkları için Şekil 5’de gösterilmiştir.

Şirvan Piritli Atıkların Doğrudan Mikrodalga Etkili 2,5 dk Kavurulmasından sonra Asit Liçi belirli sürelerde 100°C e liç edilmiştir. Test sonuçları Şekil 6’da gösterilmiştir.

Şirvan piritli bakır atıklarının oksitleyici liçi 100°C, 3 saat, 1/5 katı/sıvı oranında, 3M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisinde 100gr atık numune çözme olarak gerçekleştirilmektedir. Ürün çözelti süzülerek ICP analizine Cu, Co için incelenmiştir. Hidroklorik asit liçinde ise 100°C, 3 saat, 1/5 katı/sıvı oranında, 3M HCl çözeltisinde 100gr atık numune çözme olarak gerçekleştirilmektedir. Her iki farklı asit şartlarında numunelerin metal bileşenlerinin dağılımı olarak Cu, Co kazanılabilme olanakları araştırılmıştır.



Şekil 4. Şirvan Piritli Atıkların Doğrudan Mikrodalga Etkili Kavurulması ve Metal Kazanımına Etkisi (1/5 katı/sıvı oranında, 3M HCl çözeltisinde 100°C, 3 saat liç)



Şekil 5. Ergani Piritli Atıkların Doğrudan Mikrodalga Etkili Kavurulmasının Metal Kazanımına Etkisi (1/5 katı/sıvı oranında, 3M HCl çözeltisinde 100°C, 3 saat iç)

## 6.SONUÇLAR

Bu çalışmada; pirit atıkları ile beraber düşük tenörlü Fe cevherleride fiziksel, kimyasal, dokusal özellikleri incelenerek yapılan deney sonuçlarına yer verilerek pirit atığı ile arasındaki fark belirlenmiştir. Bu çalışmada Ergani ve Siirt yöresindeki bakır konsantratör atıklarının değerlendirilmesi temel olarak potansiyel nitelikleri açısından değerlendirilebilirliği belirlenmiştir. pirit küllerinden kavurma süreçleri ile bu metalik değerler kazanıldıktan sonra elde edilen demirce zengin ürünün demir hammaddesi olarak değerlendirilebileceği belirlenmiştir. Özellikle mikrodalga kavurma ile işlem çok ekonomik olmaktadır.

Önerilen bu yönteme göre cevherden elde edilecek toplu konsantre 700 °C de oksitleyici mikrodalga ile kavrulduktan sonra elde edilen küllerden oksitleyici

asidik çözeltilme ile Co, Cu, Au ve Ag yüksek oranda ekonomik olarak kazanılmaktadır. Ayrıca demir tenörü de daha yüksek olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Al-Abeda SR, Jegadeesan G, Purandare J, Allen D, 2008. Leaching behavior of mineral processing waste: comparison of batch and column investigations. *J Hazardous Materials*, 153:1088–1092.
- Antonievic, MM, Z. Jankovic M. Dimitrijevic, 1994. *Hydrometallurgy* 35 187
- Arbiter, N., Kuhn, M, C, Kling, H., 1974. Anaconda Arbiter Process for Copper, *CIM Bulletin*, vol. 67, no 742, February, s. 62-71
- Beşe, A., Borulu, N., Çopur, M., Çolak, S., Ata, O.N., 2010. Optimization of dissolution of metals from Waelz sintering waste (WSW) by hydrochloric acid solutions, *Chemical Engineering Journal*, vol. 162, No. 2, Dergi ISSN 0308-8146
- Canbazoğlu, M., Sülfürlü Cevherlerin Hidrometalurjik Yöntemlerle Değerlendirilmesi, 1979. *Madencilik*, s. 9-20.
- Çolak S., Alkan, M., Kocakerim, M.M., 1987. *Hydrometallurgy*, 18, p. 183.
- Çopur, M., 2010. Optimization of dissolution of Zn and Cd metals from Waelz sintering waste by in aqueous (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution, *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, vol (issue) 25(1), 17-29. Dergi ISSN: 1308-772X.
- Çopur, M., Yartaşı, A., Özmetin C., Kocakerim, M.M., 2001. Solubility of Stibnite Ore in HCl Solutions Saturated with Cl<sub>2</sub> Gas, *Chem. Biochem. Eng. Q.*, 15(1), 25-28, Dergi ISSN 0352-9568
- Gerlach, J.K , Gock, E, D., Ghosh, S.K., 1973. Activation and Leaching of Chalcopyrite Concentrates with Dilute Sulfuric Acid, *Int. Symposium on Hydrometallurgy, Chicago, AIME*, Ed. Evans, D, J, I., Shoemaker, R, S., New York, s. 403-416.
- Hover, E.P., Baker, R.D., Wong, M.M., 1975. Improvement in the Ferric Chloride Leaching of Chalcopyrite Concentrates, *US Bur. of Mines RI 8007*.
- Kunda, W., Hitesman, R., Veltman, H., 1976. Treatment of Sulphidic Copper Concentrate in Chloride Systems, *Extractive Metallurgy of Copper*, Las Vegas, AIME New York, s 738-813
- Kuşlu, S., Çavuş, F., 2008. The usage of microwave energy in analytical chemistry area and preparation of catalysis. *Pamukkale Üniv. Müh. Bilim. Derg.*; 14(3): 262-277
- Kuyucak, S., 1977. Türkiye'nin Pirit Külü Kaynaklarının Demir ve Demir Dışı Metaller Yönünden Değerlendirilmesi, *MTA Teknoloji Dairesi, Araştırma Raporu 1*, Ankara
- MTA, Siirt Madenköy Fizibilite Etüdü, Ankara, 1981
- Okubo, Y., Kowa S., 1968. Pelletizing Chlorination Process-Integral Utilization of Iron Pyrites, *Journal of Metals*, s. 63-67

- Scott, T.R., Dyson, N.F., 1976. The Benefication of Chalcopynte Concentrates by Leaching with HCl-CaCl<sub>2</sub> and HCl-MgCl<sub>2</sub> Solutions, CSIRO IR 827, *Trans. Inst. Min. Met.*, 85 c, s. 40
- Sokić, MD, Marković, B., Živković, D., 2009. *Hydrometallurgy*, 95, p. 273
- Tozawa, K., Umetsu, Y., Sato, K., 1976. On Chemistry of Ammonia Leaching of Copper Concentrate, *Extractive Metallurgy of Copper*, Las Vegas, AIME New York, vol. II, chap. 36, s. 706-721

# Gölbaşı (Isparta) Arsenik Mineralizasyonu Yakın Çevresindeki Sularda Arseniğin Araştırılması

## *Investigation of Arsenic in Gölbaşı (Isparta) Arsenic Mineralization Surrounding Waters*

S. Demer, Ü. Memiş, M. Aydemir

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi, Isparta*

**ÖZET** Gölbaşı (Isparta) arsenik cevherleşmesi, Eosen yaşlı filiş düzeylerinin içinde genç tektoniğe bağlı olarak gelişmiş ağsal kırıkların ve fay zonlarının boşluklarına damarlar şeklinde yerleşmiştir. Bölgede filiş karakteri gösteren Kayıköy formasyonu ve Kızıltepe filiş otokton birimler, Likya naplarına ait ofiyolitik kayaçları içeren Gökçebağ karmaşığı da allohton birim olarak yer almaktadır. Arsenik mineralizasyonunun bulunduğu bölgenin yakınlarındaki yüzey ve yeraltı sularına etkisini araştırmak amacıyla 7 adet yüzey suyu, 7 adet yeraltı suyu ve 1 adet kaynak suyu (mineralli su) olmak üzere toplam 15 lokasyondan örnek alımı yapılmıştır. ICP-OES cihazı hidrür ünitesi kullanılarak yapılan arsenik analiz sonuçları, Türk Standartları Enstitüsü (TSE, 2005), Sağlık Bakanlığı İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (İTASHY, 2005), Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2006) ve Çevre Koruma Ajansı (EPA, 2002) standartları değerleri ile karşılaştırılmış ve standart değerleri aşmadığı görülmüştür. Alüvyonda açılan kuyuların sığ derinlikte olması ve yüzeysel sulardan beslenmesi nedeniyle sularda arseniğin bulunmadığı düşünülmektedir. Sonuç olarak, Gölbaşı (Isparta) çevresinde mevcut durumda sulardaki arsenik miktarının çevre ve insan sağlığı bakımından olumsuz etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

**ABSTRACT** Gölbaşı (Isparta) arsenic mineralization takes place within the Eosen aged flysch units. The mineralization was emplaced into stockwork veinlets and fault zones related with neotectonic events. In the study area the autochthonous units are Kayıköy formation and Kızıltepe flysch and the allochthonous unit is the Gökçebağ complex. In order to assess the environmental effect of the arsenic



mineralization on surface and groundwater, seven surface waters, seven groundwaters and one mineralized water samples are taken. The arsenic analysis results obtained by made using ICP-OES hydride unit were compared to with the Turkish Standards Institute (TSE, 2005), Ministry of Health and Water Intended for Human Consumption Regulations (İTASHY, 2005), the World Health Organization (WHO, 2006), and the US Environmental Protection Agency (EPA, 2002) standard values and have been shown to not exceed the standard values. Due to the fact that the wells drilled in alluvial were shallow depth and fed from the surface water, the absence of arsenic in these waters was considered. As a result, in the present case the amount of arsenic in water samples in Gölbaşı (Isparta) location was determined that no adverse effects on the environment and human health.

## 1. GİRİŞ

Doğada hem doğal hem antropojenik kaynaklı olarak bulunabilen arsenik toksik ve kanserojen bir elementtir. Periyodik tablonun VA grubunda yer alan arsenik, yer kabuğunda geniş bir alana yayılmış ve yer kabuğundaki ortalama konsantrasyonu 2 ppm olan,  $5.78 \text{ g/cm}^3$  yoğunluğa sahip olan bir metaloiddir. Arsenik 200'den fazla mineral türünde bulunmaktadır. Dünyada birçok ülkede doğal olarak oluşan yeraltısuyu arsenik kirliliği nedeniyle 100 milyonun üzerinde kişi arsenik zehirlenmesi riski ile karşı karşıya kalmıştır. Arsenikli suların düzenli ve uzun süreli kullanımında cilt hastalıkları özellikle de pigmentasyon değişiklikleri (melanosis) ve keratosis görülmektedir. Nadir de olsa cilt kanseri oluşumu bildirilmiştir. Yapılan araştırmalar, kansere kadar ulaşabilen solunum yolu, karaciğer ve idrar yollarına ilişkin sağlık sorunları ile şeker hastalığı, kalp-damar ve sinir sistemi hastalıklarına da yol açtığını göstermiştir (Tchounwou vd., 2004; Tchounwou vd., 2003; Atabey, 2005). Arsenik (As) sulama suyunda yüksek olması durumunda bitki bünyesine geçer ve inorganik arsenik olarak depolanır, bitkinin kurumasına neden olur (EPA, 2002; Badruk, 2003). Sağlığa olumsuz etkileri nedeniyle içme sularında bulunabilecek arsenik miktarlarına her ülkede belirli sınırlamalar getirilmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2006) ve Çevre Koruma Ajansı (EPA, 2002) tarafından içme sularında bulunması gereken maksimum değer  $10 \text{ } \mu\text{g/l}$  olarak belirlenmiştir. Ülkemizde de içme ve kullanma sularında arsenik için izin verilen sınır değer  $10 \text{ } \mu\text{g/l}$  olarak uygulanmakta (TS 266, 2005; İTSHY, 2005) ve içme ve kullanma sularının standardı olarak aranmaktadır.

Çalışma alanı GB Anadolu'da Isparta Büklümü olarak bilinen coğrafik yapının KB'sında yer alır. Gölbaşı arsenik mineralizasyonu, Isparta-Burdur karayolunun üzerinde bulunan Gölbaşı Köyü'nün güneyinde yaklaşık 1 km<sup>2</sup>'lik bir alanda realgarlı-baritli kalsit damarları filiş karakterli birim içerisinde mostra verir (Şekil 1). Damarları iri kristalli kalsit, realgar, barit ve atmosferle temas eden yüzeylerde orpiment oluşumları gözlenmektedir (Kuşcu, 1995; Kumral, 2000). Dar alanlarda damarlar şeklinde gözlenen bu arsenik zuhurundan alınan el örneğinde  $2\theta=10-90^\circ$  arasında XRD çekimi yapılmış ve % 74 kalsit, % 26 realgar tespit edilmiştir (Şekil 2; Aydemir, 2014). Bölgede bulunan Pliyosen yaşlı traki-andezitik, latitik bir volkanizmaya ait volkanik kayaçlar ile arsenik mineralizasyonunun doğrudan ilişkisi sahada belirlenememekle birlikte, mineralizasyonun volkanik kayaçlara olan uzaklığı 1-2 km'dir. Gölcük volkanizması, Gölbaşı arsenik mineralizasyonunun bulunduğu bölgede Keçiborlu kükürt, Yelliyatak Tepe kükürt (bu kükürt cevherleşmesiyle arsenik mineralizasyonu arasında sadece 1 km kadar bir mesafe vardır), Yakaören kükürt gibi cevherleşmelerin de kaynağı olarak gösterilmektedir (Saniz, 1985; Özgüner ve diğ., 1989). Dolayısıyla, Gölcük volkanizmasının arsenik mineralizasyonunun gelişmesine neden olan hidrotermal eriyiklerin kaynağı olması olasılığı yüksektir. Elde edilen bulgulara göre de arsenik mineralizasyonunun bu genç volkanizmaya ya da bu volkanizmayı oluşturan mağmatik faaliyete bağlı, ortalama 50-120 °C arasında sıcaklığı olan hidrotermal eriyiklerden itibaren çökeldiği ifade edilmektedir. Gölbaşı arsenik mineralizasyonunun % 11,00 arsenik ve %16,50 BaO tenörlü 884 ton görünür, 3473 ton muhtemel ve 31203 ton jeolojik olmak üzere toplam 35560 ton rezerve sahip olduğu belirlenmiştir (Kuşcu, 1995). Önceki yapılan çalışmalarda arsenik oluşumunun sınırlı bir alanda gözlenmesi nedeniyle ekonomik potansiyeli olmadığı, ancak oluşumu ve volkaniklere ait ne tür cevherleşmeler olabileceğinin belirlenmesi açısından önem taşıdığı ifade edilmektedir (Kumral, 2000).

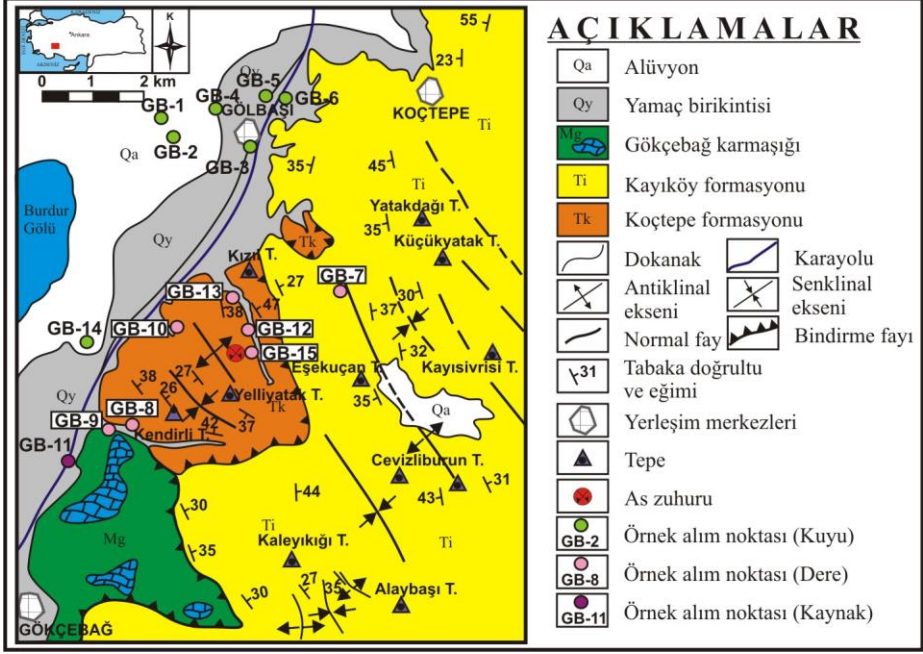
## 2. MATERYAL VE METOT

Çalışma alanında arsenik mineralizasyonunun bulunduğu bölgenin yakında mevsimsel yağışlarla akışa geçen Ergenli dere, Sarı dere, Sarı dere, Acıdere gibi dereler ile içme-sulama amaçlı kullanılan çeşitli derinliklerde kuyular bulunmaktadır. Arazi çalışmaları kapsamında 7 adet yüzey suyu, 7 adet yeraltısu ve 1 adet kaynak suyu (mineralli su) olmak üzere toplam 15 lokasyondan örnek alımı yapılmıştır. Arsenik analizleri Süleyman Demirel Üniversitesi Jeotermal Enerji, Yeraltısu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezinde Perkin Elmer Optima 2100 DV ICP-OES cihazında hidrür ünitesi kullanılarak



### 3. JEOLJİ

Bölgede yer alan otokton birimler Kayıköy formasyonu ve Kızıltepe filişinden oluşmaktadır (Şekil 3). Burdur çevresinde yer alan Likya naplarına ait allokton kayalar ise Gökçebağ karmaşığı olarak ayırt edilmiştir.



Şekil 3. Çalışma alanının jeoloji haritası (Gutnic vd., 1979 ile Görmüş ve Özkul, 1995'ten yararlanarak)

#### 3.1. Kayıköy Formasyonu (Ti)

Kayıköy formasyonu çalışma alanının doğu-kuzeydoğu kesiminde geniş bir yayılıma sahiptir. Birim kumtaşı, çamurtaşı araldanmasından ve yersel kumlu kireçtaşı arakatki ve mercceklerinden oluşur. Birim içerisinde özellikle Burdur fay zonu boyunca hidrotermal çıkışlara bağlı gelişen alterasyonlar ve sülfürlü mineral oluşukları (jips, realgar, orpiment, barit, kükürt vb. gibi) olağan şekilde bulunmaktadır (Kuşcu, 1995). Yelliyatak Tepe civarında ve Şifa maden suyu çevresinde aktif kükürt ve karbondioksit çıkışları olan kaynaklar yer almaktadır. Daha önceki araştırmacılar birimin değişik seviyelerinden derledikleri örneklerde Üst Paleosen-Orta Eosen zaman aralığına ait fosiller tespit etmişlerdir (Karaman, 1986; Görmüş ve Özkul, 1995; Ertunç vd, 2001).

### **3.2. Kızıltepe filizi (Tk)**

Kızıltepe filizi, sarı, kırmızı renkli kumtaşı, kıltaşı, marn, yer yer konglomera ardalımalı litolojiden oluşmakta olup oldukça bozuşmuş bir yapı sunmaktadır. Bu nedenle birim, Gutnic vd (1979) tarafından paraotokton olarak ayrılmıştır. Kızıltepe filizinin yaşı Gutnic vd. (1979) tarafından Eosen olarak belirlenmiştir.

### **3.3. Gökçebağ Karmaşığı (Mg) – (Allokton Birim)**

Burdur çevresinde okyanusal litosfere ait pelajik çökeller ve ultrabazik kayalar ile temsil edilen, tektonik etkilerle düzensiz ve bloklı içyapı özelliği gösteren kaya topluluğu Gökçebağ karmaşığı olarak adlandırılmıştır. Birimi oluşturan ofiyolitik bloklar egemen olarak kireçtaşı, diyabaz, serpantin, peridotit, gabro, radyolarit ve çört bileşenlerinden yapıldır. Ofiyolitler çoğunlukla türbiditlerden oluşan bir matris içinde düzensiz biçimde dağılmış olarak bulunur. Gökçebağ karmaşığını oluşturan kaya toplulukları çalışma alanı güneyinde Gökçebağ çevresinde gözlenmektedir. Koyu yeşil ve siyahımsı, çok sık çatlak ve kırıklar içeren serpantinleşmiş peridotitler (dunit, harzburjit, lerzolit, verlit vb. gibi) birimin egemen blok bileşenlerini oluşturmaktadırlar. Bunun yanı sıra birimin içerisinde yer yer gabro, diyabaz çakılları ile breşik yapılı spilitik bazalt, radyolarit ve çört blokları yaygın olarak gözlenen diğer kayalardır. Birim, Gökçebağ çevresinde yer alan en geniş yüzeylemesinde Kızıltepe filizi üzerine tektonik dokanakla gelir. Gökçebağ karmaşığının bölgeye yerleşim yaşı Lütésiyen ve sonrası olarak öngörülmektedir (Görmüş ve Özkul, 1995; Ertunç vd, 2001).

### **3.4. Alüvyon (Qa) ve Yamaç birikintisi (Qy)**

Güncel akarsuların ve yamaç döküntülerinin oluşturduğu tutturulmamış tortullardan oluşur. Birimlerden taşınan gereçler kaba taneli alüvyon ve birikinti konilerini oluşturmaktadır. Birim egemen olarak sarımsı, kötü boylanmalı, zayıf pekleşmiş çakıl, kum ve çamurtaşı düzeylerinden yapıldır (Görmüş ve Özkul, 1995; Ertunç vd, 2001).

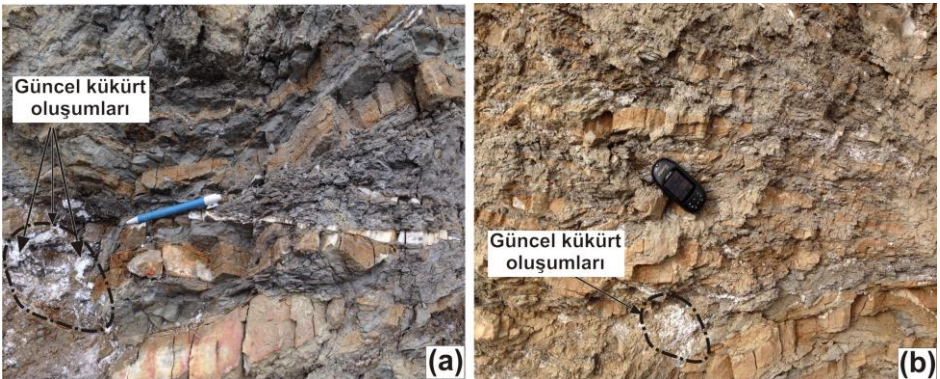
## **4. HİDROJEOKİMYA**

Doğal suların içme, sulama veya kullanma suyu olarak kullanılabilmesi için, suyun içinde bulunan maddelerin belirli limitler arasında olması istenir. Birçok ülkede içme, kullanma, sulama suları ile ilgili standartlar ve kabul edilebilir sınır değerler belirlenmiştir. Bu nedenle, su analizlerinin çeşitli alanlardaki kullanımına ilişkin standartlarla karşılaştırılması ve bu sınırlar aşıldığında ortaya çıkabilecek olumsuz

veya zararlı etkilerinin belirlenmesi gereklidir. Ülkemizde Türk Standartları Enstitüsü tarafından belirlenen içme suyu standartları kullanılmaktadır (TS 266). Bunun yanı sıra Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Amerika Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve Avrupa Birliği (EU) standartları da içme suyu sınıflamasında kullanılan diğer standartlardır.

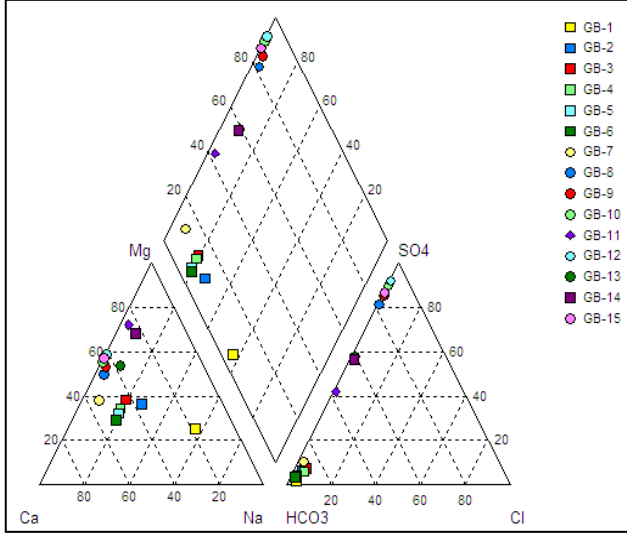
Çalışma alanındaki suların As içeriğini belirlemek için Gölbaşı As mineralizasyonu yakın çevresinde bulunan 7 adet sondaj kuyusundan, 7 adet yüzey suyundan ve 1 adet mineralli sudan olmak üzere toplam 15 adet su örneği alınmıştır. GB-1, GB-2, GB-3, GB-4, GB-5, GB-6, GB-14 nolu örnekler yeraltısuyu, GB-7, GB-8, GB-9, GB-10, GB-12, GB-13, GB-15 nolu örnekler yüzey suyu, GB-11 nolu örnek ise mineralli su örnekleridir. Sondaj kuyularından alınan örneklerinin in-situ ölçümlerinde pH değerleri 7,25-7,62 arasında olup, göle en yakın lokasyonda alınan örneğin pH'sı 8,40, dereден alınan örneklerin pH değerleri ise 7,79-8,19 arasında ölçülmüştür. Sondaj sularının elektriksel iletkenliği 632-742  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında olup (GB-14: 1902  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), dere sularının elektriksel iletkenlik değerleri GB-7 (496  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ve GB-13 (1105,00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) lokasyonları hariç 2770-3800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ölçülmüştür.

Alınan örneklerde Ca, Mg, Na, K, Si, Pb, Zn, Cu, Al, Mn, Fe, Sb, As,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ , Cl,  $\text{SO}_4$ , F analizleri yapılmıştır. Tüm örnekler ölçülen parametreler bakımından ulusal ve uluslararası [TS-266 (2005), İTASHY (2005), WHO (2006) ve EPA (2002)] standart değerler ile uyumludur. Sadece yüzey sularından alınan örneklerin  $\text{SO}_4$  değerleri ( $\text{SO}_4$ : 388,77 ile 2572,19 mg/l) TS-266 (2005), İTASHY (2005), WHO (2006) ve EPA (2002)'da belirtilen sınır değer (250 mg/l) üzerindedir. Bu yüksek değerlerin bölgedeki alterasyon zonlarında süngerimsi kütleler halinde gözlenen kükürt oluşumları ile ilgili olduğu düşünülmektedir (Aydemir, 2014; Demer ve Aydemir, 2014; Şekil 4).



Şekil 4. Çalışma alanı içinde Yelliyatak tepe civarında gözlenen güncel kükürt oluşumları

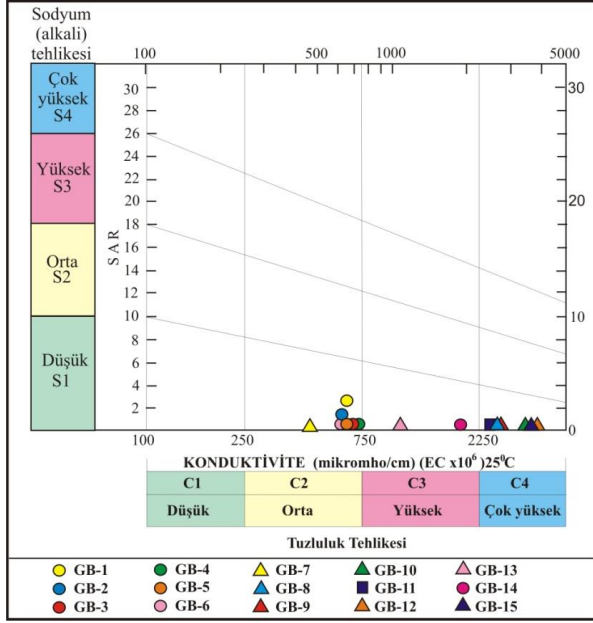
İyonların topluca tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramlardan biri Piper diyagramıdır. Piper diyagramına göre (Şekil 5) genel olarak sondaj sularının Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> tipli sular, yüzey sularının ise genel olarak Mg-Ca-SO<sub>4</sub> tipi sular fasiyesinde olduğu belirlenmiştir.



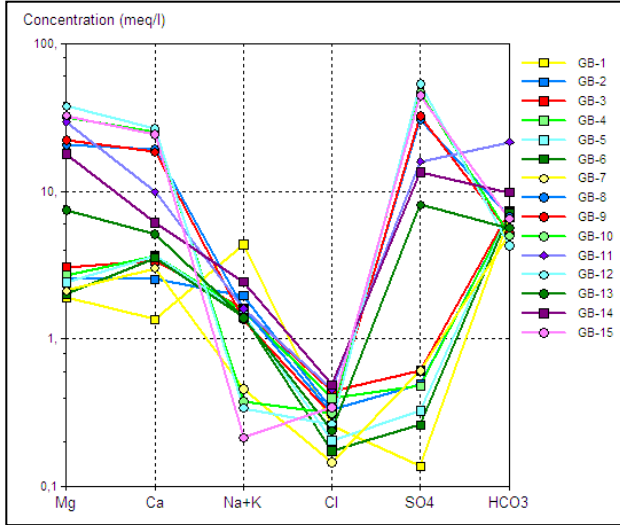
Şekil 5. Alınan sulara ait Piper diyagramı (■: sondaj kuyusu, ●: yüzey suyu, ◆: mineralli su)

Suların sulamaya uygunluğunun belirlenmesi amacıyla yapılan ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramında sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) ve özgül elektriksel iletkenlik (EC) değerleri kullanılmaktadır. Hazırlanan ABD tuzluluk diyagramına göre (Şekil 6) sondaj suyu örnekleri C2S1 sınıfına girmektedir. C2S1 sınıfı sular, orta tuzlu, tuzluluk tehlikesi içermeden ve sodyum tehlikesi oluşturmadan tüm bitkiler için kullanılabilen sulardır. Yüzey suyu örnekleri ise çok fazla tuzlu ve sodyumlu su olarak sınıflandırılan C4S1 sınıfına grubunda olup sulamaya uygun olmayan sulardır.

Yarı logaritmik Schoeller diyagramına (Şekil 7) göre yüzey suyu örneklerinin hakim iyon dağılımı katyonlar için  $Mg > Ca > Na + K$ , anyonlar için  $SO_4 > HCO_3 > Cl$  şeklindedir. Sondaj suyu örnekleri ise genel olarak benzer özellikler göstermekte olup hakim iyon dağılımı katyonlar için  $Ca > Mg > Na + K$ , anyonlar için  $HCO_3 > SO_4 > Cl$  şeklinde dizilim sunmaktadır.



Şekil 6. Alman sulara ait ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı (●: sondaj kuyusu, ▲: yüzey suyu, ■: mineralli su)



Şekil 7. Alman sulara ait Schoeller yarı logaritmik diyagramı (■: sondaj kuyusu, ●: yüzey suyu, ◆: mineralli su)

Çalışma alanında temeli filiş birimi oluşturmaktadır. Arsenik oluşumları da bu geçirimsiz filiş birimi içinde bulunmakta ve Burdur fay zonu kırık ve çatlakları içinde gözlenmektedir. Alüvyonda açılan kuyuların sığ derinlikte olması ve



yüzeysel sulardan beslenmesi nedeniyle sularda arseniğin bulunmadığı düşünülmektedir. Yüzeysel sularda da arsenik konsantrasyonu ölçülebilir sınır değerinin altında (<0,01 mg/l) belirlenmiştir (Çizelge 1). Özellikle GB-12 ve GB-15 nolu lokasyonlar cevherleşmeye en yakın yüzey suyu örnek alım noktalarıdır. Bu bölgede topoğrafya oldukça dik olup, yağış suları beklemeksizin akmakta ve dolayısı ile suların litolojik birimler ve cevherleşme arasında uzun süreli etkileşimi olmamaktadır. Çalışma alanı içerisinde arsenik oluşumlarının geniş alanlarda yüzeyleme vermemesi ve arsenik çözünürlüğüne katkıda bulunacak koşulların da (Eh-pH koşulları gibi) sağlanamaması nedeniyle sularda arsenik içeriğine rastlanmadığı düşünülmektedir. Belirtildiği gibi arsenik oluşumları geniş bir alanda yüzeyleme vermemekte ve daha derinlerde arsenik oluşumlarının varlığı hakkında mevcut bilgi de bulunmamaktadır (Demir ve Aydemir, 2014).

Çizelge 1. Çalışma alanından alınan suların As analiz sonuçları ve ulusal ve uluslararası standartlarda verilen değerleri

Sıra no	Örnek	As (mg/l)	TS 266, 2005 (mg/l)	WHO, 2006 (mg/l)	EPA, 2002 (mg/l)	İTASHY, 2005 (mg/l)
1	GB-1 (Yeraltısuyu)	<0,01				
2	GB-2 (Yeraltısuyu)	<0,01				
3	GB-3 (Yeraltısuyu)	<0,01				
4	GB-4 (Yeraltısuyu)	<0,01				
5	GB-5 (Yeraltısuyu)	<0,01				
6	GB-6 (Yeraltısuyu)	<0,01				
7	GB-14 (Yeraltısuyu)	<0,01				
8	GB-7 (Yüzey suyu)	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
9	GB-8 (Yüzey suyu)	<0,01				
10	GB-9 (Yüzey suyu)	<0,01				
11	GB-10 (Yüzey suyu)	<0,01				
12	GB-12 (Yüzey suyu)	<0,01				
13	GB-13 (Yüzey suyu)	<0,01				
14	GB-15 (Yüzey suyu)	<0,01				
15	GB-11 (Mineralli su)	<0,01				

## 5. SONUÇLAR

Çalışma alanında bulunan arsenik oluşumları geçirimsiz filiş birimi içinde bulunmakta ve Burdur fay zonu kırık ve çatlakları içinde gözlenmektedir. Bölgede bulunan Gölcük volkanizmasının, arsenik mineralizasyonunun gelişmesine neden olan hidrotermal eriyiklerin kaynağı olduğu ve arsenik mineralizasyonunun bu genç volkanizmayı oluşturan mağmatik faaliyete bağlı, ortalama 50-120 °C

arasında sıcaklığı olan hidrotermal eriyiklerden itibaren çökeldiği önceki araştırmacılar tarafından ifade edilmektedir. Geniş bir alanda yüzeyleme vermeyen arsenik oluşumlarının derindeki varlığı ile ilgili bilgi de bulunmamaktadır. Önceki araştırmacılar tarafından sınırlı bir alanda gözlenen arsenik oluşumlarının ekonomik potansiyelinin olmadığı, ancak oluşumu ve volkaniklere ait ne tür cevherleşmeler olabileceğinin belirlenmesi açısından önem taşıdığı ifade edilmektedir. Arsenik çalışma alanı ve yakın çevresinden alınan yüzey ve yeraltısularında ölçülebilir sınır değerinin altında ( $<0,01$  mg/l) belirlenmiştir. Sığ derinlikteki kuyuların yüzeysel suların beslenmesi ve arsenik çözünürlüğüne katkıda bulunacak koşulların (Eh-pH koşulları gibi) sağlanamaması nedeniyle sulara arseniğin bulunmadığı düşünülmektedir. Sonuç olarak, Gölbaşı (Isparta) arsenik mineralizasyonu ve yakın çevresinde bulunan sulara As miktarının ulusal ve uluslararası standart değerinin altında olduğu, dolayısıyla çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Ancak özellikle yüzey suyu örneklerinde bulunan yüksek  $SO_4$  değerleri ulusal ve uluslararası standart değerinin ( $250$  mg/l) üzerindedir. Bu yüksek  $SO_4$  değerlerinin bölgedeki alterasyon zonlarında süngerimsi kütleler halinde gözlenen kükürt oluşumları ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 2209/A - Üniversite Öğrencileri Yurt İçi Araştırma Projeleri Destek Programı tarafından desteklenmiştir. Yazarlar maddi desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederler. Ayrıca yazarlar, çalışmanın arazi çalışmalarındaki katkılarından dolayı Gökhan SAYIN ve Enes TUNCER'e teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

- Atabey, E., 2005. *Tıbbi Jeoloji*. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 88, Ankara, 194s.
- Aydemir, M., 2014. Gölbaşı (Isparta) ve yakın çevresindeki sulara arsenik kirliliğinin araştırılması. TÜBİTAK 2209/A Üniversite Öğrencileri Yurtiçi/Yurtdışı Araştırma Projeleri Destekleme Programı Sonuç Raporu, 25s.
- Badruk, M. 2003. Jeotermal enerji uygulamalarında çevre sorunları. *Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri: Temel ve Tasarımı Seminer kitabı*, MMO Yayın No : E/2003/328-4, 259-271.
- Calmbach, L. 1999. *AquaChem Computer Code-Version 3.7: Aqueous geochemical analyses, plotting and modelling*. Waterloo Hydrogeologic, Waterloo, Ontario, Canada, 184 p.

- Demir (Altınkale), S. ve Aydemir, M., 2014. Gölbaşı (Isparta) Arsenik Mineralizasyonu ve Yakın Çevresindeki Suların Hidrojeokimyasal Özellikleri. *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18-3, 42-51.
- EPA, 2002. U.S. EPA, *Standart methods for the examination of water and wastewater*, American Publish Health Assoc.
- Ertunç, A., Karagüzel, R., Yağmurlu, F., Türker, E., Keskin, N. 2001. Burdur Belediyesi Kent Merkezi ve yakın çevresinin depremselliği ve yerleşime uygunluk açısından incelenmesi. SDÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Araştırma Raporu, Isparta, s. 4,
- Görmüş, M. ve Özkul, M. 1995. Gönen-Atabey (Isparta) ve Ağlasun (Burdur) Arasındaki Bölgenin Stratigrafisi. *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1, Isparta, 43-64.
- Gutnic, M., Monod, O., Poisson, A. ve Dumont, J. F., 1979. Geologie des Taurides occidentales (Turquie). *Mem. Soc. Geol. France*, 137, Paris, 112 pp.
- İTSHY, 2005. Sağlık Bakanlığı: İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, 17.02.2005 tarih ve 25730 sayılı Resmi Gazete.
- Karaman, E., 1986, Burdur dolayının genel stratigrafisi: *Akdeniz Üniv. Isparta Müh. Fak. Dergisi*, 2, 23-36.
- Kumral, M., 2000. Isparta bölgesinin jeokimyasal özellikleri ve endüstriyel hammadde potansiyeli. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi (yayınlanmamış), 197s.
- Kuşcu, M., 1995, Gölbaşı (Isparta) Epitermal Arsenik Mineralizasyonunun Jeolojik Özellikleri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C 38, Sayı 2, 43 - 52.
- Özgüner, A. M., Fişekçi, A., Kılıç, L., Özgüner, E., Ölmez, M., Akıncı, A., Taş, N. 1989. Isparta-Keçiborlu kükürt yatakları maden jeolojisi raporu, MTA Genel Müd., Maden Etüd Dairesi Başkanlığı.
- Sarız, K. 1985. Keçiborlu kükürt yataklarının oluşumu ve yörenin jeolojisi, *Anadolu Üniv., Müh. Mim. Fak. Yayınları*, No: 22.
- Standard Methods, 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st edition, In: Eaton, A.D., Clesceri, L.S., Rice, E.W., Greenberg, A.E. (eds), American Public Health Association, Washington, D.C.
- Tchounwou, P.B., Patlolla, A.K. and Centeno, J.A., 2003. Carcinogenic and systemic health effects associated with arsenic exposure, a critical review. *Toxicology and Pathology*, 31, 575-588.
- Tchounwou, P.B., Centeno, J.A. and Patlolla, A.K., 2004. Arsenic toxicity, mutagenesis and carcinogenesis—a health risk assesment and management approach. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 255: 47-55.
- TS-266, 2005. Sular - İnsani tüketim amaçlı sular, TS-266, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- WHO, 2006. World Health Organisation (WHO), Guidelines for drinking water quality, First addendum to third edition, vol. 1, Recommendations, WHO Publ., Geneva, 494 p.

# Pomzanın Su ve Atıksu Arıtma Sektöründe Filtre Malzemesi Olarak Kullanımı

## *The Usage of Pumice as Filter Material in Water and Wastewater Industry*

E. Kılınç Aksay

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Torbalı-İzmir*

A. Akar, İ. Cöcen

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Buca-İzmir*

**ÖZET** Bu çalışmada, pomzanın arıtma sektöründe filtre malzemesi olarak kullanımı ve önemi araştırılmıştır. Artan kirliliğe bağlı olarak su ve atıksuların arıtımı için alternatif teknoloji arayışları hızla devam etmektedir. Pomza ise yapısal özellikleri nedeniyle kullanıldığı alanlarda üstün teknolojik özellikler yaratan, ucuz ve kolay temin edilebilen, yeni bir endüstriyel hammaddedir. Dolayısıyla arıtma sektörüne sağladığı teknolojik ve ekonomik avantajlar pomzayı alternatif bir filtre malzemesi haline dönüştürmektedir.

**ABSTRACT** In this study, the utilization of pumice and its importance, as filter material, in water and wastewater treatment industry were examined. The need of alternative technology in water and wastewater treatment, based on the increment of the pollution, has been growing day by day. The structural properties of the pumice give rise to perform high technological features; moreover the pumice takes place as a cheap and accessible industrial raw-material. Therefore, the technological and economic advantages of pumice in water and wastewater treatment industry make to use the pumice as an alternative filter material.

## 1. GİRİŞ

Pomza, amorf alüminyum silikat olarak tanımlanıp, volkanik faaliyetler sonucu oluşmuş, volkanik cam yapısında ve süngerimsi bir kayadır. Magmanın asidik veya bazik yapılı olması “asidik pomza ve bazik pomza (scoria)” olmak üzere iki

farklı tip pomzanın oluşmasına neden olmaktadır. Gündüz ve ark., 2005; 180 milyar m<sup>3</sup> civarında olan dünya pomza rezervinin yaklaşık %40'na (7.2 milyar m<sup>3</sup>) Türkiye'nin sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Pomzanın, gözenekli yapıya sahip olması dolayısıyla özgül yüzey alanının büyük olması, kimyasal olarak inert olması, toksik etkisinin olmaması, sulu ortamlarda deforme olmaması, birim hacim ağırlığının düşük olması, kolay ve düşük maliyetle temin edilebilmesi gibi özellikleri nedeniyle son yıllarda arıtma sektöründe filtre malzemesi olarak kullanımı ve önemi artmıştır.

Pomza, her geçen gün yeni bir kullanım alanı bulmakta ve yapısal özellikleri nedeniyle kullanıldığı alanlarda üstün teknolojik özellikler yaratan bir endüstriyel hammaddedir. Pomzanın teknolojik avantajları yanında, üretim maliyetinin düşük olması ve üretildikten sonra herhangi bir ek işlem gerektirmemesi de kullanıldığı sektörlerde önemli bir ekonomik avantaj sağlamaktadır.

Bu çalışmada, pomzanın su ve atıksuların arıtımında filtre malzemesi olarak kullanımı ve bu yöndeki gelişmeler bilimsel çalışmalar doğrultusunda araştırılmıştır.

## 2. POMZA VE ÖZELLİKLERİ

Pomza, oluşumu esnasında ani soğuma ve gazların bünyeyi ani olarak terk etmesi nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçeye kadar sayısız gözenek içermektedir. Bu nedenle pomza, amorf ve oldukça gözenekli yapıdadır (Sarız ve Nuhoğlu, 1992). Pomzadaki gözenekler, genellikle bağlantısız boşluktur. Pomzadaki her bir gözenek diğerinden cam yapıda bölmeyle ayrılmıştır. Gözenekli yapısından dolayı oldukça hafif, gözeneklerin bağlantısız olmasından dolayı da geçirgenliği (permeabilitesi) düşüktür. Pomzadaki gözenekler, 1 mm'den küçük boyutludur. Gözenekler, düzensiz ve küresel, oval, uzamış boru şeklindedir (Geitgey, 1994; Aksay-Kilinc, 2005; Aksay-Kilinc ve ark. 2009; Ersoy ve ark., 2009).

Pomzanın sertliği, Mohs ölçeğine göre 5-6 civarında, özgül ağırlığı 2.5'dir (Chang, 2002). Yapısında, kimyasal olarak %75'e varan silis içeriği bulunabilmektedir. Fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklıdır. %45-70 arasında değişen değerlerde poroziteye sahip olan pomzanın, sudaki çözünürlüğü çok düşük olup, pH'sı 7 civarında, toksik özellik göstermemektedir. Pomzada asitte çözünen madde miktarı en fazla %2.9 civarında olup, hidroflorik asit (HF) haricinde hiçbir asitle kimyasal tepkimeye girmemektedir. Hidroflorik asit ile tepkimesi sonucu toksik özellikli silikon tetraflorit gazı oluşmaktadır (Gündüz ve ark., 1998, Sezgin ve ark., 2005). Pomzanın katyon değişim kapasitesinin 5 me/100 gr olduğu ve çözünebilir katyon değişim kapasitesinin düşük olduğu

belirtilmektedir (Gür ve ark., 1997; Şahin ve ark., 1997; Anapalı ve Örs, 2005, Aksay-Kilinc, 2005; Aksay-Kilinc ve ark., 2009; Aksay-Kilinc ve ark., 2010 ). Asidik karakterli pomzanın elektrokinetik davranışının, ortam pH'sına bağlı olmaksızın yüzeyinin negatif yüklü olduğu tespit edilmiştir (İlhan ve Özdağ, 1997, Ersoy ve ark., 2009).

Pomza, amorf alüminyum silikat olarak tanımlanıp, tanımlanmasında kimyasal kompozisyonundan yararlanır. Asidik ve bazik özellikler taşıyan pomzaların tipik kimyasal bileşimlerine birer örnek Çizelge 1'de verilmiştir (Gündüz ve ark., 1998). Volkanik faaliyetler neticesinde oluşan iki tip pomzadan biri olan asidik pomza, beyaz ve kirlili beyaz renkli, yoğunluğu 0,5-1 gr/cm<sup>3</sup>'dür. Bazik pomza ise, kahverengi veya siyah renkli, yoğunluğu 1-2 gr/cm<sup>3</sup>'dür.

Çizelge 1. Pomza tiplerinin kimyasal kompozisyonuna örnek

Bileşim	Asidik Pomza	Bazik Pomza
% SiO <sub>2</sub>	72,5	45,0
% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,0	21,0
% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,5	7,0
% CaO	0,9	11,0
% MgO	0,6	7,0
% Na <sub>2</sub> O+% K <sub>2</sub> O	9,0	8,0
% Ateş Kaybı	3,0	1,0

### 3. POMZANIN SU VE ATIKSU ARITMA SEKTÖRÜNDE KULLANIMINA YÖNELİK ARAŞTIRMALAR

#### 3.1. Su Arıtmada Pomzanın Kullanımı

Artan nüfus ve sanayileşme, temiz su kaynaklarının hem tükenmesinde hem de kirlenmesindeki en önemli unsurlardır. Her geçen gün, güvenilir su kaynaklarına olan ihtiyaç artmaktadır. Dolayısıyla su kaynaklarının tüketilebilir hale getirilmesi için kullanılan arıtma süreçlerindeki alternatif teknoloji arayışları hızla devam etmektedir. İçme suyu arıtımında kum filtreler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu filtreler suda asılı bulunan kum ve özellikle organik maddelerin tutulmasında çok etkili olup, çok ince katı maddelerle (<10 µm) bakterilerin tutulmasında etkili değildir (James, 1988). Ancak filtre malzemesi olarak pomzanın kullanılması, kum-çakıl filtrelerle göre bazı üstünlükler sağlamaktadır. Bu üstünlükler şu şekilde sıralanabilir: a) pomzanın gözenekli yapısı nedeniyle yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olması ve dolayısıyla yüksek oranda bulanıklık giderme verimi

sağlaması, b) daha az enerji ile geri yıkama yapılabilmesi ve uzun yıllar üst üste kullanılabilmesi, c) yoğunluğunun az olması nedeniyle, sistemdeki basınç kaybının daha az olması (Ekmekyapar ve Örs, 2005). Çalışmanın bu bölümünde suların yumuşatılması, sulardaki fosfatın, floritin, arseniğin ve organik maddelerin uzaklaştırılması ile sulara renk veren demir ve manganın giderimi üzerine yapılan araştırmaların bulguları sunulmuştur.

Isparta-Gölcük pomzasının suların yumuşatılmasında adsorban olarak kullanımının araştırıldığı çalışmada (Sevindir, 2005), NaOH çözeltisi ile ön işlemden geçirilen ve  $-1.18+0.85$  mm tane boyutlu pomzanın kullanım miktarına bağlı olarak sudaki  $\text{CaCO}_3$ 'ün uzaklaştırılmasına olan etkisi araştırılmıştır. Sonuçlara göre, 60 gr pomza kullanımında  $3.816$  mg/gr  $\text{CaCO}_3$  uzaklaştırılırken, 90 gr pomza kullanımında  $4.266$  mg/gr  $\text{CaCO}_3$  uzaklaştırılmıştır. Sertlik giderme kapasitesinin, zamanın artmasıyla azaldığı saptanmıştır. Pomzanın üst üste rejenere edilip kullanılabilceği belirlenmiştir. Sepehr ve ark., 2013a; içme suyuna sertlik veren  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Mg}^{+2}$  iyonlarının doğal pomza ve alkali ile aktive edilmiş pomza kullanarak yumuşatılması üzerine çalışmışlar ve özellikle aktifleştirilmiş pomzanın içme sularından sertlik giderimi için uygun olduğunu bulmuşlardır. Doğal ve aktifleştirilmiş pomza için optimum pH'nın 6 olduğu ve sırasıyla  $\text{Ca}^{+2}$ 'un uzaklaştırma veriminin %79 ve %96;  $\text{Mg}^{+2}$ 'un ise %51 ve %93 olduğu saptanmıştır. Pomzanın  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Mg}^{+2}$  için adsorpsiyon kapasiteleri rakip katyonların varlığında azalmıştır. 300 dakikadan daha az sürede doğal ve aktifleştirilmiş pomzadan  $\text{Ca}^{+2}$  un desorpsiyonu sırasıyla %99 ve 92% ,  $\text{Mg}^{+2}$  için %100 ve 89% olmuştur.

Su arıtma teknolojisinde pomza kullanarak fosfat giderimi üzerine yapılan çalışmada (Onar ve ark., 1997), fosfat adsorplama yeteneğinin pomzanın kalsiyum içeriğine bağlı olduğu saptanmış, düşük pH değerlerinde fosfat giderim veriminin %98'in üzerinde olduğu bulunmuştur. Ayrıca pomzanın seyreltik NaOH ile rejenere edilerek tekrar kullanılabilceği belirtilmiştir. Pomzanın fosfat iyonunun ve fosfat içeren organik bileşiklerin gideriminde kullanılabilceği bulunmuştur.

Doğal ve aktifleştirilmiş (asit ve bazlarla) Isparta-Gelincik pomzasının kullanımı ile içme suyundan flor iyonunun giderilmesi üzerine yapılan araştırmada başarı sağlanamamıştır (Beyhan, 2003). Malakootian ve ark., 2011; sentetik olarak hazırlanan floritli sulardan floritin pomza ile uzaklaştırılmasını araştırmışlardır. Elde edilen optimum bulgular Kuhbonan (İran) şehri içme suyundaki floritin uzaklaştırılması için kullanılmıştır. Maksimum florit giderimi pH 7'de 180 dk. süre ile sağlanmıştır. Pomzanın florit giderimi için uygun ve düşük maliyetli bir adsorban olduğu sonucuna varılmıştır. Asgari ve ark., 2012; çalışmalarının birinci

bölümünde yüzey aktif madde (hekzadesiltrimetilamonyum) ile aktive edilmiş pomzanın içme suyundaki floritin uzaklaştırılması için adsorban olarak kullanımını araştırmışlardır. En iyi performansın pH 6'da sağlandığını ve %96'nın üzerinde floritin adsorplandığını bulmuşlardır. Çalışmanın ikinci kısmında yeraltı suyundaki floritin arıtımında, yüzey aktif madde ile aktive edilmiş pomzanın uygunluğu araştırılmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre ise yüzey aktif madde ile aktive edilmiş pomzanın içme suyundaki floritin atımında ucuz ve umut verici bir seçenek olduğu belirtilmiştir. İçme suyundaki fazlalık floritin alüminyum (hidr)oksit kaplı pomza ile uzaklaştırılabilirliğinin araştırıldığı çalışmada başarılı sonuçlar elde etmiştir (Salifu, 2013). Aktive edilmiş pomzanın florit için etkili bir adsorban olduğu bulunmuştur. İçme suyundan florit gideriminde yerli pomzaların kullanımı, maliyeti düşürmesi nedeniyle gelişmekte olan ülkeler için ekonomik olacağı vurgulanmıştır.

Isparta-Gölcük pomzası kullanarak içme sularına renk veren demir ve manganın filtrasyonunun araştırıldığı çalışmada (Sevindir ve Pakdil, 2005), pomzanın kullanımı ile  $Fe^{+2}$  %96 verimle uzaklaştırılmış, konsantrasyonun artırılmasıyla da %99'a yükselmiştir.  $Fe^{+3}$  ise %80-86 arasında değişen verimlerle uzaklaştırılmış, konsantrasyon artışıyla bariz bir değişiklik olmadığı belirlenmiştir.  $Mn^{+2}$ , %56 verimle uzaklaştırılmış, konsantrasyonun artmasıyla %63'e yükselmiştir.  $Mn^{+4}$  ise %63-86 arasında değişen verimlerle uzaklaştırılmış, yüksek konsantrasyonlarda daha iyi giderme verimleri elde edilmiştir.

Alüminyum kaplı pomza ve zeolit kullanarak su kaynaklarındaki arseniğin uzaklaştırılması üzerine yapılan araştırmada, alüminyum kaplı zeolitin daha etkin olduğu bulunmuştur (Nasseri ve Heidari, 2012). Far ve ark., 2012; demir ve mangan kaplı pomza kullanarak sulardaki arsenat ( $As(V)$ )'m uzaklaştırılmasını araştırmışlar ve sırasıyla %98 ve %87 verimle etkin bir şekilde uzaklaştırmışlardır.

Pomza yüzeylerini demirle kaplayarak sudaki organik maddelerin giderilmesi üzerine yapılan bir çalışmada (Kaplan ve Kitiş, 2005), pomzanın yeni bir adsorban olarak etkili olduğu vurgulanmıştır. Kitiş ve ark., 2007; demir kaplı pomzanın içme suyundan organik maddelerin uzaklaştırılmasında başarıyla kullanılan, yeni bir hammadde olduğunu belirtmişlerdir.

Damla sulama sisteminde kullanılan kum-çakıl filtrelerde, filtre malzemesi olarak pomzanın kullanımının araştırıldığı çalışmada (Şahin ve ark., 1998), sediment çıkışı azaltması veya filtre temizlenme süresini uzatması açısından geleneksel kum-çakıl filtreye göre daha kullanılabilir olduğu bulunmuştur. Böylelikle hem sistemde yük kayıplarının azaldığı hem de sık sık filtre temizleme zorunluluğunun ortadan kaldırıldığı belirtilmiştir. Ayrıca pomzanın yıkanarak



yeniden kullanılabilirliği vurgulanmıştır. Kuslu ve Sahin, 2013; pomza kullanılan filtrenin kum-çakıl filtresine göre daha yüksek çıkış akış hacmi ile daha düşük katı uzaklaştırma etkinliği sağladığını bulmuşlardır. Ayrıca pomza katkılı kum-çakıl filtresinin, kum-çakıl filtresine göre filtrasyon süresini arttırdığını tespit etmişlerdir.

### 3.2. Atıksu Arıtmada Pomzanın Kullanımı

Endüstriyel üretim sonucunda oluşan atıksular, çevre kirliliğinin en önemli kaynağıdır. Atıksulardaki çeşitli kirleticilerin çevre üzerindeki potansiyel etkileri farklı farklıdır. Bu nedenle, endüstriyel atıksuların arıtılmasında, atıksuyun niteliklerine bağlı olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler ile birlikte çeşitli ileri arıtma yöntemleri de kullanılmaktadır. Adsorpsiyon bu yöntemlerden bir tanesidir. Düşük maliyetli olması, çeşitli kirliliklerin (toksik özellikli olanların bile) yüksek verimlilikle uzaklaştırılabilmesi ve kolay kullanımı gibi avantajlara sahiptir (Nasseri ve Heidari, 2012). Atıksulardaki boya, metal iyonları ve organik maddeler gibi kirliliklerin adsorpsiyon yöntemiyle uzaklaştırılmasında aktif karbon, aktif silika, silika jel, ucucu kül, bentonit, zeolit, turba, linyit, perlit, silika gibi çeşitli maddeler adsorban olarak kullanılabilir (Malakootian ve ark., 2011; Derakhshan ve ark., 2013). Ancak ucuz ve kolay bulunabilir, yüksek arıtma potansiyeline sahip, toksik özelliği olmayan ve kolay rejenere edilebilen doğal adsorban arayışları devam etmektedir. Bu özelliklere sahip doğal bir endüstriyel hammadde olan pomzanın kullanılabilirliği ise pek çok araştırmacı tarafından hala araştırılmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde atıksulardan çeşitli ağır metaller, boya maddeleri, fosfor, florit ve fenolün giderimi ile çeşitli radyoaktif elementler ve siyanürün uzaklaştırılması üzerine yapılan araştırmaların bulguları sunulmuştur.

Kelm ve ark., 2003; porfiri bakır madeni ve diğer polimetallik maden atıksularından kil-pomza karışımı kullanarak pH 3-6 aralığında Cu, As, Mo ve Fe giderimini araştırmışlardır. Sonuçlara göre, >1100 ppm Cu <0.05 ppm'e, 0.7 ppm Mo <0.3 ppm'e, 400 ppm Fe <0,1 ppm'e ve 174 ppm As <5x10<sup>-4</sup> ppm'e düşürülmüş, 13600 mg/l yağ ve gres pomza ile <10 mg/l seviyesine indirilmiştir. Sulu çözümlerden Cd(II) ve Zn(II) ağır metal iyonlarının uzaklaştırılması üzerine yapılan araştırmada (Göde ve ark., 2005), Kayseri pomzası kullanılmış ve bu iyonların uzaklaştırılmasında pomzanın çok iyi bir adsorban olduğu saptanmıştır. Pomza ve poliakrilonitrit+pomza kompoziti kullanarak yapılan çalışmada (Yavuz ve ark., 2008), Cu<sup>+2</sup> ve Cr<sup>+3</sup>'ün atıksulardan adsorpsiyonu araştırılmıştır. Adsorpsiyon kapasiteleri pomzanın kullanımında Cu<sup>2+</sup> için 3.495 mg/g, Cr<sup>3+</sup> için 1.612 mg/g olmuş, kompozit kullanımında ise Cu<sup>2+</sup> için 3.368 mg/g, Cr<sup>3+</sup> için 13.935 mg/g olmuştur. Atıksulardan metallerin uzaklaştırılmasında pomzanın

düşük maliyetli bir adsorban olduğu bulunmuştur. Bilardi, 2013; su arıtmada filtre malzemesi olarak kullanılan granüler metalik demir ( $Fe^0$ ) ile demire farklı oranlarda pomza karıştırarak atık sulardaki (sentetik)  $Cu^{II}$ ,  $Ni^{II}$ , ve  $Zn^{II}$  gibi kirleticilerin giderimini araştırmıştır. %25  $Fe^0$ +%75 pomza karışımının en uygun karışım oranı olduğunu belirlemiştir. Sepehr ve ark., 2014; düşük maliyetli ve bol bulunan doğal pomza ile  $MgCl_2$  ile aktive edilmiş pomza kullanılarak,  $Cr(VI)$ 'nın uzaklaştırılmasını araştırmışlardır. Aktive edilmiş ve edilmemiş pomza üzerine  $Cr(VI)$ 'nın adsorpsiyonu için optimum pH'nın 1 olduğunu bulmuşlardır. Maksimum adsorpsiyon kapasitesinin doğal pomza için 87.72 mg/g, aktifleştirilmiş pomza için 105.26 mg/g olduğunu bulmuşlardır. Kullanılan adsorbanın rejenere edilebildiğini belirlemişlerdir. Toksik özellikli  $Cr(VI)$ 'nın aktive edilmiş ve edilmemiş pomza ile etkin bir şekilde uzaklaştırılabileceğini bulmuşlardır.

Yapılan bir araştırmada atıksulardaki fenolün biyokimyasal arıtımında pomzanın kullanılabileceği belirtilmiştir (Pazarlıoğlu-Kaşıkara ve Telefoncu, 1997).

Nevşehir ve Kayseri pomzaları kullanarak yapılan araştırmada (Akbal 2005), sudaki boya maddelerinin (metilen mavisi ve menekşe rengi) arıtılmasında pomzanın adsorban olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır. Samarghandi ve ark., 2012; asitle muamele edilmiş pomza kullanarak tekstil atıksularındaki toksik özellikli boyaların (acid red 14 and 18 azo dyes) uzaklaştırılmasını araştırmışlardır. Maksimum tutma kapasitelerinin sırasıyla AR14 ve AR18 için 3.1 ve 29.7 mg/g olduğunu bulmuşlardır. Bu değerlerin literatürde verilen değerlerden oldukça yüksek olduğunu ve aktif karbondan daha başarılı olduğunu belirtmişlerdir. Pomzanın desorpsiyonu ise AR14 ve AR18 için sırasıyla %86 ve %89 olmuştur. Derakhshan ve ark., 2013; tekstil atıksularındaki metilen mavi boyasını HCl ile aktive edilmiş pomza kullanarak hem etkin bir şekilde arıtılabileceğini belirlemişler, hem de ucuz bir adsorban olduğunu vurgulamışlardır. Sulardaki tehlikeli boyanın (acid orange 7) doğal ve Fe kaplı pomza kullanılarak uzaklaştırılmasının araştırıldığı çalışmada (Heibati ve ark., 2015), maksimum adsorpsiyon kapasitesinin doğal pomza için 15.56 mg/g, Fe kaplı pomza için 27.68 mg/g olduğu bulunmuştur.

Sepehr ve ark., 2013b; magnezyum klorit ( $MgCl_2$ ) ve hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) kullanarak yüzeyi aktive edilen pomzanın floriti uzaklaştırma kapasitesini araştırmışlardır. Doğal pomza ile karşılaştırıldığında, hidrojenperoksit ile aktive edilen pomza magnezyum klorit ile aktive edilen pomzaya göre daha büyük bir yüzey alanı sağlamıştır. Doğal pomzanın desorpsiyon potansiyeli %88'ken, hidrojenperoksit ile aktive edilen pomza ile %100, magnezyum klorit ile aktive

edilen pomza ile %98 olmuştur. Maksimum florit uzaklaştırma kapasitesi pH 6'da sırasıyla doğal pomzada %65.4, magnezyum klorit ile aktive edilen pomzada %68.4 ve hidrojenperoksit ile aktive edilen pomzada %70.8 olmuştur. Pomzanın ekonomik ve yerel yeraltı kaynaklarından üretilebileceğini vurgulamışlardır.

Yapılan bir çalışmada, farklı yörelere ait zeolit ile Kars yöresine ait pomzanın stronsiyum ( $Sr^{+2}$ ) iyonunu adsorplama miktarı X-ışını floresans metodu kullanılarak araştırılmıştır (Başarı ve Akyüz, 1997). Zeolit örneklerinin  $Sr^{+2}$  iyonlarını 1.03-2 meq/g aralığında soğurduğu belirlenirken, pomzanın da zeolit gibi  $Sr^{+2}$  iyonlarını soğurduğu bulunmuştur. Ancak, pomzanın maksimum adsorpsiyon kapasitesinin pH=10'da gerçekleştiği ve çözelti (stronsiyumun klorlu bileşiği) konsantrasyonu arttıkça, azalma gösteren adsorpsiyon özelliğine sahip olduğu saptanmıştır. Çiçek ve ark., 2008; sulardan radyoaktif olmayan kobalt iyonlarının adsorpsiyonunu Isparta pomzası ve Zeolit 4A kullanarak araştırmışlardır. Maksimum uzaklaştırma verimleri Isparta pomzası için %90, zeolit 4A için %99 olmuştur. Radyoaktif kobalt ( $^{60}Co$ ) için ise zeolit 4A'nın daha etkin olduğunu bulmuşlardır.

Mahenge, 2014; Moshi pomzasının yüksek fosfor tutma kapasitesine sahip olduğunu (2.5 g P/kg) bulmuştur. Atıksulardaki fosforun uzaklaştırılmasında yüksek potansiyele sahip olan Moshi pomzasının yapay sulak alanlarda da kullanılabileceğini belirtmiştir. Fosforun uzaklaştırılmasında doğal pomza ve  $Mg^{+2}$  ile aktive edilmiş pomzanın kullanıldığı bir çalışmada (Karimaian ve ark., 2013), pH 6'da sırasıyla %69 ve %97 fosfor uzaklaştırma verimi sağlanmıştır. Fosfor uzaklaştırma kapasiteleri ise sırasıyla 11.88 ve 17.71 mg/g olmuştur. Pomzanın adsorpsiyonu rakip iyonların varlığında artmıştır. Sırasıyla klorit ve kalsiyum, doğal ve aktifleştirilmiş pomza kullanarak fosforun uzaklaştırılmasında en yüksek etkiyi göstermiştir. Aktifleştirilmiş pomzanın daha etkin (%67) olduğu bulunmuştur. Aktifleştirilmiş pomzanın rejenerasyonu daha başarılı (%96) olmuştur.

Altının siyanürizasyonu sonucu üretilen siyanürlü atıksuyun biyolojik yöntemlerle gideriminde, aktif karbon, puzolan, pomza ve zeolit karışımlarının kullanıldığı çalışmada (Dictor ve ark., 1997), sadece aktif karbonun tiyosiyanat, toplam siyanid ve serbest siyanidi adsobladığı bulunmuştur. Karakaya ve Kitiş, 2005; doğal pomza ve yüzeyi bakırla kaplanmış pomza kullanarak oksidantlarla siyanürün giderimini araştırmışlardır. Orijinal veya bakır kaplı pomzaların negatif yüklü siyanür iyonları için pH 8 ve 11'de etkili adsorban olmadıklarını belirlemişler, ortama oksidant olarak peroksitin ilave edilmesiyle de siyanür

gideriminde olumlu bir etki sağlanamadığını saptamışlardır. Ancak bakır kaplı pomzanın suda heterojen bir katalizör görevi sağladığını bulmuşlardır.

#### 4. SONUÇ

Su ve atıksu arıtmada ucuz ve nitelikli hammadde arayışları hızla devam etmektedir. Oldukça gözenekli yapıya sahip pomza, hem düşük maliyetli olması, hem de diğer yapısal özelliklerinin uygunluğu nedeniyle arıtma sektöründe kullanım için alternatif bir endüstriyel hammaddedir. Türkiye'nin geniş pomza rezervlerine sahip olması, pomzayı kolay ulaşılabilir hale getirmektedir. Günümüze kadar yapılan araştırmalar, pomzanın su ve atıksu arıtmada etkin bir şekilde kullanılabileceğini, dolayısıyla geleneksel kum-çakıl filtreleme alternatif olabileceğini göstermiştir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, pomzanın farklı kimyasallarla aktifleştirilmesi ile su ve atıksulardaki çeşitli kirliliklerin yüksek verimle arıtılması sağlanmış, kullanılan pomzanın özelliğini kaybetmeden tekrar kullanım imkanını sağlamıştır. Bu yolla, içme suları yumuşatılabilmiş, içmesuyu ve sulama sularındaki florit, fosfat, çeşitli metaller ve organik maddeler uzaklaştırılabilmiş, atıksulardaki zararlı ve/veya toksik özellikli florit, fosfor ve ağır metaller ile fenol ve bazı radyoaktif elementler ve de boyalar arıtılabilmiştir. Dolayısıyla, pomzanın su ve atıksu arıtma sektöründe filtre malzemesi olarak kullanımı, düşük maliyetli ve uygun özelliklere sahip olması nedeniyle, özellikle geniş rezerve sahip ülkeler için oldukça umut verici olduğu belirlenmiştir.

#### KAYNAKLAR

- Akbal, F., 2005. Adsorption of Basic Dyes from Aqueous Solution onto Pumice Powder, *Journal of Colloid and Interface Science*, 455-458, p.286.
- Aksay Kilinc, E., 2005. *Izmir-Menderes Yöresi Pomza Cevherinin Kullanımına Yönelik Teknolojik Özelliklerinin Araştırılması*, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, s.278, İzmir.
- Aksay Kilinc, E., Akar, A., Cocen, I., Kaya, E., 2009. Technological Properties of Menderes-Izmir Pumice Ores, *The Journal of Ore Dressing*, Vol 11 (21), 1-13.
- Aksay Kilinc, E., Akar, A., 2010. The Filtration of Olive-Mill Wastewater with Pumice Ores, *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol. 19 (11a):2672-2677.
- Anapalı, Ö., Örs, S., 2005. Topraksız Bitki Yetiştiriciliğinde Pomza ve Zeolit Karışımı, (Ed.) L.Gündüz ve V. Deniz, 2. *Pomza Sempozyumu*, Isparta.
- Asgari, G., Roshani, B., Ghanizadeh, G., 2012. The investigation of kinetic and isotherm of fluoride adsorption onto functionalize pumice Stone, *Journal of Hazardous Materials*, 217– 218:123– 132.
- Başsarı, A., Akyüz, T. (1997). Zeolit ve Pomza Taşının Stronsiyum Soğurmasının İncelenmesi, (Ed.) İ.İşık, VIII. *Ulusal Kil Sempozyumu*, s25-129, Kütahya.

- Beyhan, M., 2003. *Atık Çamurlar ve Doğal Malzemeler ile Sulardan Florür İyonu Gideriminin Araştırılması*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, s141, İstanbul.
- Bilardi S., Calabrò, P.S., Caré S., Moraci N., Noubactep, C., 2013. Improving the sustainability of granular iron/pumice systems for water treatment, *Journal of Environmental Management*, 121, 133-141.
- Chang, L.L.Y., 2002. *Industrial Mineralogy, Minerals, Processes and Uses*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Çiçek, E. , Cojocar, C. , Zakrzewska-Trznadel, G., Jaworska, A. , Harasimowicz, M., 2008. Response surface methodology for cobalt removal from aqueous solutions using Isparta pumice and zeolite 4A adsorbents, *Nukleonika*, 53:121-128.
- Derakhshan Z., Baghapour M.A., Ranjbar M., Faramarzian M., 2013. Adsorption of methylene blue dye from aqueous solutions by modified pumice stone: kinetics and equilibrium studies, *Health Scope*, 2(3):136–44.
- Dictor, M.C., Bagtaglia-Brunet, F., Morin, D., Bories, A., Clarens, M., 1997. Biological treatment of gold ore cyanidation wastewater in fixed bed reactors, *Environmental Pollution*, Vol 97( 3):287-294.
- Ekmekyapar F., Örs, S., 2005. Filtrasyon İşleminde Pomzanın Üstünlükleri ve Kullanılabilirliği, 2. *Isparta Pomza Sempozyumu*, Isparta.
- Ersoy, B., Sariisik, A., Dikmen, S., Sariisik, G., 2009. Characterization of acidic pumice and determination of its electrokinetic properties in water, *Powder Technology*; 197(1-2):129-135;
- Far, L.B., Sour, B., Heidari, M., Khoshnavazi, R., 2012. Evaluation of iron and manganese-coated pumice application for the removal of As(V) from aqueous solutions, *Iranian Journal of Environmental Health Sciences & Engineering*, 9:21.
- Geitgey, R.P., 1994. *Industrial minerals and rocks*. 6. th Edition, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. Littleton, p803-813, Colorado.
- Gündüz, L. (ed.), Saruşik, A., Tozaçan, B., Davraz, M., Uğur, İ. ve Çankıran, O. (1998). *Pomza Teknolojisi (Pomza Karakterizasyonu)*, Cilt 1, s285, Isparta.
- Gündüz, L, Şapçı, N ve Davraz, M., 2005. Pomza Madenciligi, Endüstrisi ve Türkiye Açısından Önemi (Gelişen Yeni bir Sektör), (Ed.) A.H.Onur, M.Tanrıverdi, *Uluslararası 19. Madencilik Kongresi*, s397-407, İzmir.
- Gür K., Zengin M. Ve Uyanöz R., 1997. Pomzanın Tarım ve Çevre Açısından Önemi, 1. *Isparta Pomza Sempozyumu*, Isparta.
- Göde, F., Yavuz, M, Gök, A, Erdoğan, S. ve Özmert, S., 2005. *Pomza ile Sulu Çözeltilerden Cd(II) ve Zn(II) İyonlarının Adsorpsiyonu*, (Ed.) L.Gündüz ve V.Deniz, 2. Pomza Sempozyumu, s353-359, Isparta.
- Heibati, B., Rodriguez-Couto, S., Turan, N.G., Ozgonenel, O., Albadarin, A.B., Asif, M., Tyagi, I., Agarwal, S., Gupta, V. K., 2015. Removal of noxious dye-Acid Orange 7 from aqueous solution using natural pumice and Fe-coated pumice Stone, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 31:124–131.

- İlhan, S. ve Özdağ, H., 1997. Pomza Partiküllerinin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi, *Madencilik*, Cilt 36(2-3):25-33.
- James, L.G., 1988. *Principles of Farm Irrigation System Design*, John Wiley and Sons, New York.
- Kaplan, Ş.Ş. ve Kitiş, M., 2005. Sulardaki Doğal Organik Maddelerin Yüzeyleri Demirle Kaplanmış Pomzalarla Adsorbif Giderimi, (Ed.) L.Gündüz ve V.Deniz, 2. *Pomza Sempozyumu*, s371-381, Isparta.
- Karakaya, E. ve Kitiş, M., 2005. Bakır Kaplanmış Pomza ve Hidrojen Peroksitle Siyanürün Heterojen Fazda Katalitik Bozundurulması. (Ed.) L.Gündüz ve V.Deniz, 2. *Pomza Sempozyumu*, s361-369, Isparta.
- Karimaian, K.A., Amrane, A., Kazemian, H., Panahi, R., Zarrabi, M., 2013. Retention of phosphorous ions on natural and engineered wastepumice: Characterization, equilibrium, competing ions, regeneration, kinetic, equilibrium and thermodynamic study, *Applied Surface Science*, 284, 419– 431.
- Kelm U., Sanhueza, V. ve Guzman, C. 2003. Filtration and Retention of Mineral Processing Sullies with Pumice and Clay; Low Cost Materials for Environmenteal Applications in The Small-Scale Mining Industry. *Applied Clay Science*, 24, p35-42.
- Kitis, M., Kaplan, S.S., Karakaya, E., Yigit, N.O., Civelekoglu G., 2007. Adsorption of natural organic matter from waters by iron coated pumice. *Chemosphere*, 66(1):130–138.
- Kulsu, Y., Sahin, U., 2013. A comparison study on the removal of suspended solids from irrigation water with pumice and sand–gravel media filters in the laboratory scale, *Desalination and Water Treatment*, 51: 2047–2054.
- Mahenge, A.S., 2014. Suitability of Moshi Pumice for Phosphorus Sorption in Constructed Wetlands, *J. Appl. Sci. Environ. Manage*, Vol. 18(1):35-140.
- Malakootian, M., Moosazadeh, M., Yousefi, N., Fatehizadeh, A., 2011. Fluoride removal from aqueous solution by pumice: case study on Kuhbonan water, *African Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 5(4):299-306.
- Nasseri S. and Heidari, M., 2012. Evaluation and comparison of aluminum-coated pumice and zeolite in arsenic removal from water resources, *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 9:38.
- Onar, A.N., Balkaya, N., Öztürk, B., 1997. Pomza Taşının Su Arıtım Teknolojisinde Kullanımı, (Ed.) L.Gündüz, 1. *Isparta Pomza Sempozyumu*, s.31-38, Isparta.
- Pazarlıoğlu-Kaşıkarı N., Telefoncu, A., 1997. Pomzanın Fenol İçeren Endüstriyel Atık Suların Biyokimyasal Arıtımında Kullanılması, (Ed.) L.Gündüz, 1. *Pomza Sempozyumu*, s25-30, Isparta.
- Sariiz K., Nuhoglu İ., 1992. *Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madenciliği*, Anadolu Üniversitesi Yayını, Eskişehir.
- Salifu A., Petrusevski, B., Ghebremichael, K., Modestus, L., Buamah, R., Aubry, C., Amya, G.L., 2013. Aluminum (hydr)oxide coated pumice for fluoride

- removal from drinking water: Synthesis, equilibrium, kinetics and mechanism, *Chemical Engineering Journal*, 228: 63–74.
- Samarghandi, M.R., Zarrabi, M., Sepehr, M.N., Amrane, A. Safari, G. H. Bashiri, S., 2012. Application of acidic treated pumice as an adsorbent for the removal of azo dye from aqueous solutions: kinetic, equilibrium and thermodynamic studies, *Iranian Journal of Environmental Health Sciences & Engineering*, 9:9.
- Sepehr, M.N, Zarrabi, M., Kazemian, H., Amrane, A., Yaghmaian, K., Ghaffari, H.R., 2013a. Removal of hardness agents, calcium and magnesium, by natural and alkaline modified pumice stones in single and binary systems, *Applied Surface Science*, 274, 295– 305.
- Sepehr, M.N., Sivasankar, V., Zarrabi, M. , Kumar, M. S., 2013b. Surface modification of pumice enhancing its fluoride adsorption capacity: An insight into kinetic and thermodynamic studies, *Chemical Engineering Journal*, 228:192–204.
- Sepehr, M.N., Amrane, A., Karimaian, K.A., Zarrabi, M., Ghaffari, H. R., 2014. Potential of waste pumice and surface modified pumice for hexavalent chromium removal: Characterization, equilibrium, thermodynamic and kinetic study, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45:635–647.
- Sevindir, H.C., 2005. Pomza Taşı Kullanılarak Suyun Yumuşatılması, L.Gündüz ve V.Deniz (Ed.), 2. *Pomza Sempozyumu*, 327-333, Isparta.
- Sevindir, H. C., Pakdil, N.B., 2005. Pomza Taşı Kullanarak İçme Sularından Demir ve Mangan Giderilmesi, L.Gündüz ve V.Deniz (Ed.), 2. *Pomza Sempozyumu*, 321-325, Isparta.
- Sezgin, M., Davraz, M., Gündüz, L. 2005. Pomza Endüstrisine Sektörel Bakış, (Ed.) L.Gündüz ve V.Deniz, 2. *Pomza Sempozyumu*, Isparta.
- Şahin, Ü., Hanay, A., Anapalı, Ö., 1997. Seralarda Topraksız Kültürde Pomzanın Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma, 1. *Isparta Pomza Sempozyumu*, Isparta.
- Şahin Ü., Anapalı, Ö., Hanay, A., 1998. Kum-Çakıl Filtrelerde Pomzanın Kullanılabilirliği, *Atatürk Üniv. Zir.Fak.Der.*, 29 (2):209-218.
- Yavuz M, Gode F, Pehlivan E, Ozmert S, Sharma YC., 2008. An economic removal of  $\text{Cu}^{+2}$  and  $\text{Cr}^{+3}$  on the new adsorbents: Pumice and polyacrylonitrile/pumice composite, *Chem. Eng. J.*, 137:453–461.

# Feldspat Flotasyonunda Kullanılan Katyonik ve Anyonik Tür Toplayıcıların Miktar ve Ortam pH'sına Bağlı Bulanıklık Değişimlerinin İncelenmesi

## *An Investigation of Turbidity in Use of Cationic and Anionic Type Collectors in Feldspar Flotation With Respect to the Collector Amount and Solution pH*

S. Özün, U. Özdemir\*

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta*

*\*SDÜ Maden Mühendisliği Bölümü Lisans Öğrencisi*

**ÖZET** Bu çalışmada feldspat cevherlerinin flotasyonla zenginleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan amin ve sülfonat türü toplayıcıların, toplayıcı miktarı ve ortam pH'ına dayalı sulu çözeltilerinde oluşturdukları bulanıklık değişimleri incelenmiştir. Sonuçlara göre amin türü toplayıcı varlığında (25-400 mg/l) düşük pH değerlerinde (pH 1-4) 15 NTU'dan daha küçük bulanıklık değerleri elde edilirken, artan pH değeri ve azalan monomer derişimi ile birlikte bulanıklık değerinin arttığı ve yüksek pH değerlerinde en yüksek seviyesine ulaştığı görülmüştür. Tüm pH değerlerinde iyonik yapısını koruyan sülfonat varlığında ise, her bir toplayıcı derişimi için tüm pH değerlerinde benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür.

**ABSTRACT** In this study, the effects of the most commonly used flotation collectors, amine and petroleum sulfonate, in feldspar processing on turbidity were investigated as a function of collector concentration and pH. According to the results, amine (25-400 mg/l) had minimum effect on turbidity resulting less than 15 NTU turbidity values at highly acidic pH conditions (pH 1-4). However, its effect on turbidity increased with both increasing pH and decreasing concentration of amine monomers. In the case of petroleum sulfonate having ionized form over the entire pH range, the similar turbidity values were obtained for each collector concentration at all pH values tested.



## 1. GİRİŞ

Temel seramik ve cam hammaddesi olan feldspatlar ülkemizde de yaygın olarak bulunmakla birlikte, gerek kaliteli feldspat yataklarının yetersizliği gerekse gelişen teknoloji ile birlikte endüstrinin taleplerinin karşılanabilmesi için yüksek kalitede feldspatlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple mevcut feldspat cevherlerinin demir-titan içeren mineraller (ilmenit, manyetit, rutil, sfen, biyotit vb.) gibi safsızlıklarından arındırılmaları gerekmektedir. Ülkemizde ve dünyada en yaygın feldspat zenginleştirme yöntemi flotasyon olup, feldspat cevherlerinin % 70'i bu yöntemle zenginleştirilmektedir. Feldspat cevherlerinde, safsızlık olarak nitelendirilen istenmeyen mineraller asidik pH değerlerinde 2 aşamalı ters flotasyon yöntemi ile uzaklaştırılmaktadır. Zenginleştirme işlemlerinde öncelikli olarak mika grubu mineraller (muskovit, biyotit vb.) yüksek-orta asidik pH değerlerinde (pH 2.5-3.5) amin türü katyonik toplayıcılar (collector) kullanılarak uzaklaştırılırken, hematit, manyetit, rutil, sfen, ilmenit vb. gibi Fe-Ti oksitli mineraller ise yine asidik pH değerlerinde (pH 3.5-5.0) sülfat/sülfonat türü anyonik toplayıcıların kullanımı ile köpük bölgesine taşınarak feldspattan ayrılırlar (Bayraktar vd., 1997; Celik vd., 1998; Seyrankaya, 2003; Ozun vd., 2009).

Flotasyonla cevher zenginleştirilmesi işlemlerinde kullanılan toplayıcıların etki mekanizmaları ortam pH değerine bağlı olarak değişebilmektedir. Ayrıca toplayıcılar yine ortam pH değerine ve çözeltideki derişimlerine göre aynı anda farklı miktarlarda ve birçok yapıda (nötral yapı, molekül yapı, iyon-molekül yapı ve dimer yapı vb.) bulunabilmektedirler. Örnek olarak; toplayıcı cinsine bağlı olarak değişen pozitif (+) ya da negatif (-) yüklü molekül (monomer) yapılar yükleriyle zıt işaretli mineral yüzeyine elektrostatik (Coulombik kuvvetler) olarak bağlanırken, nötral (yüksüz) yapıların flotasyon başarısına etkileri yok denecek kadar az ve dimer yapının ise flotasyon verimine olumlu bir etkisi yoktur. Böylece zenginleştirme işlemleri sonrasında zenginleştirme işlemlerinde kullanılan su ile birlikte flotasyonda etkin olarak rol oynamayan toplayıcıların bir kısmı atık havuzuna ya da tikinlere gönderilmektedir. Böylece atık havuzunda ya da tikinlerde, cevherin öğütülmesi ile oluşan ve zenginleştirme işlemlerine tabi tutulmayan şlam boyutlu malzeme ile birlikte flotasyon işlemlerinde kullanılan toplayıcıların bir kısmı da bulunmaktadır. Su içinde askıda bulunan kil, silis, organik maddeler, mikroskobik organizmalar, çökebilir haldeki kalsiyum karbonat, alüminyum hidroksit, demir hidroksit veya benzeri maddeler bulanıklığa (türbidite) neden olan unsurların başında gelmektedir. Cevher hazırlama ve zenginleştirme tesislerinde çoğunlukla bulanıklık sebebi öğütme sırasında oluşan ince mineral

partikülleridir. Bulanıklığa neden olan bu partiküllerin çökeltme hızları kullanılan çeşitli flokülantlar ve koagulantlar yardımıyla salkımlar oluşturularak hızlandırılmaktadır. Ancak cevher zenginleştirme tesislerinde, özellikle flotasyon gibi kimyasallar kullanılarak yapılan zenginleştirme işlemlerinde atık kimyasallar da bulanıklığa neden olmaktadır. Tikinere gönderilen ve çöktürme vb. gibi katı-sıvı ayırım işlemleri sonrasında katıdan arındırılan su işletmenin su gelirinine bağlı olarak ya doğaya şarj edilmekte ya da tesise geri beslenerek zenginleştirme işlemlerinde tekrar tekrar kullanılmaktadır. Doğaya şarj edildikleri takdirde ekolojik dengeye zarar verirken, zenginleştirme işlemlerinde tekrar kullanıldıkları takdirde ise zenginleştirme verimini olumsuz yönde etkileyen sonuçlara neden olabilmektedir. Literatür çalışmaları incelendiğinde; feldspatların flotasyonla zenginleştirilmesinde kullanılan toplayıcıların, feldspat ve feldspat cevherlerinin içermiş oldukları renk verici safsızlıklarla olan etkileşimlerinin çoğunlukla zenginleştirme randımanı, temas açısı ölçümleri ve zeta potansiyel değerleri açısından incelendiği görülmektedir (Bayraktar vd., 1997; Celik vd., 1998; Vidyadhar ve Rao, 2002; Seyrankaya, 2003; Bayat vd., 2006).

Bu bilgiler dikkate alınarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda; katyonik amin ve anyonik sülfonat türü toplayıcıların kullanım miktarına bağlı olarak sulu çözeltilerinde oluşturmuş oldukları bulanıklık (türbidite) değerleri asidik-bazik pH değerleri arasında incelenmiştir. Ayrıca her bir toplayıcı miktarı ve ortam pH değerinde toplayıcı+saf su karışımlarının oluşturmuş oldukları bulanıklık değerleri 0-60 dakika aralığında zamana bağlı olarak da incelenmiştir. Her iki tür toplayıcı için de, elde edilen sonuçlar hem kendi aralarında, hem analizlerde kullanılan saf suyun pH'a dayalı bulanıklık değerleri ile karşılaştırılmış hem de amin ve sülfonat türü toplayıcıların pH'a bağlı tür değişim grafikleri kullanılarak yorumlanmıştır.

## **2. MALZEME VE YÖNTEM**

### **2.1. Malzeme**

Bu çalışmada kullanılan katyonik ve anyonik tür flotasyon toplayıcıları uluslararası madencilik kimyasalları üreten Cytec Ind.Inc. isimli firmadan temin edilmiş olup, ticari olarak Aero 3000C (katyonik amin) ve Aero 825 (anyonik sülfonat) olarak isimlendirilmektedir.

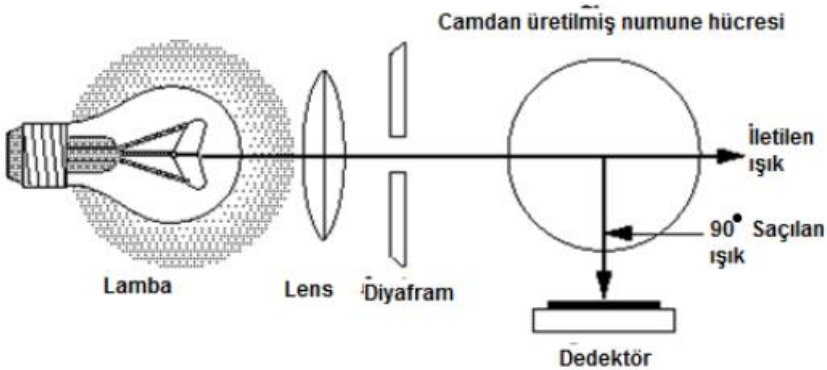
Deneysel çalışmalar öncesinde her bir toplayıcı için stok (20 gr/lt) toplayıcı+saf su karışımları hazırlanmış ve stok toplayıcı+saf su karışımları endüstriyel kullanım miktarları da dikkate alınarak uygun oranlarda saf su ilavesi ile seyreltilerek 25 mg/lt ile 400 mg/lt aralığında 5 farklı toplayıcı derişimi oranlarında toplayıcı+saf su karışımları elde edilmiştir. Sonrasında farklı seyreltme oranlarında oluşturulan

toplayıcı+saf su karışımlarının bulanıklığa (türbiditeye) olan etkileri ortam pH'na bağlı olarak asidik ve bazik değerler aralığında incelenmiştir. Ayrıca toplayıcı+distile su karışımlarının zamana bağlı bulanıklık değişimleri de 0-60 dakika aralığında ölçülerek bulanıklık değerinin zamana bağlı değişimleri de incelenmiştir. Analizler süresince bulanıklık ölçümlerinde kullanılan toplayıcı+saf su karışımları temsiliyeti sağlamak amacıyla 500 devir/dakika'da sürekli karıştırma halinde tutulmuştur.

Analizlerde seyreltik toplayıcı+saf su karışımlarının pH ayarlamaları asidik ortam için %1-50 içerikli 0.1M HCl çözeltileri, bazik pH değerleri için ise %1-50 içerikli 0.1 M NaOH çözeltileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler 18-22°C'de gerçekleştirilmiş olup, karıştırma süresi 5 dakika, karıştırma hızı 1000 d/d ve karıştırma sonrası pH okuma süresi ise 3 dakika değerlerinde sabit tutulmuştur. Çalışmanın her aşamasında saf (distile) su kullanılmış ve bulanıklık ölçümleri kullanılan toplayıcıların kritik misel konsantrasyonları (kmc) (critical micelle concentration, cmc) altında gerçekleştirilmiştir.

## 2.2. Yöntem

Çalışmada bulanıklık ölçümleri 18-22°C'de, 0.00 ile 1000 FTU (Formazine Turbidity Unit) arasında  $\pm 0.5$  FTU duyarlılıkla ölçüm sonuçları sunabilen 3 nokta kalibrasyonlu (0 FTU, 10 FTU ve 500 FTU) ve 0-50°C arası sıcaklıklarda ölçüm yapabilen Hanna 93703 ticari isimli taşınabilir bulanıklık ölçer (türbidite metre) ile gerçekleştirilmiştir. Uluslararası standarda uygun çalışan cihaz, FTU cinsinden bulanıklık birimi sonuçları vermektedir. Cihazın vermiş olduğu FTU sonuçları, NTU (Nephelometric Turbidity Unit)'ya eşit bir birimdir. Nefelometrik bulanıklık ölçüm yöntemi Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Nefelometrik Bulanıklık Ölçüm Yöntemi (EPA, 1999).

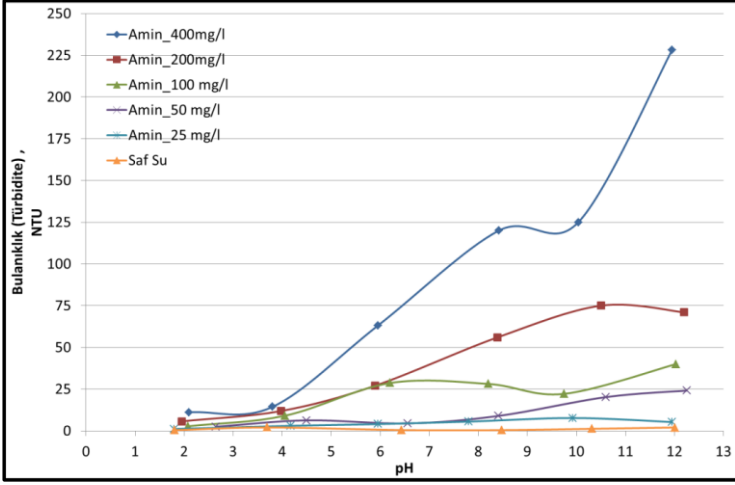
### 3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Aminin Bulanıklığa Etkisi

Çalışmanın bu aşamasında stok amin (20 gr/lt) çözültüsü kullanılarak hazırlanan 25 mg/lt ile 400 mg/lt aralığındaki 5 farklı amin+saf su karışımlarının ortam pH değerine bağlı olarak bulanıklığa olan etkilerinin incelenmesi için pH 2 ile pH 12 değerleri arasında en az 6 farklı pH değerinde ölçümler yapılmış ve sonuçlar grafiksel olarak Şekil 2’de sunulmuştur. Elde edilen verilerin kolay bir şekilde karşılaştırılmaları için analizlerde kullanılan saf suyun pH’a bağlı bulanıklık değerleri de incelenmiş ve aynı grafikte verilmiştir.

Şekil 2’de grafiksel olarak sunulan sonuçlara göre analizlerde kullanılan saf su 0.4 NTU ile 2.0 NTU aralığında bulanıklık değerleri sunarken, katyonik bir toplayıcı olan aminin bulanıklığa olan etkisi toplayıcı derişiminin artması ile birlikte artmaktadır. 25 mg/l toplayıcı+saf su karışımları ile yapılan bulanıklık ölçüm sonuçlarına göre aminin bulanıklığa olan etkisinin düşük pH değerlerinde en az olduğu ve pH değeri arttıkça bulanıklık değerinin de arttığı görülmektedir. Sonuçlara göre 25 mg/l amin+saf su karışımının bulanıklık değerleri düşük pH değerlerinde (~pH 2) 1 NTU iken pH değerinin artması ile birlikte alkali ortamda (~pH 10) 7.5 NTU’ya kadar çıkmaktadır. Şekil 2’de grafiksel olarak sunulan sonuçlar incelendiğinde her bir toplayıcı derişiminde düşük pH değerlerinde en düşük bulanıklık değerlerinin, nötr-yüksek pH değerleri arasında ise en yüksek bulanıklık değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Sonuçlara göre 50 mg/l toplayıcı+saf su karışımı için bulanıklık değerleri 2.5 NTU-24 NTU arasında değişirken, 100 mg/l toplayıcı+saf su karışımı için 3 NTU-40 NTU, 200 mg/l toplayıcı+saf su karışımı için 5.5 NTU-71 NTU ve 400 mg/l için ise 11 NTU-228 NTU arasında değişiklikler göstermiştir.

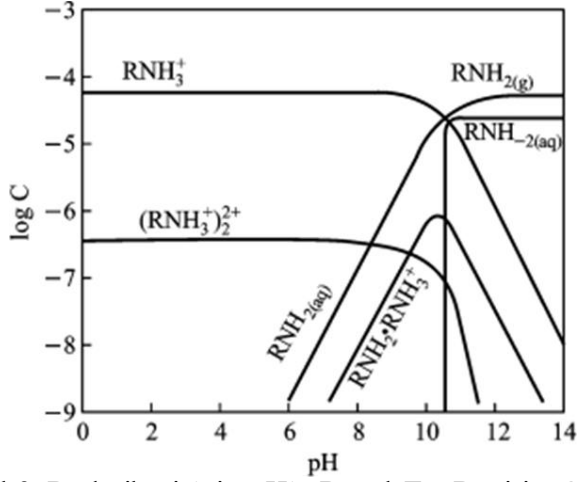
Somasundaran ve Dianzuo, 2006’nın yapmış oldukları çalışmada (Şekil 3), dodesilamin’in asidik-nötr pH aralığında çoğunlukla pozitif (+) yüklü monomerlerden ( $\text{RNH}_3^+$ ) oluştuğu ve aynı pH aralığı için çok daha az derişimlerde dimer ( $\text{RNH}_3^+)_2^{+2}$  yapının da olduğu belirtilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi; monomer ve dimer yapı derişimleri nötral-yüksek pH değerleri arasında artan pH değeri ile birlikte hızla azalmaktadır. Bununla birlikte iyon-molekül ( $\text{RNH}_2.\text{RNH}_3^+$ ) yapı derişiminin ise nötral-bazık pH değerlerinde hızla artarak en yüksek derişim miktarına çıktığı ve sonrasında hızla azalarak yüksek pH değerlerinde tekrar en düşük derişim değerine indiği görülmektedir. Ayrıca yüksek pH değerlerinde amin hızla çökelmektedir.



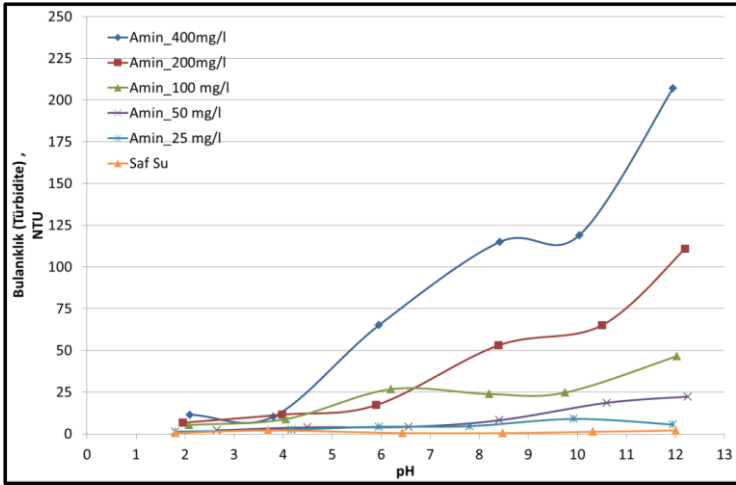
Şekil 2. Aminli Çözeltinin pH'a Dayalı Bulanık (Türbidite) Değişim Grafiği

Kınay ve Özün, 2014'ün amin (Aero 3000C)+saf su karışımları kullanarak askıda damla yöntemi ile gerçekleştirmiş oldukları çalışmada düşük pH değerlerinde en düşük yüzey gerilim değerlerinin elde edildiği, bunun sebebi olarak ortamda bulunan amin monomer ( $RNH_3^+$ ) derişiminin en fazla olduğu, artan pH değeri ve azalan monomer derişimi ile birlikte daha yüksek yüzey gerilim değerlerinin elde edildiğini belirtmiştir. Yine aynı çalışmada yüksek pH değerlerinde saf suyun yüzey gerilim değerine ( $\sim 74$  mN/m) yakın sonuçların alındığı belirtilmiştir. Kınay ve Özün, 2014, tarafından elde edilen sonuçların Somasundaran ve Dianzuo, 2006, tarafından verilen dodesilamin'in pH'a dayalı tür değişim grafiği (Şekil 3) ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Dodesilamin'in pH'a dayalı tür değişim grafiği ve Kınay ve Özün, 2014'ün elde ettikleri yüzey gerilim değerleri dikkate alındığında, bu çalışmada aminin monomer yapı derişimi ile ters orantılı olarak bulanıklık değerinin değiştiği görülmektedir. Düşük pH değerlerinde en yüksek derişiminde olan amin monomer yapının bulanıklık oluşumuna etkisi her bir amin derişimi için en düşük seviyede olduğu, en yüksek bulanıklık değerlerinin ise aminin çökelmeye başlaması ile birlikte elde edildiği görülmüştür.

Şekil 4'de her bir toplayıcı derişimi için zamana bağlı (0-60 dakika) bulanıklık ölçüm sonuçları verilmiştir. Sonuçlara göre her bir toplayıcı derişiminde, zamana bağlı olarak toplayıcı+saf su karışımlarının bulanıklık değişimlerinin önemli ölçülerde gerçekleşmediği ancak yüksek pH değerlerinde aminin çökelmeye başlamasıyla birlikte bir miktar azaldığı görülmüştür.



Şekil 3. Dodesilamin'in pH'a Dayalı Tür Değişim Grafiği (Somasundaran ve Dianzu, 2006).



Şekil 4. Aminli Çözeltinin Zamana Bağlı Bulanık Değişim Grafiği

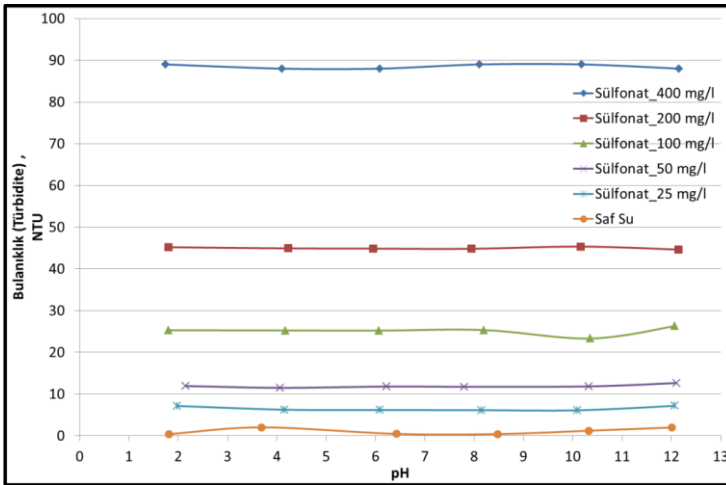
### 3.2. Sülfonatın Bulanıklığa Etkisi

Anyonik bir toplayıcı olan sülfonat türü toplayıcı varlığında gerçekleştirilen bulanıklık ölçüm sonuçları Şekil 5' de grafiksel olarak verilmiştir. Amin türü toplayıcı varlığında gerçekleştirilen bulanıklık ölçümlerinde olduğu gibi; toplayıcı+saf su karışımları 25 mg/lt ile 400 mg/lt aralığında 5 farklı derişim oranlarında hazırlanmış ve her bir seyreltik sülfonat+saf su karışımından 30 ml temsili numune kullanılarak bulanıklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar

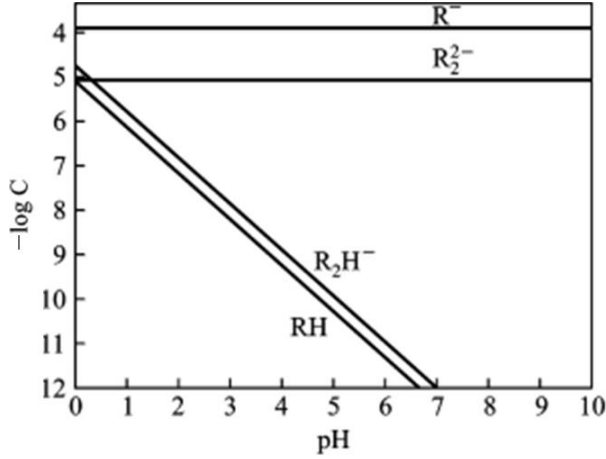
kolay bir karşılaştırılma sağlanması amacıyla saf suyun pH'a bağlı bulanıklık değerleri ile birlikte grafiksel sunulmuştur.

Şekil 5'de verilen grafikten de anlaşılacağı gibi sülfonat türü toplayıcı varlığında gerçekleştirilen bulanıklık ölçüm sonuçlarına göre; her bir toplayıcı+saf su karışımı için bulanıklık değerlerinin ortam pH değerine bağlı olarak fazla bir değişiklik göstermediği ve tüm pH değerlerinde yaklaşık sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca, elde edilen sonuçlara göre sülfonat türü toplayıcı'nın bulanıklığa olan etkisinin toplayıcı derişiminin artması ile doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. 25 mg/l ve 50 mg/l gibi seyreltik toplayıcı+saf su karışımları ile yapılan bulanıklık ölçüm sonuçlarına göre sülfonatın bulanıklığa olan etkisinin bu toplayıcı derişimleri için 13 NTU'un altında olduğu görülmektedir. Toplayıcı miktarının artması ile birlikte; 100 mg/l toplayıcı+saf su karışımı için bulanıklık değeri yaklaşık 25 NTU'ya, 200 mg/l toplayıcı+saf su karışımı için 45 NTU'ya ve analizlerde kullanılan en yüksek toplayıcı derişimi olan 400 mg/l toplayıcı+saf su karışımı için ise yaklaşık 90 NTU'ya kadar çıkmaktadır.

Şekil 6'da sodyum dodesil sülfonat (SDS)'in pH'a dayalı tür değişim grafiği verilmiştir (Somasundaran ve Wang, 2006). Grafikten de anlaşılacağı gibi SDS asidik-bazık pH değerleri arasında iyonize halde bulunmaktadır. SDS'in monomer (R<sup>-</sup>) derişimi tüm pH değerlerinde en baskın halde iken, derişim değerleri bakımından dimer yapı derişimi monomer derişiminden hemen sonra gelmektedir. SDS'in pH'a bağlı tür değişim grafiği dikkate alındığında bu çalışma kapsamında elde edilen bulanıklık değerlerinin benzerlik gösterdiği, her bir toplayıcı derişimi için tüm pH değerlerinde yaklaşık sonuçlar alındığı görülmüştür.

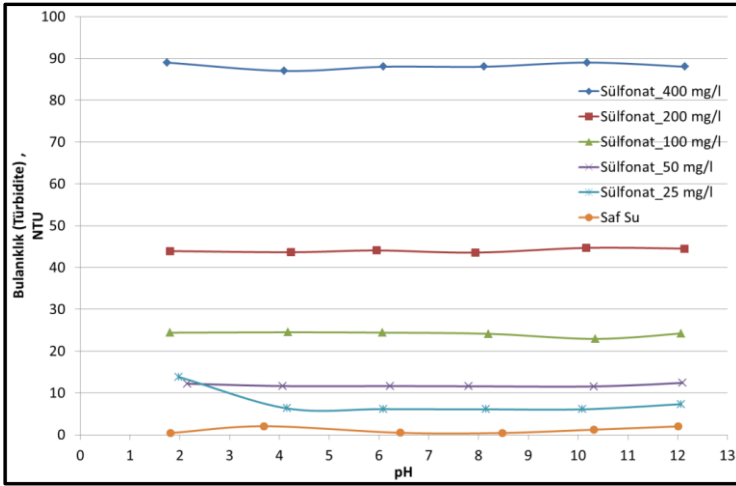


Şekil 5. Sülfonali Çözeltinin pH'a Dayalı Bulanık (Türbidite) Değişim Grafiği



Şekil 6. SDS'nin pH'a Dayalı Tür Değişim Grafiği (Somasundaran ve Dianzuo, 2006).

Sülfonat türü toplayıcının miktara bağlı bulanıklık değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği incelendiğinde (Şekil 7), ilk bulanıklık ölçümünden itibaren 60 dakika sonrasında gerçekleştirilen bulanıklık ölçümlerinde her bir toplayıcı derişimi için tüm pH değerlerinde hemen hemen hiç değişimin olmadığı görülmüştür.



Şekil 7. Sülfonalı Çözeltinin Zamana Bağlı Bulanık Değişim Grafiği



## SONUÇLAR

Katyonik bir tür toplayıcı olan amin (Aero 3000C) kullanılarak gerçekleştirilen bulanıklık ölçüm sonuçlarına göre bulanıklık değeri artan toplayıcı derişimiyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Ayrıca aminin bulanıklığa etkisinin düşük pH değerlerinde 25-400 mg/l aralığında gerçekleştirilen her bir toplayıcı derişimi için en düşük değerlerinde (<12 NTU) olduğu görülmüştür. En yüksek toplayıcı derişimi olan 400 mg/l amin+saf su karışımı kullanılarak yapılan ölçümlerde dahi bulanıklık (türbidite) değeri düşük pH değerlerinde 12 NTU'dan daha düşük çıkmıştır. Ancak artan pH değeri ile birlikte her bir toplayıcı derişimi için bulanıklık değerleri hızla artmakta ve yüksek pH değerlerinde (>pH 10) en yüksek değerlerine ulaşmaktadır (400 mg/l amin+saf su karışımı için yaklaşık 225 NTU).

Flotasyon işlemlerinin gerçekleştirdiği bütün pH değerlerinde iyonik yapıda olan anyonik sülfonat türü toplayıcı varlığında yapılan ölçüm sonuçlarına göre ise; bulanıklık değerleri aynı toplayıcı derişimi için bütün pH değerlerinde yaklaşık değerler almıştır. 25 mg/l ve 50 mg/l sülfonat+saf su karışımları ile gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre her iki toplayıcı derişimi için de bulanıklık değerinin tüm pH değerlerinde 15 NTU'dan az olduğu, artan toplayıcı derişimi ile birlikte bulanıklık değerinin arttığı ve en yüksek derişimli sülfonat+saf su karışımında bulanıklık değerinin 90 NTU'ya ulaştığı görülmüştür.

Sonuçlara göre düşük pH değerlerinde amin+saf su karışımları aynı derişimdeki sülfonat+saf su karışımlarından daha düşük bulanıklık değerleri sunarken, artan pH değeri ve azalan monomer derişimi ile birlikte aminin bulanıklığa olan etkisi de artmıştır. Yüksek pH değerlerinde ise aynı derişimdeki sülfonat+saf su karışımı ile karşılaştırıldığında amin+saf su karışımları yaklaşık 2 kat daha fazla bulanıklık değerlerine neden olmuştur.

Her bir toplayıcı+saf su karışımında ortam pH'ına bağlı olarak gerçekleştirilen bulanıklık ölçümleri sonuçlarına göre her iki toplayıcı türü için de 0-60 aralığında tüm pH değerlerinde bulanıklık değerlerinde bir değişikliğin olmadığı görülmüş ve benzer sonuçlar alınmıştır. Ancak amin türü toplayıcı varlığında zamana bağlı gerçekleştirilen analizlerde yüksek pH değerlerinde bulanıklık değerlerinin bir miktar azaldığı görülmüştür.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK-BİDEB 2241/A Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı tarafından (2015/4) desteklenmiştir. Ayrıca; deneysel çalışmalar esnasında yardımlarını esirgemeyen A. Mehmed'e teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- Bayat, O., Arslan, V., Cebeci, Y., 2006. Combined Application Of Different Collectors in the Flotation Concentration of Turkish Feldspars, *Minerals Engineering*, Vol. 19, pp. 98-101.
- Bayraktar, I., Ersayın, S., Gulsoy, O.Y., 1997. Upgrading Titanium Bearing Na-Feldspar by Flotation Using Sulphonates, Succinamates and Soaps of Vegetable Oils. *Minerals Engineering* 1 (12), pp. 1363–1374.
- Celik, M.S., Can, I., Eren, R.H., 1998. Removal of Titanium Impurities from Feldspar Ores by New Flotation Collectors, *Minerals Engineering*, Volume 11 (12), pp. 1201–1208.
- EPA Guidance Manual Turbidity Provisions, 1999. Basic Turbidimeter Design and Concepts, USA, pp. 11.1-11.11.
- Kınay, G., Özün, S., 2014, Effect of Anionic and Cationic Flotation Collectors' Amount and pH on Surface Tension, *Proceedings of XIVth International Mineral Processing Symposium*, pp. 267-273, Kuşadası, Aydın, Türkiye.
- Ozun S., Atalay U., Kadioglu, Y.K., 2009. Investigation on Possibility of Opaque Minerals Removal from Foid Bearing Rock, *Mining and Geoengineering, Release Of Journals AGH*, Volume 33, z.4, pp. 269-276.
- Seyrankaya, A., 2003. Removal of Mica and Heavy Minerals from Albite of Mugla-Milas District by Flotation, *DEU Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5, 3, pp. 171-180.
- Somasundaran, P., Dianzuo, W., 2006. Bölüm 2. Solution equilibria of surfactants, *Solution Chemistry of Mineral and Reagents*, NY Press, USA, pp.22-23.
- Vidyadhar, A., Rao, K.H., 2002. Adsorption of N-Tallow 1.3-Propanediamine-Dioleate Collector of Albite and Quartz Minerals and Selective Flotation of Albite from Greek Stefania Feldspar Ore, *J. Colloid Interface Sci.*,248, pp. 19-29.

# Ağır Metallerle Kirlenmiş Toprak ve Suların İyileştirilmesinde Adsorban olarak Kullanılan Doğal Manyetitin Elektrokinetik Davranışı

## *Electrokinetic Behavior of Natural Magnetite Used as Adsorbent in the Remediation of Heavy Metals Contaminated – Soil and Waters*

M. Erdemoğlu, M. Sarıkaya

*İnönü Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Malatya*

**ÖZET** Ağır metaller ve/veya organik maddelerle kirlenmiş doğal karasal ve sulak alanların iyileştirilmesi için “elektrokinetik iyileştirme yöntemleri” de önerilmektedir. Bu çalışmada, ağır metallerle kirlenmiş toprakların ve doğal suların iyileştirilmesinde kirlenmiş taşıyıcısı “veya genel adıyla adsorban” olarak kullanılan manyetitin ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) elektrokinetik davranışının ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bunun için doğal manyetitin sulu ortamda ve bir, iki ve üç değerlikli katyonlar, iki değerlikli çeşitli ağır metal iyonları ( $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  ve  $\text{Cd}^{2+}$ ) ve okzalit ( $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ ) iyonu varlığında zeta potansiyel ölçümleri yapılmıştır. Bildiride, deneysel veriler ve literatür bilgileri kullanılarak, doğal manyetitin ağır metallerle kirlenmiş sistemlerin iyileştirilmesinde adsorban olarak kullanılabilirliği tartışılmıştır.

**ABSTRACT** For remediation of natural lands and aqueous areas contaminated with heavy metals and/or organic matters, electrokinetic remediation methods are also commended. In this article, it is aimed to uncover the electrokinetic behavior of magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) used as contaminant carrier “or adsorbent in common” in the remediation of soils and natural waters contaminated with heavy metals. For this purpose, zeta potential measurements were performed with natural magnetite in aqueous medium and in the presence of mono-, di- and trivalent cations, divalent heavy metal ions ( $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  and  $\text{Cd}^{2+}$ ) and oxalate ( $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ ) ion. In this present paper, by using the experimental data collected and also the literature data, usability of magnetite as adsorbent in the remediation of systems contaminated with heavy metals was discussed.

## 1. GİRİŞ

Ağır metallerin sulu ortamlardan giderilmesi için metallerin topluca hidroksit halinde çöktürülmesi, çökeleğin koyulaştırılması ve sonunda karışık metal oksit çamurunun filtrasyonu süreçleri geleneksel olarak uzun zamandır uygulanmaktaydı. Neyse ki zeolit gibi adsorbanların veya çeşitli anyon veya kation değiştirici reçinelerin kullanıldığı iyon değiştirme süreçlerinin kullanılmaya başlanmasıyla, bu yöntemin örneğin çökeltmenin tamamlanmaması gibi eksikliklerinin üstesinden gelinmiştir. Aksine bu defa, metal-iyon soğurum süreçlerinde kullanılan ince tane boylu adsorbanların iyileştirilmiş sulardan ayrılması veya uzaklaştırılması sorunları ortaya çıkmıştır. Son yıllarda, yüklü adsorbanların ortamdan manyetik olarak ayrılabilmesi konusundaki araştırmalar oldukça umut verici olmuştur (Feng ve ark., 2000).

Bu yöntemin temeli, ayrı bir manyetik fazın zayıf ya da manyetik olmayan hedef tanelerin içerisine eklenmesinden ibarettir. Burada amaç hedef tanelerin manyetik alınganlıklarını artırmak ve onları, yüklendikten sonra, aglomeratlar halinde manyetik ayırma teknikleriyle işlenmiş sudan ayırmaktır (Navratil ve Tsair, 2003; Phanapavudhikul ve ark., 2003; Hu ve ark., 2004; Pode ve Pode, 2005). Manyetik özelliğe sahip adsorbanların üretilmesinde doğal veya yapay manyetit ( $Fe_3O_4$ ) kullanımı oldukça sık karşılaşılan bir durumdur ve bu manyetik adsorbanlar ağır metaller içeren atık suların işlenmesi için geliştirilen çöktürme-adsorpsiyon-koagülasyon devrelerinde kullanılan yaygın bir uygulama olmaktadır.

Öte yandan, “elektrokinetik toprak iyileştirme” yöntemi yüzeyaltı (subsurface) ortamların temizleme ve iyileştirme teknikleri arasında ümit vaat eden yöntemlerden bir tanesi olmuştur (Virukyte ve ark., 2002). Elektrokinetik iyileştirmenin temel amacı, yüzeyaltında bulunan kirleticilerin elektroforez, elektroozmoz ve elektrotaşımın yoluyla oluşturulan bir elektrik alanı içerisinde taşınmasını sağlamaktır. Elektroforez, -yüzeyleri iyonlarla- yüklü taneciklerin ya da koloitlerin bir elektrik alanı içerisinde taşınmasıdır; böylece, hareketli parçacığa bağlanmış organik ve inorganik kirleticiler de bu sayede sulu ortamda taşınabilmektedir. Elektroforez yoluyla toprakların elektrokinetik olarak iyileştirilmesinin verimliliği, killer, kireçtaşı ve diğer oksitli mineraller gibi toprak bileşenlerinin yüzey özelliklerine, nicel olarak da taneciklerin zeta potansiyeline doğrudan bağlıdır.

Hematit, manyetit, götit ve limonit gibi demir oksitler çevresel sistemlerde oldukça yaygın bir şekilde bulunurlar ve sulu sistemlerdeki ara yüzeysel etkileşim süreçlerine bağlı olarak serbest metal iyonu derişimini ve doğal organik madde

dağılımını sıklıkla etkilerler (Ray ve Shipley, 2015). Hematit, götit ve lepidokrokitin yüzey kimyasal özellikleri pek çok çalışmanın konusu olmuştur (DeBruyn ve Agar, 1962; Parks, 1965; Kosmulski, 2002). Ancak, üç çalışma dışında (Kolarik ve ark, 1980; Sun ve ark, 1998; Erdemoğlu ve Sarıkaya, 2006) manyetit elektrokinetik davranışı hakkında ayrıntılı çalışma bulunmamaktadır.

Bu bildirinin amacı, başlıca yüzey yükü karakteristiklerini ve zeta potansiyelini etkileyen kimyasal ve ara yüzeysel mekanizmaları göz önünde bulundurarak, manyetit elektrokinetik davranışı hakkında bu bildirinin yazarları tarafından daha önce elde edilen (Erdemoğlu ve Sarıkaya, 2006) deneysel verilerin sunulmasıdır. Bu amaçla, doğal manyetit doğal, asidik ve bazik sulu ortamlardaki zeta potansiyeli,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ve  $\text{Al}^{3+}$  gibi tek- ve iki- ve çok- değerlikli sıradan iyonların,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  ve  $\text{Cd}^{2+}$  gibi iki-değerlikli ağır metal iyonlarının ve topraktaki organik türlere örnek olarak okzalat ( $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ ) iyonunun varlığında ölçülmüştür. Zeta potansiyel ölçümleriyle elde edilen veriler, ayrıca, doğal manyetit adsorpsiyon yeteneğini nitel olarak ortaya koyabilecek biçimde de değerlendirilmiştir. Ağır metallerce kirlenmiş toprak ve suların iyileştirilmesinde doğal manyetit kullanılabilirliği deneysel veriler ve literatür bilgileri kullanılarak tartışılmıştır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

Manyetit ( $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$  ya da genel ifadeyle  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) mineral örnekleri Bingöl- Avnik apatitli demir yataklarından çekiçle kırılarak alınmış parçalar içerisinde el ile toplanmış; yaklaşık 5-10 cm iriliğindeki parçalar temiz zemin üzerine dökülerek harmanlanmıştır. Yaklaşık 10 kg olan mineral harmanının tamamı önce çekiçle daha ince parçalara kırılmış, kırılan tüm yığın tamamı -0,5 mm olacak şekilde paslanmaz çelik gövdeli ve bilyalı laboratuvar tipi değirmende 0,5 mm elek-kontrollü biçimde öğütülmüştür. Tüm malzeme, tekrar ve tekrar önce kuru sonra yaş manyetik ayırma işlemine tabi tutularak, manyetik olmayan gang minerallerinden ayrılmıştır. Daha sonra, titreşimli halkalı değirmende tüm manyetit -0,038 mm tane iriliğinde olacak biçimde 0,038 mm elek-kontrollü olarak öğütülmüş ve manyetit süspansiyonlarının hazırlanmasında -0,038 mm tane boyundaki manyetit tozu kullanılmıştır.

Kullanılan temel kimyasal maddeler şunlardır: Potasyum nitrat ( $\text{KNO}_3$ ), sodyum klorür ( $\text{NaCl}$ ), magnezyum klorür hegzahidrat ( $\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), alüminyum klorür hegzahidrat ( $\text{AlCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), kobalt nitrat hegzahidrat ( $\text{Co}(\text{NO}_3)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), nikel nitrat hegzahidrat ( $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), bakır nitrat trihidrat ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), çinko nitrat hegzahidrat ( $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), kurşun nitrat ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ), kadmium nitrat tetranitrat

( $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), sodyum okzalat ( $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ), sodyum hidroksit ( $\text{NaOH}$ ), hidroklorik asit ( $\text{HCl}$ ) ve nitrik asit ( $\text{HNO}_3$ ). Zeta potansiyel ölçümü için iki kez distile edilmiş ve kaynatılmış su kullanılmıştır. pH ayarlamaları, ihtiyaç duyulduğunda, sulu çözeltiye  $10^{-2}$  N ve  $10^{-1}$  N  $\text{HNO}_3$  ve  $\text{NaOH}$ , ve  $\text{HCl}$  damlatılarak gerçekleştirilmiştir. pH ölçümü için Mettler-Toledo MP220 model pH metre ve Mettler Toledo InLab<sup>®</sup>413 model pH elektrotu kullanılmıştır.

Doğal manyetit zeta potansiyelini belirlemek üzere elektroforetik hareketlilik ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler, ZetaMeter3.0+ model (Zeta Meter Inc. USA) cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cihaz taneciklerin elektroforetik hızını otomatik olarak belirlemekte ve Smoluchowski eşitliğini kullanarak bu değeri zeta potansiyel ( $\zeta$ , milivolt) değerine çevirmektedir. Ölçüm değerlerinin tekrarlanabilirliği, on adet ölçümün ortalama değerinin standart sapmasının 2 mV'dan küçük olduğu koşullarda ölçüm tekrarlanarak kontrol edilmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

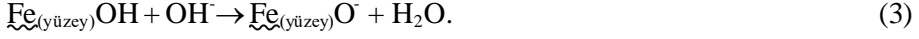
#### 3.1. Manyitin zeta potansiyeli

Doğal, asidik veya alkali karakterli doğal sularla temas halindeki minerallerin, onların pH'mı değiştirme kapasitesi ya da mineralin pH profili minerallerin yüzey işaretinin veya potansiyel belirleyen iyonların türünün belirlenmesi bakımından anlamlıdır (Erdemoğlu, 2007). Erdemoğlu ve Sarıkaya (2006), manyetit süspansiyonda ağırlıkça %1 oranında bulunduğu asidik, doğal ve alkali karakterli suların pH'mı nasıl değiştirdiğini saptamışlardır. Buna göre, manyetit, doğal pH'ı 5,8 olan suya, pH'ı 3'e ve ayrıca 10'a ayarlanmış sulara ayrı eklendiğinde pH, sırasıyla, 9,1'de, 4,5'de ve 9,9'da dengelenmiştir. Suyun pH'sının 5,8'den 9,1'e ve çözelti pH'sının 3'den 4,5'e yükselmesinde, sudaki  $\text{H}^+$  iyonlarının manyetit yüzeyindeki negatif yüklü türlerce tutulması; çözelti pH'sının 10'dan 9,9'a düşmesinde ise  $\text{OH}^-$  iyonlarının manyetit yüzeyindeki pozitif yüklü türlerce ve/veya çözüldükteki  $\text{H}^+$  iyonlarının manyetit yüzeyindeki negatif yüklü türlerce tutulması etkili olmuştur. Zaten, oksit mineralleri için, hidrojen ve hidroksil iyonlarının potansiyel belirleyen iyonlar olduğu uzun zamandır kabul gören bir görüş olmuştur (Fuerstenau ve Pradib, 2005). Şöyle ki, oksit mineralleri sulu ortamlarda hidroksitlenirler;  $\text{H}^+$  iyonunun yüzey hidroksillerinden uzaklaşması veya yüzeye adsorplanması oksitlerde yüzey yükünün sebebi olur. Sulu sistemlerde, manyetit de hidratlanır; yüzeyini  $\text{FeOH}$  grupları kaplar. Çözeltimin pH'sına bağlı olarak, tanecik yüzeyinde  $\text{FeOH}$  kenarları  $\text{H}^+$  ya da  $\text{OH}^-$  iyonlarıyla tepkiyebilirler. Böylece, yüzeyde pozitif ( $\text{FeOH}_2^+$ ) ya da negatif ( $\text{FeO}^-$ ) yük

meydana gelir. Çözünme sistemlerindeki olası yüzey türleri aşağıda temsili olarak gösterilmektedir ( $\text{Fe}_{(\text{yüzey})}$  tanecik yüzeyindeki katyonu işaret etmektedir):



veya



Şekil 1, saf su içerisindeki manyetitin zeta potansiyeline pH'nın etkisini (Şekil 1a) ayrıca  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$  and  $10^{-2}$  M derişimlerdeki  $\text{Na}^+$  (Şekil 1a),  $\text{Mg}^{2+}$  (Şekil 1b) ve  $\text{Al}^{3+}$  (Şekil 1c) çözeltilerindeki manyetitin zeta potansiyelinin pH'la değişimini göstermektedir. Zeta potansiyel ölçümleri pH değeri 5,8 olan saf sudaki manyetit yüzeyinin negatif yüklü olduğunu göstermiştir. Zeta potansiyelin işareti pH yaklaşık 5'de değişmiştir. Bu değer manyetitin izoelektrik noktası (IEP) olarak kabul edilebilir. Doğal ve yapay manyetitin IEP değerini açıklayan birçok çalışma bulunmaktadır (Çizelge 1). Çizelgede görünen odur ki, manyetitin IEP değeri, manyetitin doğal veya yapay olmasına ve yapay üretim yöntemine bağlı olarak da değişiklik göstermektedir.

Kullanılan elektrolitlerden  $\text{Na}^+$  manyetitin IEP değerini değiştirmemiştir ancak  $\text{Na}^+$  derişimi  $10^{-4}\text{M}$ 'dan  $10^{-2}\text{M}$ 'a yükseltildiğinde, zeta potansiyelin mutlak değerinde yükseliş olmuştur. Süspansiyona  $\text{Mg}^{2+}$  eklendiğinde manyetitin zeta potansiyelinde belirgin bir değişim ortaya çıkmıştır.  $\text{Mg}^{2+}$  derişimi  $10^{-4}$  M kadar düşükkken zeta potansiyel, özellikle düşük pH değerlerinde suyunkiyle benzer bir deseni izlemiştir.  $\text{Mg}^{2+}$  derişimi  $10^{-3}\text{M}$ 'a yükseltildiğinde ılımlı pH'larda daha negatif olmuş; pH yaklaşık 10 civarında ikinci IEP değeri vererek pozitif değerlere artmıştır.  $10^{-2}$  M  $\text{Mg}^{2+}$  derişiminde IEP değeri asidik ortamda 5,5'e kaymış; pH 8'e doğru yükseltildiğinde potansiyel büyüklük olarak azalmış ve pH 9,5'de ikinci IEP değeri vererek pozitif değerlere artmıştır. Üstelik,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 'nin IEP'si pH 12 olarak belirlenmiştir (Parks, 1965; Rao, 2004). Zeta potansiyel profilinde  $\text{Al}^{3+}$ 'nın etkisi çok farklı olmuştur. Süspansiyona denenen tüm derişimlerde  $\text{Al}^{3+}$  eklenmesi manyetitin zeta potansiyelini kararlı biçimde etkilemiştir.  $10^{-3}$  ve  $10^{-2}$  M derişimlerde süspansiyonun pH'ı alkali değerlere yükseldikçe belirgin ve ayırık bir alüminyum hidroksit çökeline bağlı olarak zeta potansiyel ölçümü yapılamamış ve deneme sonlandırılmıştır. Bunun yanında, düşük  $\text{Al}^{3+}$  derişiminde ve asidik pH değerlerinde zeta potansiyel yüksek pozitif değerler almıştır.

Kararlı bir koloidal sistemde koagulasyon başlatabilmek için gerekli en düşük elektrolit derişimi Kritik Koagulasyon Derişimi (CCC) olarak tanımlanır. Schulze-Hardy Kuralı der ki, zıt iyonların (counter ions) CCC değeri, iyonun değerliğinin

altıncı kuvvetiyle ters orantılıdır. 3, 2 ve 1 değerlikteki zıt iyonlar için bu kural, CCC oranının  $3^{-6}:2^{-6}:1^{-6}$  ya da kabaca 1:11:729 olduğunu söyler. Spesifik adsorbsiyon yokluğunda geçerli olan Schulze-Hardy Kuralı zeta potansiyel ile iyonik şiddeti arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Basit inorganik elektrolitlerin zeta potansiyel üzerinde etkisi, iyonların göreceli değerlik değerine ve derişimine bağlıdır. Bununla birlikte, elektrolitin kation ve anyon değerlikleri oranına da bağlıdır. Bir 1:1 elektrolit olan NaCl'ün çift tabaka kalınlığı üzerindeki etkisi aşırı asidik pH değerlerinde görünür hale gelmektedir. Bir 2:1 elektrolit olan  $MgCl_2$  düşük derişimlerde bile zeta potansiyeli sıfıra yaklaştırmakla kalmaz, yüksek derişimlerde zeta potansiyel eğrisi ikinci kez IEP değeri kazanır. Artan  $Mg^{2+}$  derişimlerde çift tabaka daha da fazla sıkıştırılmıştır. Bununla birlikte, pH 10'a doğru yaklaştığında  $Mg^{2+}$  iyonları  $Mg(OH)^+$  türüne dönüşmek (Svarovsky, 2001) üzere hidroliz olmaya başlar,



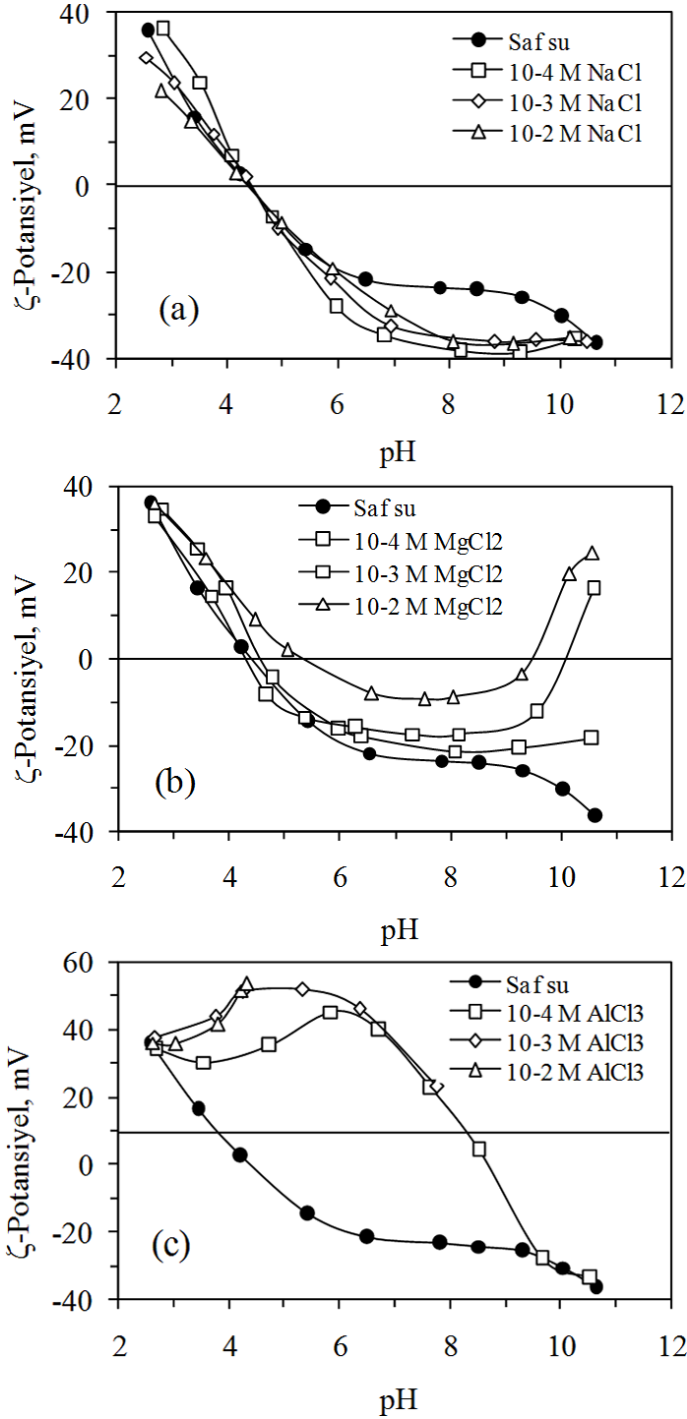
ve bu kompleks tür(ler) negatif yüklü manyetit yüzeyine spesifik olarak adsorplanarak net yüzey yükü değerini sıfıra ve daha yukarısına kadar yükseltirler (DeBruyn ve Agar, 1962). Bu durum, yüksek kation derişimlerinde daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır.  $AlCl_3$  ise bir 3:1 elektrolittir ve onun üç değerlikli kationları, özellikle artan derişimlerde daha belirgin olarak zeta potansiyeli ani biçimde artırarak sıfırdan uzaklaştırırlar. Derişim artışıyla birlikte pH'nın da artmasıyla  $Al(OH)^{2+}$ ;  $Al(OH)_2^{1+}$  gibi kompleks iyonlar da çift tabaka üzerinde baskı yapmaya başlarlar. Bu çalışmada,  $10^{-4}$  M kadar düşük  $Al^{3+}$  derişimlerinde süspansiyonda belirgin ve etkin olmayan  $Al(OH)_3$  katısının çökelişi yüksek derişimlerde etkili olmaya başlamış ve zeta potansiyel ölçümü yapmak süspansiyonda bulanıklık meydana geldiği için olanaksız olmuştur.

$Mg^{2+}$  ve  $Al^{3+}$  basit ve bunların kompleks iyonlarının manyetit yüzeyine “spesifik adsorpsiyonu” bu iyonların mineral yüzeyine elektrostatik kuvvetlere ek olarak kimyasal kuvvetler tarafından da çekilmelerinin bir sonucu olduğu vurgulanmaktadır (Hunter, 2001).

### 3.2. Ağır metal ve okzalat iyonları ortamında manyetit zeta potansiyeli

$Co^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  ve  $Cd^{2+}$  olarak seçilen ağır metal iyonlarının tekil varlığında gerçekleştirilecek zeta potansiyel ölçümlerinde metal hidroksit çökelişiminin ihmal edilebilir olduğu ağır metal derişimini belirlemek üzere çok sayıda deneme yapılmış (Erdemoğlu ve Sarıkaya, 2006) ve  $10^{-4}$  M ağır metal iyonu derişiminin uygulanabilir olduğuna karar verilmiştir. Ağır metal iyonları varlığında zeta potansiyel oldukça farklı olmakla birlikte potansiyel değerinin pH'la değişimi neredeyse aynı deseni izlemiştir (Şekil 2).

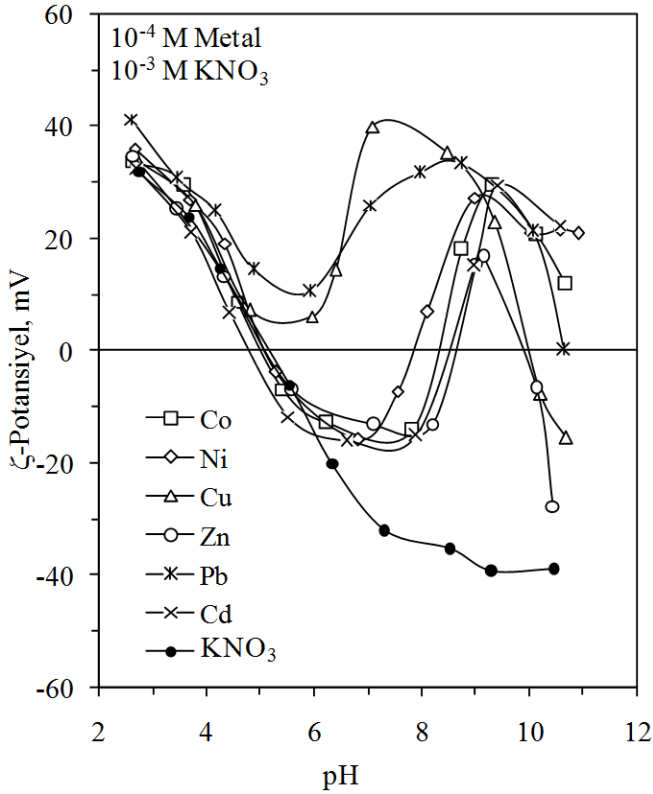




Şekil 1. Saf suda ve üç farklı derişimde (a) NaCl, (b) MgCl<sub>2</sub> ve (c) AlCl<sub>3</sub> varlığında doğal manyetit zeta potansiyelinin pH'la değışimi.

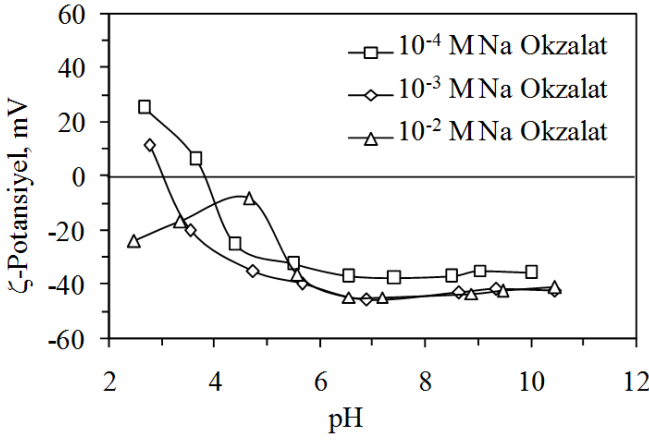
Çizelge 1. Kökeni farklı doğal ve yapay manyetitın IEP değeri (Erdemoğlu ve Sarıkaya, 2006'dan alınmıştır).

YAPAY MANYETİT			
Tanımlama	Sulu ortam	pH <sub>IEP</sub>	Kaynak
1 CO-CO <sub>2</sub> ortamında Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> indirgenmesi	Su	6,5	Parks (1965)
2 Sulu Fe(II) ve Fe(III) iyonlarının alkalizasyonu	10 <sup>-1</sup> M NaClO <sub>4</sub>	6	Sun ve ark. (1998)
3 Amorf ferroz hidroksit jelinin kristalizasyonu	10 <sup>-3</sup> M KNO <sub>3</sub>	6,6	Gómez-Lopera ve ark. (2001)
4 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> içeren FeSO <sub>4</sub> çözeltilisinden	10 <sup>-3</sup> M KNO <sub>3</sub>	6,5	Plaza ve ark. (2002)
5 Amorf ferroz hidroksit jelinin kristalizasyonu	10 <sup>-2</sup> M NaNO <sub>3</sub>	6,3	Viota ve ark. (2005)
6 Alkali hidroliz	Distile su	8	Illés ve Tombác (2006)
DOĞAL MANYETİT			
7 Sadece kuru öğütülmüş	Su	6,5	Parks (1965)
8 % 93,9 toplam demir			
10 µm tanecikler		4,4	
1 µm tanecikler		4,8	
2 ay beklemiş	10 <sup>-3</sup> M KNO <sub>3</sub>	3,4	Kolarik ve ark. (1980)
9 Fosfat cevherinden	Distile su	4,1	Simukanga ve Lombe (1995)
10 %97 saflıkta	Distile su	7	Raju ve ark. (1997)
11 Manyetit	Distile su	6,8	Prakash ve ark. (1999)
12 Manyetit	6x10 <sup>-4</sup> M NaClO <sub>4</sub>	7	Anastassakis (1999)
13 Demir konsantresi	Distile su	4,4	Qiu ve ark. (2004)
14 Manyetit	Su	4,2	Nguyen ve Schulze (2004)
15 SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO ve CaO gibi safsızlıklar	10 <sup>-1</sup> MKCl	6,5	Kosmulski (2004)
16 %0,48 SiO <sub>2</sub> ve % 72 Fe	Distile su	6,65	Yuhua ve Jianwei (2005)
17 Manyetit	Saf su	5	
Kuru + Yaş	10 <sup>-2</sup> M NaCl	5	Erdemoğlu ve Sarıkaya
zenginleştirilmiş	10 <sup>-2</sup> M KNO <sub>3</sub>	5	(2006)

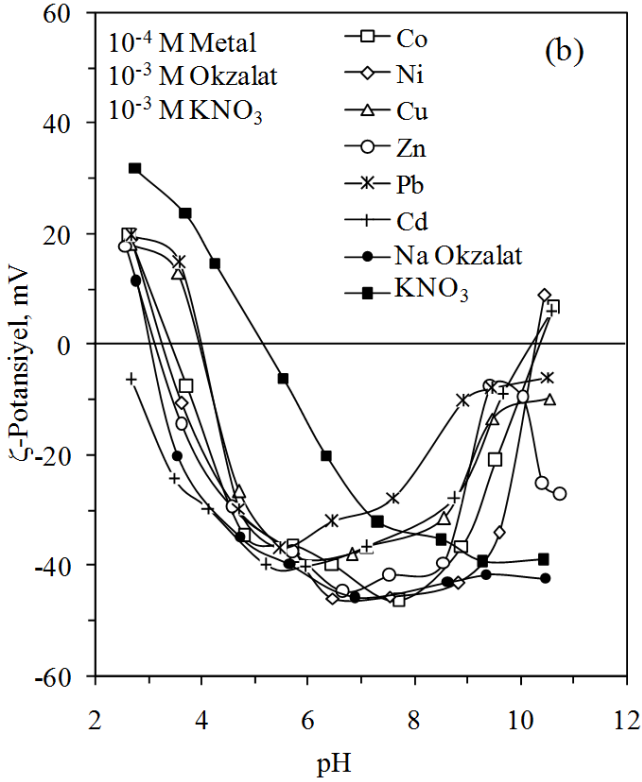


Şekil 2. Farklı pH'larda doğal manyetit zeta potansiyeline ağır metal katyonlarının etkisi (Erdemoğlu ve Sarıkaya, 2006'dan alınmıştır).

Her bir metal iyonu için düşük pH'larda elde edilen eğrilerdeki değerler, bu deneylerde elektrolit olarak kullanılan KNO<sub>3</sub> çözeltisindeki zeta potansiyel değerleriyle neredeyse aynıdır ve pH artışıyla birlikte azalmaktadır. Hem Cu<sup>2+</sup> hem de Pb<sup>2+</sup> için de azalmakta olan zeta potansiyel pH 6'dan sonra ve herhangi bir IEP değeri vermeden artmaya başlamaktadır. Cd<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> ve Zn<sup>2+</sup> varlığında ölçülen zeta potansiyel sıradan bir desen izlemekte ve neredeyse pH 5,2'de ortak bir IEP değeri vermektedir. Ancak, 7,5 denebilecek bir pH'da zeta potansiyel artmaya başlamakta, pozitif değerler almakta ve Ni<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup> ve Zn<sup>2+</sup> için sırasıyla 7,8; 8,4; 8,6 ve 8,7'de ikinci bir IEP değeri ortaya çıkmaktadır. Zeta potansiyel Cu<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup> ve Co<sup>2+</sup> için sırasıyla pH 7; 8,5; 9; 9,3; 9,5 ve 9,5'den itibaren yeniden azalmaya başlamıştır. Bu pH değerlerinden sonra, zeta potansiyel düşmüş ve Cu<sup>2+</sup> ve Pb<sup>2+</sup> için sırasıyla 10 ve 10,6 civarında ilk IEP değeri vererek; Zn<sup>2+</sup> için pH 9,8 civarında ise üçüncü IEP değerini vererek negatif değerler almıştır. Cd<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup> ve Ni<sup>2+</sup> ile manyetit, pozitif olan zeta potansiyel değerini çalışılan tüm pH değerlerinde korumakta olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.  $10^{-3}$  M  $KNO_3$  varlığında farklı sodyum okzalate derişimlerinde doğal manyetitinin zeta potansiyel-pH desenleri (Erdemoğlu ve Sarıkaya, 2006'dan alınmıştır).



Şekil 4. Doğal manyetitinin zeta potansiyeline okzalate anyonu varlığında ağır metal katyonlarının etkisi (Erdemoğlu ve Sarıkaya, 2006'dan alınmıştır).

Şekil 3,  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$  and  $10^{-2}$  M  $C_2O_4^{2-}$  derişimlerdeki zeta potansiyel ölçümlerini göstermektedir. Zeta potansiyelin büyüklüğü ve  $pH_{IEP}$  asidik bölgede giderek daha az pozitif değerlere ve alkali bölgede daha düşük negatif değerlere doğru azalmıştır. Öyle ki, manyetitin  $pH_{IEP}$  değeri  $10^{-4}$  ve  $10^{-3}$  M  $C_2O_4^{2-}$  derişimlerinde, sırasıyla 3,8 ve 3,1'e düşmüştür. Manyetit,  $10^{-2}$  M  $C_2O_4^{2-}$  derişimde ölçülebilir bir  $pH_{IEP}$  değeri vermemiştir. Şekil 3, zeta potansiyel-pH etkileşimi desenine bakıldığında ayrıca,  $pH \geq 5$  iken zeta potansiyel değerinin okzalat derişiminden etkilenmediğini de göstermektedir. Bu durum göstermektedir ki, okzalat iyonunun adsorpsiyon miktarı manyetitin IEP değeri üzerindeki pH'larda, okzalat ve yüzey arasında bu pH'larda var olan elektrostatik itmelere bağlı olarak oldukça düşüktür.

Şekil 4,  $10^{-3}$  M  $KNO_3$  ve  $10^{-3}$  M  $C_2O_4^{2-}$  varlığında  $10^{-4}$  M ağır metal içeren çözeltilerde manyetit için gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarını göstermektedir. Her bir metal iyonu ile ortaya çıkan zeta potansiyel deseni pH 5'e kadar neredeyse aynıdır. Bununla beraber, Cu, Cd ve Pb için bu aralıktaki zeta potansiyel değeri diğerlerine göre hafifçe yüksek ölçülmüştür. İlginç biçimde manyetit  $Cd^{2+}$  varlığında herhangi bir  $pH_{IEP}$ 'ye sahip değildir.  $pH_{IEP}$  değerleri 3 ve 4 aralığındaki düşük pH değerlerine kaymıştır. pH 5'ten sonra zeta potansiyel, Cu ve Pb için görünür bir  $pH_{IEP}$  vermeden, daha negatif değerlere düşmüştür. Bununla birlikte, Co, Ni, Cd ve Zn için pH 7'de belirgin bir değer artışı ortaya çıkmıştır.

Okzalat iyonu yokluğunda (Şekil 2) ve varlığında (Şekil 4) pH neredeyse 6'dan itibaren alkali bölgeye doğru zeta potansiyelin mutlak değerindeki belirgin artıştan yalnızca manyetit değil, bu pH koşullarında manyetit yüzeyinde çökelen metal hidroksit türlerinin de sorumlu olduğu söylenebilir. İkinci  $pH_{IEP}$  değerleri manyetite değil, manyetit tanecığı üzerine çökelmiş koloidal metal hidroksit bileşimine ait olmaktadır. Çizelge 2'den izleneceği üzere, çözeltide okzalat iyonu varlığı metal hidroksitlerin zeta potansiyelini anlamlı ölçüde değiştirmektedir. Co, Ni, Cd ve Cu hidroksitler için göreceli düşük değerler ölçülmüştür. Pb için bu -38,2 mV olmuştur. Bu durum manyetitin zeta potansiyelinin neden pH ile yükseldiği ve yüksek pH'larda neden IEP vermediğini açıklamaktadır. pH 5'e ve sonra da pH 7'ye kadar zeta potansiyelin daha düşük değerlere değişimi ve her bir metal iyonu için IEP'nin daha düşük değerlere düşmesi, bu pH'larda manyetit yüzeyinin pozitif yüklü olmasına bağlı olarak, okzalat iyonunun tercihli adsorpsiyonu ile açıklanabilir. Bu pH'dan sonra zeta potansiyeldeki artışla ilgili olarak görünen odur ki, süspansiyonda ağır metal-okzalat karmaşıkları ve çözünmeyen nötr metal-okzalat türleri oluşmaya başlamakta ve bu durum zeta potansiyelin daha düşük değerlere değişimine ya da mineral yüzeyinde çökerek yüzeyin nütürleşmesine sebep olmaktadır.

Çizelge 2. Ağır metal hidroksitlerin zeta potansiyeline okzalat iyonunun etkisi (Erdemoğlu ve Sarıkaya, 2006'dan alınmıştır).

Metal	Distile su		10 <sup>-3</sup> M Okzalat çözeltisi	
	Son pH	ζ-Potansiyel, mV	Son pH	ζ-Potansiyel, mV
Ni(OH) <sub>2</sub>	10,55	34,90±1,55	10,55	-3,89±0,88
Co(OH) <sub>2</sub>	10,60	18,08±1,07	10,58	4,73±0,90
Cu(OH) <sub>2</sub>	10,55	-16,60±1,35	10,56	-7,19±0,92
Zn(OH) <sub>2</sub>	10,65	-21,28±1,68	10,75	-22,12±1,87
Cd(OH) <sub>2</sub>	10,56	-6,48±1,78	10,58	-7,43±1,55
Pb(OH) <sub>2</sub>	10,59	38,81±2,08	10,75	-38,20±2,11

Hafif alkali manyetit–su sistemlerinde okzalat gibi “kompleksleştirici” bir organik anyon bulunduğunda, manyetit yüzeyi adsorplayacak metal katyonu bulamayacaktır. Çünkü çözeltideki metal iyonları okzalatla kompleks oluşturduğundan, süspansiyonda serbest metal iyonu bulunmamaktadır.

Okzalat iyonu ile birinci hidroliz,  $pK_{ox}$  (metal bağlama) değeri artarsa, bağlanmanın büyüklüğü de artmaktadır. Pb, Cu, Zn, Ni, Co ve Cd'un hidroliz sabitleri, sırasıyla şöyledir: 5,4 (Burns ve ark., 1999); 4,87 (Davila-Jimenez ve ark., 2003); 3,9 (Donkova ve ark., 2004); 4,7; 4,7 ve 3,9 (Burns ve ark., 1999); 2,75 (Davila-Jimenez ve ark., 2003). Öyle ki, Pb en yüksek  $pK_{ox}$ , değerine sahip olarak en fazla miktarda uzaklaşırken, en düşük  $pK_{ox}$ , değerine sahip Cd, Ni, Co ya da Cu'dan daha az miktarda uzaklaşacaktır. Sonuçta, pH'a ve ayrıca organik ligandların türüne ve derişimine bağlı olarak, mineral çözünme miktarı ve yüzey yükünün büyüklüğü artabilir veya azalabilir. Benzer şekilde, zeta potansiyel ölçümleriyle belirlendiği kadarıyla, mineral yüzeylerine ağır metallerin adsorpsiyonu, ligandların varlığına bağlı olarak, bastırılabilir veya artırılabilir.

#### 4. SONUÇLAR

Doğal manyetit, pH 5' kadar asidik sularda pozitif, bu pH'dan yüksek alkali sularda ise negatif yüzey yüküne sahiptir. Yüksek değerlikli katyonlar yüzeye özgün olarak adsorplanmakta ve zeta potansiyeli düşük değerlikli katyonlarınkine göre  $Al^{3+} > Mg^{2+} > Na^+$  sırasında değiştirmektedirler. Ağır metal iyonlarının varlığında manyetitin zeta potansiyeli, hızlı bir koagülasyon oluşturacak kadar sifıra yakın değerlere düşmüştür. Alkali sulu çözeltilerde ağır metal iyonlarının yüklü türlerinin adsorpsiyonu ile birlikte metal hidroksitlerin manyetit yüzeyinde çökmesi manyetitin

yüzeý yükünde etkili olan temel mekanizmalardır. Okzalát iyonunun manyetit yüzeyine tercihli adsorpsiyonuyla, yani okzalát iyonunun yüzeydeki demir iyonlarıyla kompleksleşmesi sonucu mineral yüzeyindeki pozitif yüklerin nötrleşmesiyle ve yüzeyi negatif zeta potansiyelli duruma getirerek manyetit yüzey yükü, özellikle düşük pH'larda, belirgin biçimde değişmiştir.

## KATKI BELİRTME

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BAPB 2002-03 Nolu Proje ile finansal olarak kısmen desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Anastassakis G.N., 1999. A study on the separation of magnesite fines by magnetic carrier methods. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 149, 585-593.
- Burns, C.A., Cass, P.J., Harding, I.H., Crawford, R.J., 1999. Adsorption of aqueous heavy metals onto carbonaceous substrates. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 155, 63-68.
- Davila-Jimenez, M.M., Elizalde-Gonzales, M.P., Geyer, W., Mattusch, J., Wennrich, R., 2003. Adsorption of metal cations from aqueous solution onto a natural and a model biocomposite. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 219, 243-252.
- DeBruyn, P.L., Agar, G.E., 1962. Surface chemistry of froth flotation. In: *Froth Flotation 50<sup>th</sup> Anniversary Volume*, Ed. D.W. Fuerstenau, New York: 91-139.
- Donkova, B., Pencheva, J., Djarova, M., 2004. Influence of complex formation upon inclusion of Mn(II), Co(II), Ni(II), and Cu(II) in  $ZnC_2O_4 \cdot 2H_2O$ . *Crystal Research and Technology* 39, 207-213.
- Erdemoğlu, M., 2007. Zeta potential of pyrophyllite in aqueous solutions of alkaline and alkaline earth cations and low-molecular-weight organic anions. *Journal of Dispersion Science and Technology* 28(5), 689-695.
- Erdemoğlu, M., Sarıkaya, M., 2006. Effects of heavy metals and ozalate on the zeta potential of magnetite. *Journal of Colloid and Interface Science* 300, 795-804.
- Feng, D., Aldrich, C., Tan, H., 2000. Removal of heavy metal ions by carrier magnetic separation of adsorptive particulates. *Hydrometallurgy* 56, 359-368.
- Fuerstenau, D. W., Pradip. 2005. Zeta potentials in the flotation of oxide and silicate minerals. *Advances in Colloid and Interface Science* 114-115, 9-26.
- Gómez-Lopera, S.A., Plaza, R.C., Delgado, A.V., 2001. Synthesis and characterization of spherical magnetite/biodegradable polymer composite particles. *Journal of Colloid and Interface Science* 240, 40-47.
- Hu J., Lo, I.M.C., Chen, G., 2004. Removal of Cr(VI) by magnetite nanoparticle. *Water Science and Technology* 50, 139-146.

- Hunter, R. J., 2001. *Foundations of Colloid Science*, Second Edition. Oxford University Press: 482-509.
- Illés, E., Tombácz, E., 2006. The effect of humic acid adsorption on pH-dependent surface charging and aggregation of magnetite nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 295, 115-123.
- Kolarik, L.O., Dixon, D.R., Freeman, P.A., Furlog, D.N., Healy, T.W., 1980. Effects of pre-treatments on the surface characteristics of a natural magnetite. In: *Fine Particle Processing*, Vol. 1, Ed: P. Somasundaran, New York 652-665.
- Kosmulski, M., 2002. The pH-dependent surface charging and the points of zero charge. *Journal of Colloid and Interface Science* 253, 77-87.
- Kosmulski, M., Rosenholm, J.B., 2004. High ionic strength electrokinetics, *Advances in Colloid and Interface Science* 112, 93-107.
- Navratil, J.D., Tsair, M.T.S., 2003. Magnetic separation of iron and heavy metals from water. *Water Science and Technology* 47, 29-32.
- Nguyen, A.V., Schulze, H. J., 2004. *Colloidal Science of Flotation*. Marcel Dekker, Inc., New York, 850.
- Parks, G.A., 1965. The isoelectric points of solid oxides, solid hydroxides, and aqueous hydroxo complex systems. *Chemical Reviews* 65, 177-198.
- Phanapavudhikul, P., Waters, J.A., de Ortiz, E.S.P., 2003. Design and performance of magnetic composite particles for the separation of heavy metals from water. *Journal of Environmental Science and Health Part A* 38, 2277-2285.
- Plaza, R.C., Arias, J.L., Espin, M., Jimenez, M.L., Delgado, A.V. 2002. Aging effects in the electrokinetics of colloidal iron oxides. *Journal of Colloid and Interface Science* 245, 86-90.
- Prakash, S., Das, A., Mohanty, J.K., Venugopal, R., 1999. The recovery of fine ore minerals from quartz and corundum mixtures using selective magnetic coating. *International Journal of Mineral Processing* 57, 87-103.
- Pode, R., Pode, V., 2005. The utilization of magnetite based composite materials on zeolitic support for the depollution of heavy metals contaminated soils. *Revista De Chimie* 56, 423-434.
- Qiua, G., Jianga, T., Fab, K., Zhua, D., Wanga, D., 2004. Interfacial characterizations of iron ore concentrates affected by binders. *Powder Technology* 139, 1-6.
- Raju, G. B., Holmgren, A., Forsling, W., 1997. Adsorption of dextrin at mineral/water interface. *Journal of Colloid and Interface Science* 193, 215-222.
- Rao, S. R., 2004. *Surface Chemistry of Froth Flotation, Volume 1 Fundamentals*. Second Edition. Kluwer Academic/ Plenum Publisher, New York, 293-323.
- Ray, P.Z., Shipley, H.J. 2015. Inorganic nano-adsorbents for the removal of heavy metals and arsenic: a review. *RSC Advances*, 5, 29885-29907.
- Simukanga, S., Lombe, W.C., 1995. Electrokinetic properties of apatite and other minerals of Zambian phosphate ores in aqueous-solution. *Fertilizer Research* 41, 159-166.



- Sun, Z., Su, F., Forsling, W., Samskog, P., 1998. Surface characteristics of magnetite in aqueous suspension. *Journal of Colloid and Interface Chemistry*, 197, 151-159.
- Svarovsky, L., 2001. Coagulation and flocculation. In *Solid Liquid Separation*, Fourth Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, 576.
- Viota, J.L., de Vicente, J., Durán, J.D.G., Delgado, A.V., 2005. Stabilization of magnetorheological suspensions by polyacrylic acid polymers. *Journal of Colloid and Interface Science*, 284, 527-541.
- Virkutyte, J., Sillanpää, M., Latostenmaa, P., 2002. Electrokinetic soil remediation-critical overview. *The Science of the Total Environment* 289, 97-121.
- Yuhua, W., Jianwei, R., 2005. The flotation of quartz from iron minerals with a combined quarternary ammonium salt. *International Journal of Mineral Processing* 77, 116-122.

# Olivin Flotasyonuna İnorganik Kontrol Reaktiflerinin Etkisi

## *Effect of Inorganic Modifying Agents on Olivine Flotation*

T. Güler

*Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Muğla*

S. Aktürk

*Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fizik Bölümü, Muğla*

**ÖZET** Olivin, ağır metal içeren atıkların temizlenmesinde kullanılacak önemli bir endüstriyel hammaddedir. Ağır metal giderimi gibi çevresel uygulamalarda kullanılacak olivinin Cr içeriğinin %0,1'den az olması istenir. Bu çalışma, olivin cevherinden Cr temizlenmesine inorganik kontrol reaktiflerinin etkisi belirlemek için yapılmıştır. Kuvvetli asit ortamda (pH 3) cevher yüzmemiş, pH 11'de ise cevherin yaklaşık %18'i köpükte alınmıştır. Ara pH değerlerinde ise cevherin önemli kısmı köpük fazında kazanılmıştır. Fakat Cr spesifikasyonunu sağlayan ürün alınamamıştır. Kontrol reaktifi olarak  $Fe^{+3}$ ,  $Cu^{+2}$  ve  $Pb^{+2}$  test edilmiş. Kontrol reaktifleri pH 5.5 ve 11'de, genel olarak yüzen ürün oranını düşürmüşlerdir.  $Pb^{+2}$  iyonunun etkili bir kontrol reaktifi olmadığı gözlenmiştir. Cr tenörü,  $Fe^{+3}$  iyonu ile pH 5,5'de,  $Cu^{+2}$  iyonu ile pH 11'de %0,1'in altına düşürülebilmektedir. Deney sonuçları, alt akım Fe tenörünün alkali pH'da ek temizleme flotasyonu ile düşürülebileceğini ortaya koymuştur. Dolayısıyla magnezyumca zengin düşük kromlu köpük elde edilirken, batan ürün de metalurji sektöründe değerlendirilebilir.

**ABSTRACT** Olivine is an important industrial raw material for beneficiation of heavy metal contaminated wastes. Cr-content of olivine for environmental applications like removal of heavy metal should be lower than 0.1%. This study was conducted to determine the effect of inorganic modifying agents on Cr rejection from olivine. Ore sample did not float at pH 3 while about 18% of feed was recovered in froth at pH 11. Reasonable rate of sample was taken in froth between these two pHs. But, any product satisfying Cr-specification could not be

recovered.  $Fe^{+3}$ ,  $Cu^{+2}$  and  $Pb^{+2}$  ions were tested as modifying agents. In general, modifiers decreased the rate of floated fraction at pH 5.5 and 11.  $Pb^{+2}$  ions were found to be ineffective modifier. Flotation product having Cr-grade lower than 0.1% could be obtained at pH 5.5 with  $Fe^{+3}$ , and at pH 11 with  $Cu^{+2}$ . Experimental results exhibited that Fe-grade of underflow stream could be reduced by additional cleaning stages. Thus, Mg-rich froth product having low Cr-grade could be obtained while underflow stream could be evaluated in metallurgical areas.

## 1. GİRİŞ

Olivin ( $(Mg,Fe)_2SiO_4$ ),  $Mg^{+2}$  ve  $Fe^{+2}$  silikatlardan oluşmuş bazik ve ultrabazik kayalarda bulunan bir ortosilikat mineral grubudur. Aşındırıcı, elektrikli ısıtıcı, balast, kaya yünü, gübre, astar boya üretimi, agrega, cam sanayi gibi çok sayıda endüstriyel tüketim sahası olmakla birlikte üretimin büyük bir kısmı demir-çelik endüstrisinde kullanılmaktadır. Günümüzde farklı endüstri dallarındaki hızlı gelişme sonucu çevresel kaygıların artmasıyla olivinin birçok yeni uygulama alanı ortaya çıkmıştır. Atık sulardeki biyolojik bileşenlerin ve ağır metallerin giderimi, asit maden drenajının ve atık asitlerin nötralizasyonu ve karbondioksit depolanması, olivinin önemli çevresel uygulamalarıdır (Acar, 2003; Haug, 2010; Kleiv ve Thornhill, 2011).

Olivin zenginleştirilmesi konusunda sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Bunların önemli bir kısmı kromit zenginleştirilmesi ve olivinli gang kısmın uzaklaştırılması üzerinedir. Kromit-olivin ayrımı konusundaki çalışmalar, sarsıntılı masa ile zenginleştirme parametreleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Sarsıntılı masa ile ağır olan kromit ( $4,1-4,9 \text{ gr/cm}^3$ ) hafif olan olivinden ( $3,2-3,3 \text{ gr/cm}^3$ ) belirli bir verim ile ayrılabilmiştir (Kıdıman, 2009; Seifelnasr ve ark, 2012). Fakat olivin ve kromit yoğunlukları arasındaki farkın düşük olması nedeniyle hem konsantre kromit, hem de artık olivin açısından belirli tenör ve verim değerlerinin üzerine çıkılamamıştır.

Kromit cevherlerinin manyetik ayırma ile zenginleştirilmesi üzerine de çalışmalar yapılmıştır. Genel formülü  $Cr_2O_3-FeO$  olmakla birlikte spinel bir metal oksit olan kromitte,  $Cr^{+3}$  yerine  $Fe^{+3}$  ve  $Al^{+3}$ ,  $Fe^{+2}$  yerine  $Mg^{+2}$  geçmesi mineralin manyetik duyarlılığını önemli oranda etkilediğinden manyetik zenginleştirme ile ayırma işleminde de nispeten etkin bir ayırım gerçekleştirilse de belirli tenör ve verim değerlerinin üzerine çıkılamamıştır (Grishin ve ark, 2000; Kıdıman, 2009; Kleiv ve Thornhill, 2011). Endüstrinin çevresel etkilerini gidermek amacıyla kullanılacak yüksek saflıkta olivin üretmek için Kleiv ve Thornhill (2011)

%0,29 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren olivin cevheri üzerinde kuru manyetik ayırma ile zenginleştirme işlemini uygulamışlardır. Manyetik zenginleştirme sonucu deney örneğinin krom içeriğini %55 oranında düşürerek %0,13 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren olivin konsantresi üretmeyi başarmışlardır. Elde edilen bu değer, konsantre Cr içeriğinin yaklaşık %0,09 olduğunu göstermektedir ki bu değer atık suların ıslahı ve diğer çevresel uygulamalar için önerilen %0,1'den azdır (NME, 2004).

Flotasyon ile olivin-kromit ayrımı üzerine yapılan çalışmalarda da temiz krom konsantresi üretilmesi ve olivinin artıkta atılması üzerine yoğunlaşmıştır. Smith ve ark (1981) olivin içeren kromit cevherinin aminlerle flotasyonun mümkün olmadığını ortaya koymuşlar. Kotlyar ve ark (1995) olivin örneklerini oksidasyona tabi tuttuktan sonra toplayıcı olarak sodyum dodesil sülfat kullanarak yüzdürme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Oksidasyonun olivin flotasyonunu etkilemediğini, kromit flotasyonunda ise pH 6-10 arasında hafif iyileşme sağladığını göstermiştir. Güney ve Atak (1997) kromit flotasyonuna oleat, modifiye yağ asidi ve alkil fosfatın etkisini karşılaştırmalı olarak incelemişler, toplayıcı türünün flotasyon verimi üzerinde nispeten etkili olduğunu, fakat kromit veriminde ciddi iyileşme olmadığını, birlikte kullanılmaları durumunda sinerjik etkiden dolayı konsantre kromit tenöründe yaklaşık %20 yükselme olduğunu bulmuşlardır.

Elektrokinetik çalışmalar, olivin yüzey şarjının sulu ortamda şartlandırma süresine bağlı olarak değiştiğini ortaya koymuştur. Yeni kırılmış olivinin tüm pH değerlerinde pozitif yüzey şarjına sahip olduğu (Fornasiero ve Ralston, 2005; Ucbas ve ark., 2014), şartlandırma süresine bağlı olarak zamanla magnezyumun iyonlaşması ile mineral yüzeyinin negatif yük kazandığı belirlenmiştir (Güney ve Atak, 1997). Özellikle Na-oleat ile kromitin olivin ve serpantinden flotasyon ile ayrılması üzerine yapılan çalışmalar, oleatın bu minerallerin zeta potansiyelini düşürdüğünü göstermiştir. Bu olay oleat anyonunun katyonik yüzey bölgelerine fiziksel olarak bağlanıp net yüzey şarjını azaltması ile açıklanmıştır (Ucbas ve ark., 2014). Alkali ortamda negatif olan kromit zeta potansiyelinin oleat ilavesi ile daha düşük değerlere inmesi ise kimyasal adsorpsiyon ile ilişkilendirilmiştir (Allesse ve ark., 1997; Güney ve Atak, 1997; Ucbas ve ark., 2014). Nafziger (1982) oleatın kromiti pH 3-11 arasında yüzdürdüğünü, serpentin yüzebilirliğini ise ancak zayıf bir şekilde etkilediğini belirtmiştir. Güney ve Atak (1997) olivinin sulu ortamda şartlandırma süresinin elektrokinetik davranışına etkisinden dolayı flotasyon sonuçlarının tekrarlanabilirliğinin düşük olduğunu ve oleatın, olivinin kromitten seçici ayırımında uygun bir toplayıcı olmadığını ileri sürmüşlerdir.

Bu zamana kadar yapılan flotasyon çalışmaları, yüksek saflıkta olivin konsantresi için kromit-olivinin ayırımında farklı kontrol reaktifi kullanımı

gerekliliğini göstermektedir. Kromit flotasyonunda genel uygulama, kromitin yüksek tenörle serpantinden ayrılarak konsantrede kazanılabilirliğine yoğunlaşmış, atığın kromit içeriği verimle ilişkili olarak ikinci planda tutulmuştur. Bu çalışmalarda CMC,  $H_2SiF_6$ ,  $Na_2SiF_6$ ,  $Na_2SiO_3$ , EDTA, nişasta, dekstrin, vb. kontrol reaktiflerinin etkisi incelenmiştir. Gallios ve ark (2007) oleat flotasyonu ile olivin ve serpantin kromitten ayrımı üzerine yaptıkları çalışmada CMC, EDTA ve dekstrinin alkali pH'da kromiti bastırdığını,  $H_2SiF_6$  ve EDTA'nın ise hafif asit ortamda canlandırıcı etki sergilediğini deneysel olarak belirlemişlerdir. Alesse ve ark (1997) oleik asitle kromit flotasyonunda seçiciliği sağlamak için EDTA kullanımını, gang minerali olarak olivin ve serpantin içeren üç farklı cevher örneği üzerinde araştırmışlar, %75 verimle yüksek tenörlü kromit konsantresi elde etmişlerdir. Sobieraj ve Laskowski (1973)  $Al^{+3}$  iyonunun kromit flotasyonunu etkilediğini, hafif asit ve nötr ortamda bastırdığını, alkali ortamda ise aktive ettiğini açıklamıştır. Bu durum Al-hidroksitlerin duraylılık bölgeleri ile açıklanmıştır. Nafziger (1982)  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$  ve  $Fe^{+3}$  iyonlarının kromiti bastırdığını ve serpantin yüzeyliliğini etkilemediğini belirtmiştir. Fornasiero ve Ralston (2005)  $Cu^{+2}$  ilavesi ile lizardit zeta potansiyelinin daha pozitif olduğunu belirtmiştir.

Olivin, çözünürlüğü nedeni ile endüstriyel atıkların zararsız hale getirilmesinde önemli bir potansiyele sahiptir. Sanayinin hızla gelişmesi, ağır metal kirlenmesi nedeniyle çevresel kaygıların artması temiz olivin üretimine ilgiyi artırmıştır. Önceki çalışmalarda, ağır metal giderimi için olivinin önemli bir potansiyel olabileceği ve bu amaçla kullanılacak olivinin Cr içeriğinin %0,1'den az olması gerektiği ortaya konulmuştur (Kleiv ve Thornhill, 2011; NME, 2004). Bu çalışmada Muğla-Köyceğiz yöresinden alınan olivin cevherinden Cr'un oleat flotasyonu ile uzaklaştırılmasında metal iyonlarının etkisi araştırılmıştır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

Olivin örneği Muğla/Köyceğiz yöresinden temin edilmiştir. Cevher örneğinin mineralojik ve kimyasal karakterizasyonu mikroskopik inceleme, XRD, SEM-EDS ve XRF analizleri ile yapılmıştır. Mineralojik analiz, cevher ana bileşeninin olivin ( $(MgFe)_2SiO_4$ ) ve forsterit ( $Mg_2SiO_4$ ) olduğunu ortaya koymuştur. Cevher örneğinde tespit edilen diğer mineraller, kromit ( $Cr_2O_3-FeO$ ), ortopiroksen grubundan enstatit ( $Mg_2Si_2O_6$ ), klinopiroksen grubundan augit ( $(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al)_2O_6$ ) ve olivinin alterasyonu sonucu serpantinleşme sürecinde ilk oluşan mineral olan lizardittir ( $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ ).

Örnek, laboratuvarlarımızda çeneli kırıcı ve çubuklu değirmen ile -212µm boyutuna indirilmiştir. Öğütme işlemi laboratuvar tipi (200x300mm) çubuklu

değirmende gerçekleştirilmiştir. İnce boyuttaki kısmın flotasyon üzerine olası olumsuz etkisini önlemek ve ön-zenginleştirme yapmak için -38 µm boyutundaki kısım laboratuvar tipi elek ile kuru eleme yapılarak ayrılmıştır.

Flotasyon deneyleri, Denver tipi kendinden havalandırılmalı laboratuvar tipi flotasyon cihazı ile yapılmıştır. Tüm deneylerde pervane dönüş hızı 1100 rpm uygulanmıştır. Flotasyon deneylerinde toplayıcı reaktif olarak Na-oleat kullanılmıştır. Oleik asit ve analitik saflıkta NaOH uygun deney koşullarında etkileşime tabi tutularak Na-oleat hazırlanmıştır. Köpürtücü reaktif olarak metil izobutil karbinol (MIBC) kullanılmıştır. Flotasyon deneylerinde kontrol reaktifleri olarak üç farklı inorganik reaktif ( $Pb(NO_3)_2$ ,  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ,  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ) test edilmiştir. Pülp pH değeri NaOH ve  $H_2SO_4$  ile ayarlanmıştır. Deneyler, 500 g/t toplayıcı, 100 g/t köpürtücü ve 1000 g/t kontrol reaktifleri ile yapılmıştır. Toplayıcı reaktifin kondisyonlama süresi 3 dakika, kontrol reaktiflerinin ise 5 dakika uygulanmıştır. Kondisyonlama sonrası köpürtücü reaktif flotasyon hücresine eklenerek hava vanası açılmıştır. Flotasyon hücresinden 3 dakika süreyle köpük alınmıştır. Flotasyon ürünlerinin kimyasal kompozisyonuna bakılmaksızın deney sonucunda köpük fazında alınan ürün konsantrasyonu, hücrede kalan batan ürün ise artık olarak tanımlanmıştır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

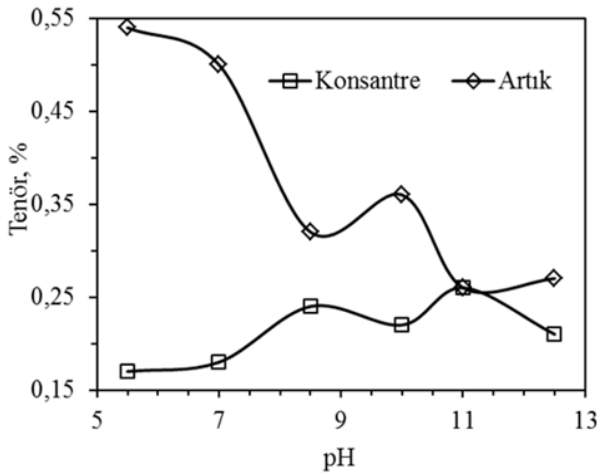
Bu çalışmada Na-oleat ile olivin flotasyonuna inorganik kontrol reaktiflerinin etkisi test edilmiş, özellikle atıklardan ağır metal giderimine uygun spesifikasyonlara sahip ürün elde edilmesi hedeflenmiştir. Öncelikle ortam pH değerinin olivin flotasyonuna etkisi incelenmiştir (Çizelge 1). Asit ortamda olivin yüzmemiş, pH 3'te köpük fazında kazanılan konsantrasyon miktarı ihmal edilebilecek düzeyde kalmıştır. Yüzen kısmın da hidrofobluktan ziyade su ile sürüklenme sonucu köpük fazında kazanılmış olabileceği düşünülmektedir (Güler ve Akdemir, 2012). Hafif asit ortamda (pH 5.5) cevherin %75,46'sı yüzmüş, pH 8,5'de en yüksek yüzen ürün oranına erişilmiş ve kuvvetli alkali ortamda yüzebilirlik hızla düşmüştür. Artık kısmın Mg ve Fe içeriği pH artışı ile artmış, Si ve Cr tenörü düşmüştür. Taranan pH aralığında Cr içeriği %0,1'in altına düşürülememiştir (Şekil 1).

Cevherin mineralojik bileşimi göz önünde bulundurulduğunda ürün Fe tenörünü olivin ve augit belirlemektedir. Kromit de Fe içermekle birlikte cevher Cr tenörünün düşük olması nedeniyle ürünlerin Fe tenörüne etkisi sınırlı olması beklenir. Ürün Si içeriğini piroksen grubu mineraller (enstatit ve augit) artırmakta, olivin ve forsterit ise düşürmektedir. Bezer şekilde Mg içeriği ise forsterit oranındaki artış ile artmakta, augit ile düşmektedir. Yapılan flotasyon deneylerinin

analiz sonuçları, yüzen ürün Fe içeriğinin, hücrede kalan kısma göre yüksek, Si içeriğinin ise düşük olduğunu göstermiştir. Yüzen ürün Fe içeriği asit ve alkali ortamda artmış, nötr ve hafif alkali ortamda düşük çıkmıştır. Si içeriğinde ise demire göre tam tersi durum tespit edilmiştir. Fe ve Si oranlarını etkileyebilecek mineraller göz önünde bulundurulduğunda, olivin hidrofofluğunun kuvvetli bazik ve asit ortamda yüksek olduğu, nötr ve hafif alkali ortamda enstatit veriminin arttığı ortaya çıkmaktadır. Konsantre Cr içeriği pH artışı ile artmakla birlikte artık ve konsantre ürün Cr içeriğinde önemli bir değişim olmamış, Na-oleat seçiciliği sağlayamamıştır. Alkali ortamda kromitin yüzebilirliğinin artması beklenmez (Kleiv ve Thornhill, 2011; Nafziger, 1982). Dolayısıyla kromit yüzebilirliğinde pH artışı ile gözlenen hafif iyileşme, bağlı tanelerle kromitin flotasyon ürünlerine taşınımı ile açıklanabilir.

Çizelge 1. Pülp pH değerinin olivin flotasyonuna etkisi (A: Yüzmeyen ürün - artık; K: Köpük fazında alınan ürün-konsantre)

pH	Ağırlık %		MgO		SiO <sub>2</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Cr	
	A	K	A	K	A	K	A	K	A	K
3,0	99,18	0,82	47,86	47,21	39,31	38,46	8,93	10,15	0,26	0,47
5,5	24,54	75,46	40,80	50,15	44,43	37,63	6,77	9,64	0,54	0,17
7,0	25,80	74,20	40,83	50,30	43,28	37,92	7,83	9,32	0,50	0,18
8,5	20,60	79,40	42,56	49,23	42,91	38,36	7,58	9,29	0,32	0,24
10,0	27,96	72,04	45,76	48,67	40,56	38,81	7,93	9,33	0,36	0,22
11,0	82,18	17,82	47,57	49,19	39,66	37,64	8,83	9,44	0,26	0,26
12,5	79,06	20,94	47,59	48,88	39,81	37,38	8,52	10,52	0,27	0,21



Şekil 1. Oleat flotasyonunda pülp pH değerinin flotasyon ürünü Cr içeriğine etkisi

Asit ortamda (pH 5,5) kontrol reaktiflerinin olivin flotasyonuna etkisini belirlemek amacıyla yapılan flotasyon deneyi sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. Oleat flotasyonu verileri ile karşılaştırıldığında, kontrol reaktifleri yüzen ürün oranını düşürmüştür.  $Fe^{+3}$  iyonu etkisi sınırlı kalırken özellikle  $Cu^{+2}$  ve  $Pb^{+2}$ , yüzebilirliği önemli oranda engellemiştir. Alkali ortamda da benzer şekilde  $Cu^{+2}$  ve  $Pb^{+2}$  iyonları konsantrasyon oranını yükseltmiş, yüzebilirliği düşürmüşlerdir (Çizelge 3).  $Fe^{+3}$  iyonu ise canlandırıcı etki göstererek köpük fazında alınan ürünü bir miktar artırmıştır.

$Fe^{+3}$  iyonu kromit yüzebilirliğini düşürmüş ve artıktaki kromit zenginleşmesi olmuştur. Fe tenörü yüzen üründe fazla olurken, hücrede kalan hidrofilik kısım tenörü spesifikasyonlara yakın çıkmıştır. Yüzen hidrofobik kısım Si içeriğinin azalması, Mg ve Fe içeriğinin artması kontrol reaktifleri olarak  $Fe^{+3}$  iyonunun piroksen grubu minerallerin yüzebilirliğini olumsuz etkilediği ve olivin ve forsterit yüzebilirliğini artırdığı sonucunu ortaya koymaktadır. Asit ortamda elde edilen ürün, magnezyumca zengin ve kromca fakir (Çizelge 2, Şekil 2) olduğundan ağır metale zengin atıkların çevreye zararsız hale getirilmesinde kullanılabilir kimyasal bileşime sahiptir (Kleiv ve Thornhill, 2011; NME, 2004). Alkali ortamda ise  $Fe^{+3}$  iyonu kromit yüzebilirliğini bir miktar düşürmüştür (Çizelge 3, Şekil 3). Fakat Fe ve Cr spesifikasyonlarını sağlayan ürün alınmamıştır. Besleme malı ile karşılaştırıldığında  $Fe^{+3}$  iyonu, ürünlerin mineralojik bileşiminde önemli farklılaşmaya neden olmamış, etkisiz kalmıştır.

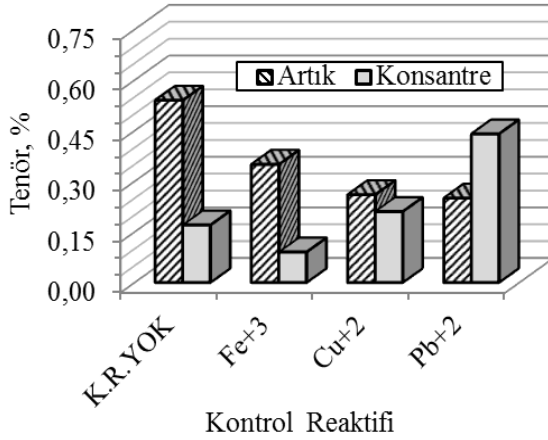
Çizelge 2. Farklı kontrol reaktiflerinin asit ortamda olivin flotasyonuna etkisi (pH 5,5)

Kontrol Reaktifi	Ağırlık %		MgO		SiO <sub>2</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Cr	
	A	K	A	K	A	K	A	K	A	K
YOK	24,54	75,46	40,80	50,15	44,43	37,63	6,77	9,64	0,54	0,17
$Fe^{+3}$	66,06	33,94	46,42	50,67	40,73	36,51	8,17	10,43	0,35	0,09
$Cu^{+2}$	96,38	3,62	47,93	45,98	39,30	39,26	8,87	10,77	0,26	0,21
$Pb^{+2}$	94,18	5,82	47,94	46,47	39,33	38,80	8,85	10,34	0,25	0,44

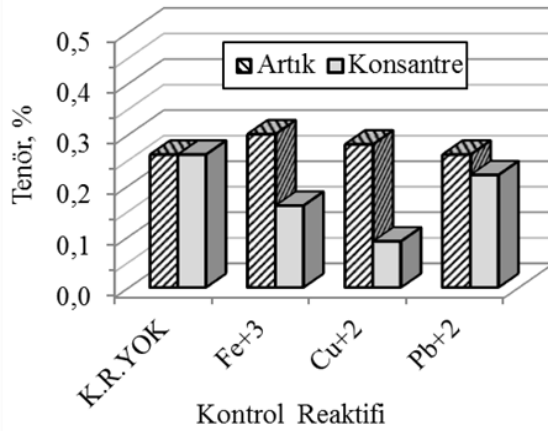
Çizelge 3. Farklı kontrol reaktiflerinin alkali ortamda olivin flotasyonuna etkisi (pH 11)

Kontrol Reaktifi	Ağırlık %		MgO		SiO <sub>2</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Cr	
	A	K	A	K	A	K	A	K	A	K
YOK	82,18	17,82	47,57	49,19	39,66	37,64	8,83	9,44	0,26	0,26
$Fe^{+3}$	72,32	27,68	47,13	49,75	39,83	37,93	8,64	9,70	0,30	0,16
$Cu^{+2}$	89,38	10,62	47,55	50,43	39,92	34,12	8,50	12,63	0,28	0,09
$Pb^{+2}$	93,56	6,44	48,12	44,07	39,27	39,71	8,91	9,39	0,26	0,22





Şekil 2. Kontrol reaktiflerinin flotasyon ürünü Cr içeriğine etkisi (pH 5,5)



Şekil 3. Kontrol reaktiflerinin flotasyon ürünü Cr içeriğine etkisi (pH 11)

$\text{Cu}^{+2}$  iyonu asit pH'da olivin flotasyonunu bastırmıştır. Artık ve konsantre ürünlerin kimyasal bileşiminin, besleme malı ile yakın değerler ortay koyması, asit ortamda  $\text{Cu}^{+2}$  iyonunun kontrol reaktifi olarak pek etkili olmadığını göstermektedir. Olivinden ziyade augitin köpük fazında daha yüksek verimle kazanılması, yüzen ürün Mg tenörünün düşmesi ve Fe tenörünün artmasına neden olmuştur. Asit ortamda  $\text{Cu}^{+2}$  iyonu ile yapılan flotasyon testlerinden Cr spesifikasyonunu sağlayan ürün alınamamıştır (Şekil 2).

Alkali ortamda  $\text{Cu}^{+2}$  iyonunun bastırıcı etkisi nispeten daha az olmuştur. Ürünlerin mineralojik bileşiminde ise kontrol reaktifi olarak  $\text{Cu}^{+2}$  iyonu, asit ortama göre alkali ortamda daha etkili ve seçici olmuştur (Şekil 3). Yüzen ürün Mg ve Fe içeriği artarken, Si ve Cr içeriği düşmüştür. Yani,  $\text{Cu}^{+2}$  iyonu, olivin ve forsteritin yüzebilirliğini iyileştirirken, piroksen grubu mineraller ile kromitin

yüzebilirliğini düşürmüştür. Kontrol reaktifi olarak  $\text{Cu}^{+2}$  iyonu kullanarak iki aşamalı oleat flotasyonu ile yüzmeyen hidrofilik kısımda demir oranının düşürülmesi durumunda, köpük fazında atık suların temizlenmesi için gerekli magnezyumca zengin ürün, hücrede kalan hidrofilik yüzmeyen üründe ise metalurjik tüketim alanlarının spesifikasyonlarına uygun ürün elde edilerek sıfır artık ile bu rezervlerin değerlendirilmesi mümkündür.

$\text{Pb}^{+2}$  iyonu,  $\text{Cu}^{+2}$  iyonuna benzer davranış sergilemiş ve yüzebilirliği önemli oranda düşürmüştür. Flotasyon ürünlerinin kimyasal bileşimi, besleme malı ile yakın değerlere sahiptir.  $\text{Pb}^{+2}$  iyonu Mg-silikat mineralleri üzerinde kontrol reaktifi olarak pek etkili olmamıştır.  $\text{Pb}^{+2}$  iyonu ilavesi ile yüzen ürün Cr tenörü özellikle asit pH'da yükselmiştir (Şekil 2-3). Köpük fazında alınan ürün Fe tenöründe de hafif artış gözlenmiş ve bu durum olivinden ziyade augit ile ilişkilendirilmiştir. Kontrol reaktifi olarak  $\text{Pb}^{+2}$  iyonu kullanımı ile Cr spesifikasyonunu sağlayan flotasyon ürünü elde edilememiştir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Na-oleat flotasyonu ile olivin cevherinden Cr uzaklaştırılarak endüstriyel atıkların temizlenmesine uygun ürün elde edilme koşulları araştırılmıştır. Kuvvetli asit ortamda flotasyon gerçekleşmemiştir. pH 5,5-10 arasında hücreye beslenen katının yaklaşık %75'i köpük fazında elde edilirken kuvvetli alkali ortamda yüzebilirlik hızla düşmüştür. Asit ve alkali ortamda Na-oleat ile olivin yüzebilirliği yüksek çıkmış, fakat flotasyon ürünlerinde Cr içeriği düşürülemez.

Kontrol reaktifi olarak  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$  ve  $\text{Pb}^{+2}$  test edilmiş, bu reaktiflerin genel olarak yüzen ürün oranını düşürdükleri tespit edilmiştir.  $\text{Pb}^{+2}$  iyonunun etkili kontrol reaktifi olmadığı gözlenmiştir.  $\text{Fe}^{+3}$  iyonu ile asit pH'da köpük fazında magnezyumca zengin ve kromca fakir ürün elde edilmiştir. Bu ürün ağır metale zengin atıkların çevreye zararsız hale getirilmesinde kullanılacak kimyasal bileşime sahiptir. Alkali ortamda  $\text{Cu}^{+2}$  iyonu kullanarak tekrarlı oleat flotasyonu ile yüzmeyen hidrofilik kısımda demir oranının düşürülmesi durumunda, köpük fazında atık suların temizlenmesi için gerekli magnezyumca zengin ürün, hücrede kalan hidrofilik batan üründe ise metalurjik tüketim alanlarının spesifikasyonlarına uygun ürün elde edilerek sıfır artık ile olivin rezervlerinin değerlendirilebileceği tespit edilmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu bildiri, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 2013/55 numaralı proje kapsamında yapılan çalışmalardan hazırlanmıştır.

## KAYNAKLAR

- Acar, B., 2003. *Olivinin Sanayiye Yönelik Kullanım Özelliklerinin Tespiti: Çayırbağı (Konya) ve Kızıldağ (Akseki) Olivinleri*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Alesse, V., Belardi, G., Freund, J., Piga, L., Shehu, N., 1997. Acidic medium flotation separation of chromite from olivine and serpentine, *Minerals and Metallurgical Processing*, 14(4), s.26-35.
- Fornasiero, D., Ralston, J., 2005. Cu(II) and Ni(II) activation in the flotation of quartz, lizardite and chlorite, *International Journal of Mineral Processing*, 76, s.75-81.
- Gallios, G.P., Deliyanni, E.A., Peleka, E.N., Matis, K.A., 2007. Flotation of chromite and serpentine. *Separation and Purification Technology*, 55, s.232-237.
- Grishin, N.N., Rakaev, A.I., Kalinnikov, V.T., 2000. Olivines of the Kola Peninsula II – Magnetic concentration of olivinites, *Refractories and Industrial Ceramics*, 41(11-12), s.444-449.
- Güler, T., Akdemir, Ü., 2012. Statistical evaluation of flotation and entrainment behavior of an artificial ore, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 22, s.199-205.
- Güney, A., Atak, S., 1997. Separation of chromite from olivine by anionic collectors, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 31, s.99-106.
- Haug, T.A., 2010. *Dissolution and Carbonation of Mechanically Activated Olivine – Investigating CO<sub>2</sub> Sequestration Possibilities*, Doktora Tezi, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway.
- Kıdım, F.B., 2009. *Düşük Tenörlü Krom Cevherlerinin Zenginleştirilmesinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kleiv, R.A., Thornhill, M., 2011. Dry magnetic separation of olivine sand. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 47, s.213-228.
- Kotlyar, D.G., Tolley, W.K., Rice, D.A., 1995. *The effect of oxidation on the flotation of chromite and associated minerals*, Report of Investigations 9575, US Bureau of Mines, Washington, 1-10.
- Nafziger, R.H., 1982. A review of the deposits and beneficiation of lower-grade chromite, *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, August, s.205-226.

- NME, 2004. *The Norwegian Waste Directive (FOR 2004-06-01 nr 930)*, The Norwegian Ministry of the Environment.
- Seifelnasr, A.A., Tamam, T., Abouzeid, A.Z.M., 2012. Gravity concentration of Sudanese chromite ore using laboratory shaking table. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 48(1), s.271-280.
- Smith, G.E., Huaitt, J.L., Shirts, M.C., 1981. *Amine Flotation of Chromite Ores from the Stillwater Complex*, Montana. USBM RI 8502, 11 s.
- Sobieraj, S., Laskowski, J., 1973. Flotation of chromite, *Trans. Instn Min. Metall. Section C*, 82(805), s.C207-C213.
- Ucbas, Y., Bozkurt, V., Bilir, K., İpek, H., 2014. Concentration of chromite from tailings using magnetic carrier, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 50(2), s.615-630.

# Mermer Ocak Artıklarının Farklı Endüstri Alanlarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması

## *The Investigation of Usability in Different Industrial Areas of Marble Pit Mining Waste*

Y. Umucu, T. Tunay

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta*

**ÖZET** Mermer atık/artık malzemelerin endüstriyel olarak kullanılabilirlik olanaklarının sağlanması şüphesiz konu üzerine yürütülebilecek Ar-Ge çalışmaları ile mümkün olabilecektir. Bu bağlamda elde edilecek bulgular, ülke ekonomisine yüksek katma değer sağlayacak ürün türevlerinin geliştirilmesine alt yapı oluşturacağı gibi, sektörel alanda atık/artık olarak nitelenen malzemelerin gerçekte ekonomik birer endüstriyel ana ve/veya ikincil hammadde kaynakları olabilme potansiyelini de ortaya koyabilecektir. Endüstriyel uygulamalar bağlamında mermer atıkları standartlara uygun prensipler dâhilinde yeterli Ar-Ge faaliyetleri yapıldığında gıda sektöründen, ilaç sektörüne, inşaat sektöründen ziraat sektörüne, enerji sektöründen nano teknoloji ürünlerine kadar birçok alanda kullanım yeri bulabilme potansiyeline sahip olduğu bilimsel bir gerçektir. Bu çalışmada Isparta il sınırları içerisinde bulunan mermer ocağı işletme ve hafriyat sahasından alınan numuneler için kimyasal ve renk analizleri yapılarak sektörel alanlarda kullanılabilirliği ortaya konmuştur.

**ABSTRACT** To ensure the availability of industrial facilities of Marble waste / waste material, there is no doubt on the subject that it will be possible with R&D activities. Obtained findings in this context, to provide high added value to the national economy will create infrastructure for the development of derivative products, such as sectoral areas which is described as waste/waster materials will be fact in economy in terms of the main industrial and/or the potential of the secondary material resources. In the context of industrial applications, if enough R&D activities taken place in accordance with the standard principles within the

marble waste, from the food industry to pharmaceutical industry, from construction sector to agriculture sector and from energy sector to the product of nanotechnology products, the products in many areas where it has been the potential to find a scientific fact. In this study, for samples taken from the operating and excavation areas in the marble quarries located in the province of Isparta, chemical and color analyzes are performed and demonstrated its availability in the sectoral areas.

## 1. GİRİŞ

Birçok ülkede olduğu gibi Türkiye'de de, Madencilik Sektöründe Endüstriyel Hammaddelerin üretim değeri Metalik Madenlerin üretim değerlerini oldukça geride bırakmıştır. Sanayileşmiş ülkeler Endüstriyel Hammadde yataklarını üretime açmakla İlerlemeye başlamışlardır.

Ülkemizde ve yurt dışında mermere olan talep hızla artmakta ve bunun sonucu olarak mermer sektörü ile uğraşan işletmelerin de sayısının artmasına neden olmaktadır. Bu işletmelerin büyüklüğü ve yoğunluğuna bağlı olarak çamur ve parça mermer atıklar açığa çıkmaktadır. Mermer atıklarının kullanılabilir tarım arazilerine boşaltılması çevre, sağlık ve doğal görünümüne bozucu etki yapmakta ve çevrecilik açısından olumsuz bir tepki oluşturmaktadır. Bununla birlikte, ocak ve işletmelerde yapılan üretime göre, oluşan atıkların miktarları %75'lere ulaşmaktadır. Bu nedenle mermer atıklarının değerlendirilmesi konusunda bulunabilecek seçenekler, mermer fabrika işletmecilerine, ülke ekonomisine, çevre ve ekolojije önemli katkıda bulunacağı düşünülmüştür. İşletmelerden açığa çıkan parça atıklar, paletyen (işlenmiş kırık mermer parçası) olarak kısmen döşeme ve dolgu malzemesi olarak kullanılsa da, genellikle fabrika çevresinde görünümü bozuk büyük yığınlar oluşturmaktadır. Bazı büyük ölçekli fabrikalarda bu atıklar kırıcılardan geçirilerek dolgu malzemesi şeklinde maliyetine ancak verilebilmektedir.

Mermer çamur, parça atıkları ve pasa sahasında bulunan molozlar değerlendirmeyi bekleyen ve büyük hacim kaplayan endüstriyel malzemelerdir. Bunların kazanılması, ülke ekonomisine büyük katkılar sağlayacaktır. Ancak şimdiye kadar küçük çaplı kullanım ve denemeler yapılsa da yüksek miktarda tüketim sağlayan herhangi bir sektör olmamıştır. Özellikle mermer atıkları içerisindeki mineralojik yapılarından kaynaklanan istenmeyen empirüteler gibi safsızlıklar nedeniyle çok fazla kullanılamamıştır.

Ülke kaynaklarının verimli olarak kullanılması ancak atıkların geri dönüşümünün sağlanması ile mümkündür. Bu şekilde ekonomiye de büyük bir katkı sağlanacaktır. Bir maddenin hammaddelerden yola çıkarak üretilmesinin, geri dönüşümü sağlamış maddelerden üretilmesinde daha ekonomik olduğu zaten bilinmektedir. Atıkların yeniden kullanımı yalnız hammadde kaynaklarının verimli kullanılması açısından değil ülkemizde sıkıntısı çekilen enerjinin kaynaklarının da verimli kullanılmasını sağlayacaktır.

Mermer ocak işletmelerinde en önemli konu ocağın blok verimidir. Blok verimi, ocağın ekonomik durumunu gösterir. Ocak verimi, ocaktan alınan blok miktarının, ocaktan çıkarılan toplam malzeme miktarına oranıdır. Mermer ocaklarında ortalama olarak, üretimin % 90-95'i mermer artığı olarak atılmaktadır. Mermer ocaklarında blok alınmasını sınırlayan en önemli unsur mermer yatağındaki kırık ve çatlakların durumudur. Bu tür mermer atıklarının miktarına, ocağın jeolojik yapısının yanı sıra yanlış üretim metodu uygulamak da sebep olabilir. Ocaklarda mermer atıklarının oluşmasına sebep olan bir değer etkende sayılabilir. Ocakların tektonik yapısına uygun olarak elde edilen çok büyük şekilsiz kütleler çeşitli yöntemlerle istenilen ebatlarda alt, üst ve yanlarından kesilirler. Kesim sonucu ortaya çıkan bu artıklar ve blok elde edilmesi sonucu oluşan diğer tüm artıklar bir tarafta biriktirilir. Genel olarak pasa adı verilen bu artıklar yükleyiciler vasıtasıyla kamyonlara yüklenerek pasa döküm sahasına dökülür ve yığın oluşturulur (Çelik vd., 2003).

Yukarıda belirtilen tüm nedenlerin yanı sıra mermer ocak ve fabrikalarından kaynaklanan kalsiyum karbonatlı atıkların tekrar ekonomiye kazandırılması için yapılması gerekenler nelerdir sorusu bu çalışmanın amacını belirlemektedir. Her türlü kazanımların bilimsel test ve deneylerle ortaya konularak, yapılması planlanan herhangi bir yatırım projesine ön ayak ve fikir rehberliği yapabilecek olması çalışmanın amaçları arasındadır.

## **2. KALKER-KİREÇTAŞININ KULLANIM ALANLARI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Kalker kalsiyum karbonat olup yeryüzünde oldukça yaygındır, Türkiye'de hemen hemen her jeolojik yaştaki formasyonlarda rastlanmaktadır. Karasal veya denizsel oluşumlu olur. Genellikle  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  içerir. Yoğunluğu ortalama  $2,50-2,70 \text{ gr/cm}^3$ 'dir. Kalker, çimento, cam, kâğıt, şeker Sanayinde metalürji de, inşaat sektöründe, kimya sanayinde, yağ, soda, gübre, lastik yapımında da kullanılır.

### a) Çimento İmalat Sektörü

Çimento; CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve eser halde MgO ihtiva eder, esas itibariyle kalker ve kil karışımı olan, klinkerleşme sıcaklığına kadar ısıtıldıktan sonra, gerektiğinde alçı, vb. katkı maddeleri karıştırılıp öğütülerek toz halinde elde edilen bir malzemedir. En önemli özelliği %11-15 su ile karıştırıldığı zaman belli bir süre sonra sertleşerek karışımdaki diğer malzemelerin birbirine bağlanmasını sağlar.

Çimento sanayinde her ne kadar çok miktarda CaCO<sub>3</sub> bileşimli hammaddeler kullanılırsa da, mermer sadece beyaz Portland çimentosu yapımında kullanılmaktadır. Normal portland çimentosu bileşimindeki kalker yerine hammadde olarak mermer, kil yerine de kaolen kullanılmasıyla beyaz portland çimentosu elde edilmiş olur (Çelik, 1996).

Kavas vd., (2001), yaptıkları çalışmada, Afyon bölgesi mermer atıklarının portland kompoze çimentosu üretiminde katkı maddesi olarak kullanım olanaklarını araştırmıştır. TS 12140 standardında portland kalkerli çimento ile ilgili değerler;

CaCO <sub>3</sub>	% 75
2 günlük basma dayanım değeri	> 10 N/mm <sup>2</sup>
28 günlük basma dayanım değeri	> 32,5 N/mm <sup>2</sup> olarak verilmiştir.

% 3, % 6 ve % 9 oranında mermer tozu katkı oranları ile hazırlanan çimento örnekleri ile yapılan testler sonucunda, şahit numuneye en yakın değerlere % 3 mermer tozu katkılı numunede ulaşılmakla beraber, tüm numunelerin basma dayanım değerleri ilgili standardı karşılayacak şekilde çıkmıştır.

Mermer atıklarının Kalsiyum Alüminalı (CA, CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) çimento üretiminde bir hammadde olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı çalışmada, Afyon bölgesinde üretim yapan farklı mermer işleme tesislerinin toz atıklarının aynı miktarda katılımıyla oluşturulan numunelerden farklı oranlarda kullanılarak üç değişik reçete hazırlanmıştır. Bu reçetelerden üretilen üç farklı kalitede (düşük, orta ve yüksek) Kalsiyum Alüminalı (CA) çimento üzerinde standart çimento deneyleri olan kimyasal analiz, yoğunluk, incelik (blaine), priz başı ve sonu ile 6 ve 12 saat sonrası basma dayanımı gibi deneylerin yanı sıra XRD, DTA ve SEM analizleri yapılmıştır. Sonuçlar uluslararası refrakter çimento piyasasında önemli bir paya sahip SECAR firması tarafından piyasaya sunulan aynı sınıf CA çimentosu (Fondu, Secar51 ve Secar70) katalog değerleriyle karşılaştırılmış ve karşılaştırma sonrasında atıklar kullanılarak üretilen CA çimentolarının SECAR firması tarafından piyasaya sunulan CA çimentosu değerlerini kazandığı gözlemlenmiştir (Kavas vd, 2003).



### b) Cam sanayinde,

Magnezyum ve kalsiyumca zengin kireçtaşları kullanılır. Kalsiyumca zengin olan malzeme şişe ve pencere camı, Mg' ca zengin olanlar özel cam imalinde kullanılır. Fe oranı çok düşük Mg' ca zengin dolomitik kalkerlerde kullanılır. Bazen CaO oranı %49 a kadar düşebilir. MgO % 6'yı geçebilir, Öğütülünce 10 mesh elek üstü en çok % 2, 10-200 mesh arası % 80-90 ve 200 mesh elek altı en çok % 20 olmalıdır.

Ayrıca cam sanayinde kullanılacak kireçtaşları şu özellikleri taşıması gerekir;

- CaCO<sub>3</sub> %98,5
- FeO %0,20
- Organik madde %0,30
- Bakiye silikat %1,00

### c) Kâğıt sanayi,

Mermer tozlarının, kâğıt üretiminde, dolgu ve kaplama malzemesi olarak kullanılma imkanı vardır. Burada kullanılan mermer tozlarının 2 µ altı boyutta ve % 30–98 arasında CaCO<sub>3</sub> içermesi istenmektedir. Dolgu amaçlı kullanımda CaCO<sub>3</sub> oranı, % 40–80 arasında değişebilirken ilk veya mat kaplamalarda bu oran % 60 civarındadır. Tek kat veya üst kat kaplamalarda ise 2 µ altı ve % 98 CaCO<sub>3</sub> oranı istenmektedir. Çizelge 2. de SEKA-Dalaman Kâğıt Fabrikasında kaplamada kullanılacak CaCO<sub>3</sub>'ın kimyasal ve fiziksel özellikleri gösterilmektedir.

Dünyada son teknolojik gelişmeler sonucu, kâğıt üretiminde süreç değişikliği olmuş, asit sistemden alkali sisteme geçiş başlamıştır. Asit sistemde CaCO<sub>3</sub> kullanılmazken alkali sistemde dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. Bu gelişmeler, CaCO<sub>3</sub>'a olan talebi arttırmış ve arttırmaya devam etmektedir. Dünyada birçok ülke asit sistemden alkali sisteme geçmeye hazırlanmakta ve bu yönde planlama yapmaktadır. Bu gelişme, mermer toz atıklarına, bu sektörde bir pazar oluşturmaktadır.

CaCO<sub>3</sub>, özellikle sigara kâğıdı başta olma üzere gazete kâğıdı, kaliteli dergi kâğıtları üretiminde kullanılmaktadır. Yağ emme özelliğinden dolayı matbaa mürekkebinin hızlı kurumasını sağlamaktadır. Kâğıt sektöründe dolgu veya kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. CaCO<sub>3</sub> veya MgCO<sub>3</sub>, kullanılması kâğıdın daha düzenli yanmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte CaCO<sub>3</sub> ile yapılan kâğıtlar daha dayanıklı olmaktadır. Kâğıt imalatında selülozun pişirilmesi sırasında sıvının hazırlanmasında mermer kullanılmaktadır. Pişirme sıvısı, kireç taşı ile SO<sub>2</sub> arasında oluşan reaksiyon sonucu meydana gelir.

Çizelge 1. SEKA-Dalaman kâğıt fabrikasında kaplama işleminde kullanılacak  $\text{CaCO}_3$ 'ın fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikler	$\text{CaCO}_3$	>% 95
	$\text{MgCO}_3$	< % 2
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	< % 0.5
	Asitte çözünmeyen	< % 0.5
Fiziksel Özellikler	Nem	< % 1
	Beyazlık	>% 95
	Sarıklık	< % 4
	Viskozite	< 700
	Aşındırma (mg)	< 25
Tane Boyutu (mikron)	< 2 $\mu$	>% 80
	> 10 $\mu$	< % 2
	> 45 $\mu$	-

Türkiye’de kâğıt sektöründe 2 mikron altı % 42-44 ve kuru öğütülmüş kalsit dolguda kullanılmaktadır, hatta bazı kâğıt üreticileri 2 mikron altı %36-38 civarında kalsitler bile kullanılmaktadır. Türkiye’de kâğıt sektörü tahmini tüketimi 50.000 ton olmaktadır (DPT, 2001).

#### d) Metalürji

$\text{SiO}_2$  yönünden düşük tenörlü olması arzulanır.  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$  oranı % 0,2'nin altında olmalıdır.

#### e) Şeker sanayi

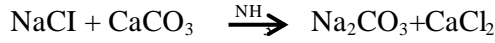
Temiz  $\text{CaCO}_3$  pancardan melasın ayrılması sırasında devreye sokulur.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  tenörü % 0,5 -1 dolayında ve  $\text{CaCO}_3$  % 95'den yukarı olmalıdır. Kalker tane boyutu 12 cm ile 18 cm arasında kırılmış olacaktır.

#### f) Kimya sanayii ve ilaç sanayii

Kalker dolgu maddesi olarak düşünür. Tarım Korumanın kullandığı kalker yumuşak (tebeşir) evsafında ve oldukça beyazdır,  $\text{FeO}$  hiç istenmez, bazen % 0,1 in altında olabilir,  $\text{SiO}_2$  oranında% 0,5'den fazla olmamalıdır, Lastik sanayii de aynı koşullar ister.

#### g) Soda sanayii

Tuz ( $\text{NaCl}$ ) ile kimyasal işlem için kalker kullanılır.  $\text{SiO}_2$  oranı az olmalı ve nispeten yumuşak olmalıdır. Basit olarak işlemi



şeklinde belirtilebilir.

### **h) Tarım ve Gübre Sanayi**

Toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri, üzerinde yetişen ürünler açısından büyük önem taşır. Toprağın katı kısmı %1,5–5 oranında organik madde ve %95–99 oranında mineral maddeleri ihtiva eder. Kalsiyum oranı toprağın yapısı bakımından etkili olduğu kadar, kimyasal nitelikleri üzerinde de etkili olduğundan toprağa yeterli bir kalsiyum düzeyi sağlaması gerekir. Doğal olarak sularla yıkanma yüzünden durmadan kireç kaybettiği için toprağa zaman zaman (3–6 yılda bir) kireçli madde vermek gerekir. Kireçle toprak ıslahı için, kalsiyumlu maddeler kullanılır. Bunlar; kalsiyum karbonat, kalsiyum oksit ve hidroksil veya dolomit gibi maddeler kullanılır (Çelik, 1996).

Önce Azotlu gübre akla gelir. Kireçtaşı veya sönmemiş kireç kullanılır. Kalker yumuşak ve temiz olmalı,  $\text{CaCO}_3$  tenörü % 98'in üzerinde  $\text{SiO}_2$  % 0,2'nin altında bulunmalıdır.

### **i) İnşaat sektörü**

İnşaat alanında mozaik, yapıtaşı, çimento, harç ve sıva olarak kullanıldığı gibi kireç elde edilen en önemli hammaddelerden birisidir. “Suni Mermer” olarak da bilinen “yer karoları”nın imalatında ana hammadde olarak doğal mermerler kullanılmaktadır. Uygun boyutlardaki mermer parçalarının bağlayıcılar ile beraber, mermer agregalı karo üretiminin temelini oluşturmaktadır. Mermer parçalarının yanı sıra %10–12 oranında, boyutu 0,5 mm'nin altında olan mermer tozu da kullanılmaktadır.

Karo imalatçıları; kullandıkları mermer parçalarını ve mermer tozunu hazır olarak diğer imalatçılardan aldığı gibi bazılarında kendi özel ocaklarında delme patlatma metoduyla mermer tozları üreterek kendi kırma ve öğütme tesislerinde boyut küçültme işlemine tabi tutulmaktadır.

Mermer toz atıklarının derz dolgu malzemesi (fuga) üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla yapılan çalışmada bu atıklarda bulunması gereken özellikler olan, tane boyut dağılımı, kimyasal bileşiminin uygunluğu (yüksek  $\text{CaCO}_3$  oranı), beyazlık (yabancı madde içermeme) ve nem oranı değerlendirilmiştir. Çıkan sonuçlara göre mermer fabrikası toz atıkları, kurutma, zenginleştirme, öğütme ve boyuta göre sınıflandırma işlemlerini takiben bu sektörde kullanım alanı bulabilir (Ceylan vd, 2001).

Ünal vd., (2003) atık mermer tozu katkılı betonların donma – çözülme etkisinde mekanik özelliklerinin araştırdıkları çalışmalarında, mermerlerin fabrikada işlenmesi sırasında açığa çıkan mermer tozunun betona % 5, % 10, % 15 ve % 20 oranlarında, karışımdaki ince malzeme ile hacimce yer değiştirmek suretiyle ilave etmişlerdir. Su /çimento oranlarını 0,65 ve çimento dozajını 300 ve 350 olarak belirleyerek üretilen tüm numuneleri kalıp alındıktan 28 gün sonunda 1 hafta ile donma – çözülme deneyine tabi tutmuşlardır. Numuneler üzerinde yaptıkları su emme, ultra ses hızı ve basınç dayanımı deneyleri sonucunda, mermer tozunun betona %5 – 15 oranında ince malzeme olarak ilave edilmesiyle ve çimento dozajının 350 seçilmesiyle betonun dayanımını olumlu bir şekilde arttırdığını gözlemişlerdir.

Mermer tozu, genişmiş perlit ve bağlayıcı olarak değişik oranlarda katılan kireç – alçı malzemeler ile hazırlanan hafif yapı blokları numuneleri üzerinde uygulanan fiziksel ve mekanik testler sonucunda, kendi grubuna giren hafif beton duvar malzemeleri ile karşılaştırıldığında ekonomik şartlarda ve yeterli mekanik özellikleri sağlayan hafif duvar elemanı üretilebileceği belirlenmiştir (Demir ve Başpınar, 2003).

Mermer fabrikalarının attığı olan mermer tozunun zemin iyileştirmesi için katkı maddesi olarak düşünüldüğü çalışmada, zemin numunesi olarak kullanılan Meşelik Kilinin kuru ağırlığına göre atık mermer tozu ile belirli oranlarda karıştırılması sonucunda, artık mermer tozunun killerin şişme potansiyelini etkilediği ve zemin iyileştirmesinde kullanılabilir bir malzeme olduğu ortaya çıkmıştır (Zorluer vd., 2003).

İnşaatlarda kaba sıva, ince sıva ve hatta boya işlemlerini tek kalemde çözen hazır sıva ve macun üretiminde kullanılan kalsitin yerine mermer tozunun alçı, çimento ya da toz polimerlerle karıştırılması uygun sonuçları verdiği takdirde, bu malzemenin en büyük miktarda kullanılabileceği alanlardan biri olacaktır. İnşaat sektöründe;

- Sıva harcı karışımında,
- Dolgu malzemesi olarak,
- Mozaik üretiminde,
- Kaplama ve döşeme,
- Kireç üretiminde,
- Mıçır olarak,
- Paledyen olarak ve
- Kara ve demir yollarında, kullanım alanları bulunmaktadır (Çelik, 1996).

Önce kireç yapımına elverişli kalker düşünülmelidir. Bu kalker yumuşak ve saf olmalıdır.  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  içermemeli ve tercihen kristalize olmamalıdır. Bu sektörde kaplama elemanı olarak kullanılan mermer de temelde kalkerdir. Mermer için kimyasal yapı ikinci planda kalır.

#### **j) Seramik sanayii**

Seramik üretiminde %5–6 oranında mermer kullanılmaktadır. Seramik bünye ve sırlarında CaO olarak bünyeye alınan hammadde kaynakları genel olarak kalsit, dolomit ve mermerdir. Karışık ve kalsitli akçini çamurlarının mineralojik biçiminde %5–20 arasında  $\text{CaCO}_3$  kullanılır. Bu  $\text{CaCO}_3$  çok ince öğütülmüş mermer halinde bileşime katılır. İri taneli ve iyi dağılmamış kalsit çamur içinde hatalara yol açar. Özsüz seramik hammaddesi olan kalsit türleri, seramik çamurlarında artan sıcaklık ile birlikte gözenekliliği azalır. CaO sırdaki  $\text{SiO}_2$  ile reaksiyona girerek bir ara tabaka oluşturur. Bu ara tabaka seramik teknolojisinde çok önemlidir. CaO sır içindeki diğer oksitlerle birleşerek cam oluşumuna yardımcı olur (Çelik, 1996). Kalsit seramik sektöründe düşük oranlarda olsa da 40-100 mikron boyutlarında öğütüldükten sonra reçetelere katılmaktadır.

Aranan koşullar dış görünümü beyaz renkli parçalar halinde  $1300^\circ\text{C}$  da pişirilince tamamıyla beyaz olmalıdır. Ateş kaybı  $1000^\circ\text{C}$ 'da, en az % 40 oranında ve ana kayadaki CaO oranı % 53, MgO % 1 ve eser halde bulunmalıdır.

#### **k) Dolgu sanayii**

Daha çok kalsit tercih eder.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , MgO ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ihtiva etmeyen en az % 98  $\text{CaCO}_3$  içerikli ulaşım kolaylığı olan yataklar işletilmektedir.

#### **l) Boya Sektörü**

Boya sektöründe 1-40 mikron boyutları arasında kuru öğütülmüş kalsit kullanılmaktadır. En yaygın kalsit kullanım boyutu 5 mikrondur. İnşaat boyalarında iç ve dış kaplamada su bazlı boya sisteminde %25-30 oranında kalsit, boya içerisinde kullanılmaktadır. Türkiye'de boya sektöründe toplam olarak 80.000 ton/yıl, dünyada da yaklaşık 8 milyon ton/yıl çeşitli boyutlarda kalsit kullanılmaktadır.

#### **m) Plastik Sektörü**

Dünyada plastik ihtiyacının artması sonucu, üreticiler, kaliteyi düşürmeden maliyeti azaltmak için 1970'li yıllardan itibaren mineralleri dolgu malzemesi olarak kullanmaya başladılar. Bu minerallerden biri de  $\text{CaCO}_3$ 'dür. Ancak inorganik

malzeme olan minerallerle organik malzeme olan polimerlerin bir arada kullanımı yüzey gerilim farklarından ötürü bazı sorunlar oluşturmuştur. Bu sorunları önlemek için mineralleri kaplama yoluna gidilmiştir. Bugün yaklaşık 100 çeşit yüzey kaplama yöntemi vardır.  $\text{CaCO}_3$  için yüzey kaplaması, yaygın olarak stearik asit ile yapılmaktadır. Kaplanmış  $\text{CaCO}_3$ 'ün plastiğe getirdiği avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

- Hidrofobik yapı,
- Düşük yüzey enerjisi,
- Kolay disperse olması,
- Yüksek homojenizasyon sağlaması,
- Bazı mukavemetleri yükseltmesi,
- Daha parlak ve düzgün yüzey oluşumu sağlaması ve
- Makine aşınmalarının azalması.

Plastik üretiminde, dolgu malzemesi olarak % 45 oranında  $\text{CaCO}_3$  kullanılabilir. Ancak, bu malzemenin polimerlerde yaşanmaya sebep olan ağır metalleri içermemesi ve yüksek kimyasal saflığa sahip olması gerekmektedir. Mermer toz atıklarının plastik üretiminde kullanılabilmesi için min. % 97 oranında  $\text{CaCO}_3$  içermesi gerekmektedir.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Yapılan araştırmada mermer atığı molozların farklı endüstri alanlarına uygunluğunu araştırmak için öncelikle kimyasal analizleri, iki farklı tane boyutu fraksiyonunda (-106 mikron ve -50 mikron) renk analizi ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2. Farklı bölgelerden alınan örneklerin kimyasal analizi

Numune	CaO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	Ateş kaybı
Hafriyat Sahası	56,18	0,02	0,10	0,01	0,32	0,12	42,23
5. Kademe	56,04	0,01	0,09	0,01	0,28	0,13	42,16
4. Kademe	56,10	0,01	0,07	0,01	0,24	0,13	42,14
9. Kademe	56,24	<0,01	0,04	0,02	0,25	0,12	42,01

Elde edilen değerlere bakıldığında (Çizelge 2.) mermer ocağı pasa sahası ve işletme sahasından alınan numunelerinin genel olarak yapı kimyasalları üretimi ve sıva

malzemesi üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanılan kalker/kireçtaşı standartları ile aynı değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise her bir numuneye ait -106 mikron tane boyutu için yapılan renk analizi beyazlık, sarılık ve parlaklık açısından sonuçları Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Farklı bölgelerden alınan örneklerin -106 mikronunda renk analizi sonuçları

Numune	Ry	Rurt	G
4. Kademe	90.24	85.10	7.62
5. Kademe	87.30	81.23	9.39
9. Kademe	91.79	89.93	3.21
Hafriyat Sahası	90.24	85.13	7.63

Ayrıca numuneler için tane boyutunun renk değimindeki rolünün ortaya konması için -50 mikron tane boyutu için renk analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar çizelge 4’de sunulmuştur.

Çizelge 3. Farklı bölgelerden alınan örneklerin -106 mikronunda renk analizi sonuçları

Numune	Ry	Rurt	G
4. Kademe	91.23	87.75	4.96
5. Kademe	91.40	88.59	4.06
9. Kademe	93.79	90.55	3.21
Hafriyat Sahası	91.81	89.28	3.66

Yapılan çalışmalar sonucunda tane boyutu küçüldükçe renk ölçümlerinin döküm bilya kullanılmasına rağmen olumsuz etkilenmediğini söyleyebiliriz. Kesin bir sonuç almak için numunelerin 5 mikron tane boyutuna öğütülüp tekrar renk ölçümlerinin yapılmasında da pvc ve boya sektörünün talebini karşılama açısından büyük önem arz etmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Son yıllarda endüstriyel büyüme ve sonuç olarak artan malzeme tüketimi, doğal kaynakların hızla tükenmesine yol açmaktadır. Doğal kaynaklardan kastedilen hammadde ve enerjidir. Diğer bir taraftan artan üretim önemli bir miktarda atık oluşturmaktadır. Bu atıklar çevrenin giderek zarar görmesine yol açmaktadır. Birçok ülke ve uluslararası kuruluşlar yeni düzenlemelerle bu zararı minimize etmeye ve atıkların yeniden kullanılmasını sağlamaya çalışmaktadır.

Endüstride önemli atıklardan birini de mermer üretim sektörü üstlenmektedir. Çıkarılma esnasında, üretimde ve yüzey proseslerinde bu mineralin % 90'ı atık olarak kalmaktadır. Proses esnasındaki atık miktarı toplam bloğun % 80'nini oluşturmaktadır. Bu atık daha sonra toz haline dönüştürülerek nehir yataklarına boşaltılmakta ve yer altı su havzalarını tehdit etmektedir. Yaklaşık olarak işletmelerde % 90 mermer atığı ocaktan çıkarma esnasında boş çukurlara, yol kenarlarına, nehir yataklarına, otlak arazilere ve tarım alanlarına gönderilmektedir.

Atıkların faydalı biçimde kullanılmasını sağlamak sürdürülebilir gelişimi başarmak için çok önemli bir çevresel girişimdir. Öte yandan bilimsel araştırmalar olmadan yapılan bir geri dönüşüm tam aksine daha kötü etkilere sebep olabilir. Başarılı bir araştırma ve yenir yapı malzemesini geliştirilmesi veya atık bileşenin hammadde olarak kullanımı, teknik, çevresel, finansal, pazarlama, kanunlar ve sosyal açıdan bakıldığında çok karmaşık ve disiplinler arası bir iştir.

Artık sahalara atılan malzemelerin değerlendirilebilirliği üzerine yapılan literatür çalışmaları, mermer işleme tesis artıklarının yapı malzemesi olarak kullanımı haricinde, farklı tane boyut fraksiyonlarına indirilmiş toz artıkların, mimaride süsleme hammadde, dolgu malzemesi ve/veya tarımsal amaçlı katkı malzemesi gibi kullanımını göstermektedir.

Yapılan çalışma sonucunda mermer ocağı ve pasa sahasında bulunan numunenin yapı kimyasalları ve dolgu malzemesi üretiminde kullanılmasında bir sakınca bulunmamaktadır.

Boya ve PVC sanayii standartlarına göre mermer atıklarının kullanılması için 5 mikron tane boyutuna malzemenin öğütülmesi ve renk ve pvc, boya üretiminde aranan diğer nitelikler için gerekli test ve analizlerin yapılması gereklidir. Yapılan görüşmeler sonucunda PEN firmalarının sadece saf kalsit malzemesi kullanmadığı, yapısal farklılığı bulunan kireçtaşı malzemesi de karıştırıldığı ifade edilmektedir. Tatmin edici bir sonuç için numune üzerinde gerçekleştirilecek analiz ve test sonuçları da detaylıca irdelenmelidir.

Cam ve kâğıt sanayiinde  $\text{CaCO}_3$  %98'in üzerinde olduğu için kullanılması mümkün olmaktadır.

Metalürji dalında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oranı % 0,2'nin altında olması gerekliliği bulunmaktadır. Elde edilen kimyasal analiz sonuçlarına göre numunelerin kullanılması mümkün olabilir.

Şeker sanayinde  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  içeriği % 0,5 -1 dolayında ve  $\text{CaCO}_3$  % 95'den yukarı olmalıdır. Bu değerlere bakıldığında şeker sanayinde kullanılması mümkün olabilir.



Kimya sanayii ve ilaç sanayinde FeO hiç istenmez, bazen % 0,1 in altında olabilir, SiO<sub>2</sub> oranında % 0,5 den fazla olmamalıdır şartı aranmaktadır. Bu standartlara göre atıkların bu sektörlerde kullanılması muhtemeldir.

Gübre ve seramik sırt yapımı sanayinde CaCO<sub>3</sub> oranı sırasıyla % 98 in üzerinde ve % 96'nın üzerinde istenmesinden dolayı bu alanlarda kullanılması mümkün olabilir.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma sırasında, gerek arazi çalışmalarında gerekse diğer faaliyetlerde her türlü yardımda bulunan Tuvaçi Marble yetkililerine ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- Akbulut H, Güner C., 2007. Use of aggregates produced from marble quarry waste in asphalt pavements, *Building and Environment*, 42, 1921-1930
- Ceylan H., Saraç S., Özkahraman T., 2001. Mermer Toz Atıklarının Derz Dolgu Malzemesi (Fuga) Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem 2001) Bildiriler Kitabı*, 3-5 Mayıs 2001, Afyon.
- Çelik, vd. 2003. Mermer Ve Taş Ocaklarının Çevreye Olan Görsel Etkileri. *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu*, s.462.
- Çelik, M. Y., 1996. Mermer Atıklarının (Parça-Tozların) Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi. A.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 138 s.
- DPT, 2008. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı/Kağıt Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara.
- Demir İ., Başpınar M. S., 2001. Mermer Tozu Artıklarının (Havuz Çökeltisi) Hafif Yapı Blokları Üretiminde Kullanılması, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem'2003) Bildiriler Kitabı*, Afyon, 213-220.
- Kavas, T. and Kibici, Y., 2001. Afyon Bölgesi Mermer Atıklarının Portland Kompoze Çimentosu Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanım Olanakları, *Mersem Bildiriler Kitabı*, 327-335, Afyon.
- Kavas, T., Evcin, A., Önce, G., 2003. Afyon Bölgesi Mermer Atıklarının (şlam) Kalsiyum alüminalı Refrakter Çimento Üretiminde Hammadde Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Türkiye 4. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 363-370, Afyon.
- Ünal O., Uygunoğlu T. 2003. Atık Mermer Tozu Katkılı Betonların Donma Çözülme Etkisinde Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu*, 147-157, Afyon.
- Zorluer, İ. & Usta, M., 2003. Zeminlerin Atık Mermer Tozu ile iyileştirilmesi, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.

# Kalsit Madenciliği Triyaj Artığının Agregada Olarak ve Kireç Üretiminde Değerlendirilmesi

## *Evaluation of Triage Waste of Calcite Mining as Aggregate and in Lime Production*

M. Uçurum

*Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Bölümü, Bayburt*

Ü. Atıcı, Ö.Y. Toraman, S. Çayırılı

*Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Niğde*

**ÖZET** Her geçen gün granül ve mikronize kalsite olan talebin artmasına paralel olarak açık işletme madenciliği ile gerçekleştirilen yüksek tonajlarda tüvanan cevher üretimi ile birlikte ülkemiz kalsit rezerv kalitelerinde yer yer düşmeler kendini göstermeye başlamıştır. Bu nedenle, günümüzde üretilen tüvanan cevher, belirli bir boyuta kırıldıktan sonra elle triyaj tabii tutulmaktadır. Ancak bu zenginleştirme uygulaması sonrasında doğal olarak kalitesi düşük artık cevher açığa çıkmaktadır. Söz konusu triyaj artığının; hem ekonomiye kazandırılması hem de gelecekte daha büyük artık sahalarının oluşmaması için agrega ve kireç üretiminde kullanılması gerektiği düşünülmektedir.

**ABSTRACT** Granular and micronized calcite demand is increasing on a sectoral basis day by day. Therefore, raw ore is produced in high tonnages by using open-pit mining. Consequently, quality parameters of raw calcite have been reduced. So, raw ore is broken and is subjected to triage. In this case, naturally low quality ore has been revealed as a waste. It is believed that these triage residue should be used as aggregate and in lime sector for contributing to the economy and preventing of larger waste areas in the future.

## 1. GİRİŞ

Madencilik faaliyetleri sonucu oluşabilen çevre sorunları genel olarak iki gruba ayrılabilir; bunlardan birincisi doğrudan oluşan sorunlar olup madencilik

faaliyetinin yapıldığı alanda, binaların inşa edilmesi, pasa yağmaları ve çukurların oluşması sonucu meydana gelen sorunlar olarak ifade edilebilmektedir. İkincisi ise; dolaylı oluşan sorunlar olup madencilik faaliyeti sonucu oluşabilecek her türlü katı, sıvıartık ve gaz emisyonlarının oluşturduğu çevre sorunlarıdır. Bu sınıflandırmanın dışında, madenciliğin üretim aşamaları olan açık ve kapalı işletme, cevher hazırlama ve zenginleştirme faaliyetleri sonrasında oluşan çevre sorunları söz konusudur (Ceylan ve Özkahraman, 2000)

Endüstriyel hammaddeler, belirli bir pazara göre oluşan fiziksel (tane boyutu, boyut dağılımı, yüzey alanı, tane şekli v.b) ve kimyasal özelliklere göre üretildiğinden, çok geniş bir fiyat yelpazesi ve üretim ölçeği içinde sayısız lokal işletmeler kadar, dünya pazarlarına üretim yapan büyük kuruluşları da kapsamaktadır. Lokal işletmeler daha çok kum çakıl-agrega-tuğla-kiremit kili gibi hacmi büyük fakat fiyatı düşük ürünlerin üreticileridir. Diğer madencilik faaliyetlerinde olduğu gibi bu en büyük madencilik faaliyetinde de gelişen çevre bilinci iki yönlü etkiye sahiptir. Bir yandan daha iyi bir çevre oluşmasına katkıda bulunurken diğer yandan da yatırımcıları caydırabilmektedir. Endüstriyel hammaddeler çok geniş bir mineraller yelpazesi olduğundan, içerisinde insan sağlığına ve çevreye son derece zararlı, örneğin, asbest mineralleri ile birlikte zararsız, örneğin, agregası, kalsit, kil gibi mineralleri de içermektedir. Dolayısıyla çevre açısından endüstriyel hammaddeler için bir genelleme yapılamaz. Her endüstriyel hammadde işletmesi, çevresel açıdan kendi özel koşulları içinde ele alınmalıdır (Bayraktar, 2005).

Ülkemizdeki kalsit oluşumları, kalitesi ve rezervleri bakımından çok iyi olup bilinen rezervlerin toplamı yüz milyonlarca ton ile ifade edilebilmektedir. Bunların dikkat çeken en önemli özellikleri ise, yüksek  $\text{CaCO}_3$  yüzdesi, safsızlıklardan silis ve demir oranının çok düşük olmasıdır (DPT, 2001). Türkiye’de yapılan kalsit madenciliğinin de hepsi açık ocaklarda gerçekleştirilmektedir. Bilindiği üzere yer kabuğundan kazanılan bütün cevherlerde yıllar geçtikçe azalma ile birlikte kalite parametrelerinde de düşmeler doğal olarak kendisini göstermektedir. Ülkemiz kalsit cevherleri için öne çıkan  $\text{CaCO}_3$  yüzdesinin yüksek, silis ve demir safsızlıklarının çok düşük olması gibi pozitif özellikler, her geçen gün hammadde ihtiyacına paralel olarak artan tüvanan cevher üretimi ile birlikte azalma eğilimine girmiştir. Bu durum karşısında işletmeler ocaklarında mümkün olduğunca selektif üretim yapma yolunu tercih etmektedirler. Kalsit açık ocak madenciliğinde yıllarca selektif üretim yapılması neticesinde ocaklarda üretilmeden bırakılan ve/veya işletmeye alınmayan milyonlarca ton cevher oluşumu söz konusudur. Gerek kalsit ocaklarının daha ekonomik ve verimli çalışabilmesi için gerekse rezervlerin daha

efektif kullanımı açısından ocaklarda bırakılan bu cevherlerinde üretilerek ekonomiye kazandırılması gerekmektedir (Uçurum, 2014).

Kalsit ocaklarından üretilen kalitesi düşük cevherlerin kırma sonrası triyaj ile zenginleştirme yapılması ülkemizde bu alanda faaliyet gösteren birçok firma için zorunlu hale gelmiş durumdadır. Bu zenginleştirme işlemi neticesinde ise büyük tonajlı artık sahaları meydana gelmeye başlamıştır. Söz konusu artığın agrega ve/veya kireç üretiminde kullanılması ile birlikte kalsit sektörünün sıfır artık ile çalışma imkânı kavuşacağı öngörülmektedir.

## 2. KALSİT MADENCİLİĞİNDE TRİYAJ ARTIĞI OLUŞUMU

Ayıklama veya yabancı literatürden Türkçeye geçmiş deyimini ile Triyaj madenciliğinin ilk uygulamalarındandır. Ayıklama ister insan gücü ile elle olsun ister otomatik cihazlarla el değmeden olsun minerallerin bu ayırımı için bazı fiziksel özelliklerinden yararlanmak gerekmektedir. Bu fiziksel özellikler, minerallerin şekil ve renk gibi özellikleridir. Ayıklama nispeten iri mineral parçaları üzerinde uygulanır. Bilhassa elle ayıklamanın ekonomik olması bakımından büyük parçalar halinde değerli ve değersiz cevher parçalarının birbirinden ayrılabilmesi gerekir (Önal ve Ateşok, 1994). Minerallerin renk, parlaklık, flüoresans, radyoaktivite, özgül ağırlık ve genel görünüm farklılıklarından yararlanılarak, elle seçilerek birbirinden ayrılmasına, el ile zenginleştirme denilmektedir. Ülkemizde cevherlere uygulanan elle ayıklamaya, triyaj ve tavuklama, kömüre uygulanan da kribraj adı verilmektedir. Madenciliğinin ilk uygulamasından beri kullanılan ve en eski cevher hazırlama yöntemi olarak bilinen elle ayıklama, çağdaş teknolojide de yer almaktadır. İşçiliğinin ucuz olduğu yerlerde küçük maden işletmelerinde, nihai zenginleştirme işlemi olarak, zenginleştirme tesisleri öncesinde de iri boyutta konsantrite üretimi veya artık atmak amacıyla uygulanmaktadır. Elle ayıklamaya tabi tutulacak cevherlerde aranılan özellikler;

- Elle ayıklamaya tabi tutulacak cevherlerde, birbirinden ayrılması arzulanan mineraller arasında belirgin renk, parlaklık, şekil veya ağırlık farkı bulunmalıdır
- Elle ayıklanacak cevherdeki tane boyutu 3-30 cm arasında olmalı ve birbirine yakın boyutlarda gruplandırılarak ayrı ayrı ayıklamaya tabi tutulmalıdır
- Tanelerin iyi tanınması için, tane yüzeylerini kaplayan toz ve pislikleri uzaklaştırmak için ayıklama öncesinde cevheri yıkamak gerekir (Önal, 1978).

Ülkemizdeki mikronize ve granül kalsit üreticileri gerek yurt içi gerekse yurt dışı talepleri karşılamak için her geçen gün üretimini artırmaktadır. Bu durum ise daha fazla cevherin ocaklardan üretilmesini beraberinde getirmektedir. Ocaklardan üretilen tüvanan cevher primer kırıcılardan geçirildikten sonra el ile triyajatabi tutulmaktadır. Bu işlemde işçiler tarafından yüzeyi kirli ve kalitesi düşük kayaçlar ayıklanarak artık sahalarına gönderilmektedir. Elle yapılan bu ayıklama işleminin veriminin ve kapasitesinin düşük olmasına karşın pahalı olması ve konsantre ürünün stabil özelliklere sahip olamaması bir çok problemi beraberinde getirmektedir. Bununla birlikte, gelecekte ciddi bir sorun olarak karşımıza çıkacak büyük tonajlı artık sahaları oluşturulmaktadır. Kalsit madenciliğinde kalitesi düşük cevherlerin kırma ürünü ve bunun triyajı sonrası açığa çıkan artığa ait bir görüntü Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Triyajatabi tutulmak üzere kırılmış kalsit cevheri ve el ile triyaj sonrası oluşan artık

### **3. KALSİT MADENCİLİĞİ TRİYAJ ARTIĞININ AGREGA VE KİREÇ SEKTÖRÜNDE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yerkabuğu, çeşitli mineraller ve bu minerallerin bir veya birkaçının bir araya gelmesiyle oluşmuş kayaçlardan meydana gelmiştir. Gelişen teknoloji ve bayındırlık faaliyetlerinin hızla artması bu kayaçların çeşitli şekillerde kullanılması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu kayaçlar, özellikle nüfus artışına paralel olarak şehirleşme ve buna bağlı konut ihtiyacı, yer darlığı nedeniyle daha yüksek yapıların yapılması, otomobil endüstrisindeki gelişme sonucu beton yol, köprü gibi yapıların önem kazanması ve gelişen diğer endüstri ile artan enerji ihtiyacı ve buna paralel

büyük baraj ve su yapılarının önem kazanması sonucunda temel yapı malzemesi olarak modern günlük yaşamda çok önemli bir yer tutmaktadır. İnşaat sektöründe bu derece önem kazanan ve zemini teşkil eden bu kayaçların hem jeolojik hem de mühendislik özelliklerinin bilinmesi gerekir. Bu, zaman açısından tasarruf sağlamanın yanı sıra ulusal kaynakların ekonomik yönde kullanılmasını da mümkün kılacaktır (Esenli, 1996).

Ülkemiz kalsit rezervleri 10 milyonlarca tonla ifade edilebilen çok zengin cevherlere sahiptir. Bunların dışında henüz rezervi tespit edilmemiş Anadolu'nun hemen her bölgesinde kalsit oluşumuna rastlamak mümkündür. Bilinen rezervlerin toplamı yüz milyonlarca ton ile ifade edilebilir. Türkiye'deki kalsit rezervlerinde dikkat çeken en önemli özellikler;  $\text{CaCO}_3$  yüzdesi yüksektir, silis ve demir safsızlıkları çok düşük oranlardadır ve öğütüldükten sonraki beyazlık derecesi çok yüksektir (DPT, 2001). İnşaat sektöründe kireçtaşları çimento hammaddesi olarak, bina yapımında beton harcı katkı olarak, kireç ve sönmüş kireç genellikle harç yapımında ve karo fayans yapımında bağlayıcı madde olarak, demir yolu yapımında ray yatağı malzemesi olarak kullanılır. Ayrıca, Avrupa'da ve Amerika'da inşaat yapılacak arazinin düzeltilmesinde kireç kullanımı yaygındır (Yakut, 2001). Birçok ülkede kireçtaşının ana kullanım sahası %40-70 tüketim oranıyla inşaat yapı sektörüdür. Kireçtaşı bu sektörde beton harcında agrega (mıncır) olarak ve yol yapımında agrega/dolgu maddesi olarak kullanılır. Bu amaçla kullanılacak olan kireçtaşı; temiz, kuru, kübik formda, yüksek aşınma mukavemetine ve sertliğine sahip olmalıdır (DPT, 2008).

Yapılarda kullanılan ve taneli malzeme olarak tanımlanan agrega; doğal, yapay veya geri kazanılmış tipte olabilmektedir. Bunlardan doğal agregalar, mekanik işlem dışında herhangi bir işleme tabi tutulmamış olan mineral kaynaklardan elde edilen agregaları, yapay agregalar, ısı veya diğer uygulamaları içeren bir endüstriyel işlem sonucunda elde edilen mineral kökenli agregaları, geri kazanılmış agregalar ise önceden yapılarda kullanılmış olan inorganik malzemelerin işlemden geçirilmesi sonucunda elde edilen agregaları ifade etmektedir. Ayrıca standartta, iri ve ince agregaların karışımından oluşan agrega, karışık agrega olarak, çoğunluğu 0,063 mm göz açıklıklı elekten geçen ve yapı malzemelerine belirli özellikler kazandırmak amacıyla ilave edilen malzemeler ise dolgu agregası olarak tanımlanmaktadır. Agregaların 4 mm'den büyük boyutlu olanları iri agrega, 4 mm'den küçük boyutlu olanları ise ince agrega olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca 0,063 mm göz açıklıklı elekten geçen agrega tane sınıfı ise çok ince agrega olarak tanımlanmaktadır. (<http://www.yapitest.net>).

Kirecin hammaddesi olan kireçtaşı veya kalker, genellikle kalsiyum karbonattan( $\text{CaCO}_3$ )oluşur. İçindeki kalsiyum karbonat oranını temel olarak yapılan kalsifikasyona göre kireçtaşı cinsleri şöyle sıralanır:

1. Çok yüksek kalsiyumlu kireçtaşı (KT) :  $\text{CaCO}_3$ : min. % 97
2. Yüksek kalsiyumlu KT:  $\text{CaCO}_3$ : min. % 95
3. Yüksek karbonatlı KT: $\text{CaCO}_3+\text{MgCO}_3$ : min. % 95
4. Kalsitik KT:  $\text{MgCO}_3$ : % 5
5. Magnezyumlu KT:  $\text{MgCO}_3$ : % 5-20
6. Dolomitik KT (Dolomit) :  $\text{MgCO}_3$ , % 20 - 40
7. Yüksek magnezyumlu dolomit:  $\text{MgCO}_3$ . % 40 - 46

Kireç, en az % 90  $\text{CaCO}_3$  içeren kireçtaşının kireç fırınlarında 900-1000 °C' nin üzerinde kalsinasyonu sonucunda kalsiyum oksite ( $\text{CaO}$ ) dönüşmesiyle elde edilir. Kalsiyum oksidin ticari adı sönmemiş kireçtir ve bazen piyasada parça veya kelle kireç tabiri de kullanılmaktadır. Kalsiyum oksit, suyla reaksiyona sokulması sonucunda kalsiyum hidroksite veya ticari adıyla sönmüş kirece dönüşür. Kireçtaşı, sönmemiş kireç ve sönmüş kireçten oluşan ürün grubuna 'kireç ürünleri' adı verilir (DPT, 2001).

Yukardaki bilgiler doğrultusunda kalsit madencilğinde açığa çıkan milyonlarca ton olarak ifade edebileceğimiz triyaj artıklarının kırma+eleme işlemleri sonrasında iri ve ince agrega olarak kullanılabilmesi anlaşılmaktadır. Ayrıca Türkiye kalsit cevherlerinin  $\text{CaCO}_3$  yüzdesinin çok yüksek olması ( $\geq 98$ ) ile birlikte safsızlıklardan silis ve demir oranının çok düşük olması gibi birçok avantaja sahip olması nedeniyle, söz konusu triyaj artıklarının çok yüksek kalsiyumlu kireçtaşı (minimum %97  $\text{CaCO}_3$ ) üretiminde kullanılmasının da mümkün olduğu anlaşılmaktadır.

#### 4. SONUÇLAR

Endüstriyel hammaddeler içerisinde insan sağlığına ve çevreye en zararsız mineral olarak kalsitin ilk sıraya konulması yanlış olmayacaktır. Ancak söz konusu cevherin ocaklardan yüksek kapasitelerde üretilmesi ile birlikte yıllar geçtikçe ülkemiz kalsit yataklarının kalitesinin düşmesi kaçınılmaz olmuştur. Bunun neticesinde ise ocaklardan üretilen tüvenan cevher, kırma sonrasında triyaj işlemine tabi tutulması günümüzde işletmeler için zorunlu bir zenginleştirme halini almış durumdadır. Doğal olarak da bu işlem sonrası kalitesi düşük büyük tonajlı artık sahaları meydana gelmektedir. Bu durumun çevresel sorundan ziyade hammadde kaybı olarak değerlendirilmesi daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Kalsit

madenciliğinin sıfır artık ile çalışması bağlamında sözü edilen triyaj artığının agrega ve kireç üretiminde kullanılması hem hammadde kaybının hem de gelecekte oluşacak büyük tonajlı artık sahalarının oluşmasının önüne geçebileceği öngörülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Bayraktar, İ., 2005. Endüstriyel hammaddelerde çevre sorunları ve çözümleri, *Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, 5-6 Mayıs, Ankara.
- Ceylan H., Özkahraman H.T., 2000. Madencilik faaliyetlerinde çevresel planlama ve uygulanabilecek doğaya yeniden kazandırma alternatifleri, *Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, 23-26 May, Zonguldak-Kdz Ereğli, Türkiye.
- Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), 2001. *Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Yapı Malzemeleri (Alçı-Kireç-Kum-Çakıl-Mıdır-Boya Toprakları-Tuğla Kiremit) Çalışma Grubu Raporu*, Ankara.
- Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), 2001. *Sekizinci beş yıllık kalkınma planı, madencilik öik raporu endüstriyel hammaddeler alt komisyonu genel endüstri mineralleri, (Asbest-Grafit-Kalsit-Fluorit-Titanyum Çalışma Grubu Raporu)* 2618- ÖİK: 629, Ankara.
- Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), 2008. *Dokuzuncu 2007/2013 Kalkınma Planı, Taş ve Toprağa Dayalı Sanayiler Özel İhtisas Komisyonu Raporu* Cilt: 1 DPT: 2773-ÖİK:703, Ankara.
- Esenli V., 1996. Kırmataş hammaddeleri ve standartları, I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu'96, İstanbul -1996, ISBN 975-395-196-5.
- Önal G, 1978, Flotasyon dışındaki zenginleştirme yöntemleri; İstanbul.
- Önal G., Ateşok G., 1994. Cevher hazırlama el kitabı, Haziran, İstanbul.
- Uçurum, M. 2014. Kaplı kalsit üretimi ve ürün özellikleri, *MT Bilimsel Yer Altı Kaynakları Dergisi*, Yıl:3 Sayı: 6 Temmuz, s.1-10.
- Yakut, E., 2001. İzmir ili çevresindeki kireçtaşlarının mühendislik özellikleri ve kullanım alanlarının araştırılması. D.E.Ü. *Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, İzmir.
- [www.yapitest.net/images/stories/fruit/agregalar.pdf](http://www.yapitest.net/images/stories/fruit/agregalar.pdf) (Alınış tarihi:31.08.2015)