

MADENCİLİK

TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI DERGİSİ

THE JOURNAL OF THE CHAMBER OF MINING ENGINEERS OF TURKEY

EYLÜL-ARALIK
SEPTEMBER-DECEMBER
2014

CİLT
VOLUME
53

SAYI
NUMBER
3-4

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

- Mediha Demet OKUDAN,
Ata AKCIL,
Ayşenur TUNCUK,
Hacı DEVECİ **3** **ASİDİK VE BAZİK ORTAMDA BAYER
PROSESİ YAN ÜRÜNÜNDEN GALYUM
KAZANIMI**
*Gallium Recovery From Bayer Process By-
Product in Acidic and Basic Me*
- Eren KÖMÜRLÜ,
Ayhan KESİMAL,
Ümit ÇOLAK **13** **POLİÜRE TÜRÜ PÜSKÜRTÜLEN İNCE
KAPLAMALARIN KAYA SAPLAMALARI
PERFORMANSLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**
*Effect of Polyurea type Thin Spray-on Liners on
Rock Bolt Performances*
- Muhammed ŞENER,
Murat ERDEMOĞLU **19** **JİPSİN ISIL DAVRANIŞINA MEKANİK
AKTİVASYONUN ETKİSİ**
*Effect of Mechanical Activation on Thermal
Behavior of Gypsum*
- Alper DEMİRBUGAN **27** **DOĞAYA YENİDEN KAZANDIRMA
PROJELERİNİN FAYDA - MALİYET ANALİZİYLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**
*Appraisal of Reclamation Projects With Cost-
Benefit Analysis*

MADENCİLİK dergisi yazı dizin ve özetlerinin yer aldığı veri tabanları / INDEXED in
*IMM Abstracts, GeoRef, Aluminium Industry Abstracts, Cambridge Scientific Abstracts,
PASCAL, Chemical Abstracts, ENCOMPLIT, ENCOMPLIT2, ENERGY, Compendex*

Abone Koşulları:

Yıllık abone bedeli 100,00 TL'dir.

Subscription

Annual subscription rate is 100,00 TL. All
subscription inquiries should be made to the
correspondence address.

Banka Hesap No:

Türkiye İş Bankası Meşrutiyet Şubesi:
IBAN: TR43 0006 4000 0014 2130 008120

T.C. Ziraat Bankası Kızılay Şubesi:
IBAN: TR19 0001 0006 8539 0090 315001
Posta Çeki Hesap No: 86665

By bank transfer to (USD account)

Türkiye İş Bankası Meşrutiyet Branch,
Kızılay - Ankara
Swift Code : ISBKTRISXXX
IBAN- TR860006400000242130774805

By bank transfer to (EURO account)

Türkiye İş Bankası Meşrutiyet Branch,
Kızılay - Ankara
Swift Code : ISBKTRISXXX
IBAN- TR190006400000242130784644

ISSN: 0024-9416

MADENCİLİK DERGİSİ 2014 HAKEM LİSTESİ

LIST OF REVIEWERS FOR THE JOURNAL OF MADENCİLİK IN 2014

Prof. Dr. Ata AKÇİL	Süleyman Demirel Üniversitesi
Prof. Dr. Erhan TERCAN	Hacettepe Üniversitesi
Prof. Dr. Bahtiyar ÜNVER	Hacettepe Üniversitesi
Doç. Dr. Doğan KARAKUŞ	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Turgay ONARGAN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Fatih Bayram	Aksaray Üniversitesi
Doç. Dr. Zeki KARACA	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Prof. Dr. Muammer KAYA	Osmangazi Üniversitesi
Doç. Dr. Sezai ŞEN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Hürriyet AKDAŞ	Osmangazi Üniversitesi
Doç. Dr. Tayfun ÇİÇEK	Dokuz Eylül Üniversitesi
Doç. Dr. Çağatay PAMUKÇU	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Özcan GÜLSOY	Hacettepe Üniversitesi
Prof. Dr. Erol KAYA	Dokuz Eylül Üniversitesi
Doç. Dr. Ahmet DAĞ	Çukurova Üniversitesi
Doç. Dr. Ahmet Hamdi DELİORMANLI	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Oktay BAYAT	Çukurova Üniversitesi
Prof. Dr. Meftuni YEKELER	Cumhuriyet Üniversitesi

ASİDİK VE BAZİK ORTAMDA BAYER PROSESİ YAN ÜRÜNÜNDEN GALYUM KAZANIMI

GALLIUM RECOVERY FROM BAYER PROCESS BY-PRODUCT in ACIDIC and BASIC MEDIUM

Mediha Demet OKUDAN*

Ata AKCIL**

Ayşenur TUNCUK***

Hacı DEVECİ****

ÖZET

Boksit cevherleri, alüminyumun yanı sıra galyum gibi stratejik öneme sahip metaller de içerir. Bayer prosesi liç çözeltileri ve atıkları bu metaller açısından önemli bir kaynak konumundadır. Ancak yapılan çalışmalar büyük ölçüde liç çözeltilerinden metal kazanımı ile sınırlıdır. Bu çalışma çerçevesinde, Bayer prosesi atıklarından galyumun geri kazanımına yönelik olarak çevresel, teknik ve ekonomik açıdan potansiyele sahip kimyasal liç ve kazanım yöntemleri araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda atık yan ürün olarak nispeten yüksek galyum içeriğine sahip olan elektrofiltre tozu kullanılmıştır. Farklı reaktiflerin performansı, sıcaklık, katı/sıvı oranı, liç süresi ve reaktif derişimi gibi parametrelerin galyum kazanım verimine etkisi Yates deney tasarım tekniğine göre yapılmış olup, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi işlemleri için ANOVA-Yates analizi uygulanmıştır. Belirlenen optimum şartlarda (katı/sıvı oranı: %10, hidroklorik asit derişimi: 5M, sıcaklık: 80°C, liç süresi: 90 dak) HCl liçinde Ga kazanım verimi %44,2; (katı/sıvı oranı: %10, sodyum hidroksit derişimi: 2,5M, sıcaklık: 70°C, liç süresi: 120 dak) NaOH liçinde Ga kazanım verimi ise %43,1 olarak tespit edilmiştir. Ekonomik modelleme çalışmaları ile tesis simülasyonu oluşturulmuştur. Simülasyon ile tasarlanan metal kazanım tesisinin ekonomik olarak uygulanabilir olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Galyum, Elektrofiltre tozu, Liç, Yan ürün, Bayer prosesi.

ABSTRACT

Bauxite ores contain strategically important metals such as gallium as well as aluminum. Leach solutions and wastes of Bayer process are important sources for these metals. However, earlier studies are concentrated mostly on the recovery of metals from leach solutions not from solid wastes. In this work, experimental studies were conducted to develop an environmentally friendly, technically and economically feasible leaching method for gallium recovery from Bayer process solid waste by product. In this study, dust samples from electrofiltration units with a relatively high content of gallium were used in the leaching tests as a waste by-product of Bayer process. The effect of different parameters such as type of reagents, temperature, pulp density, leaching time and reagent concentration on the gallium recovery were investigated experimentally applying factorial test design technique. The results of the tests were evaluated using ANOVA-Yates statistical analysis methods. At the end of the studies, 44.2% Ga and 43.1% Ga recoveries were achieved under optimum conditions of HCl leaching and NaOH leaching respectively. Simulation of the process developed was also made by conducting economic modeling technique. The results showed that the designed metal recovery plant is economically feasible.

Keywords: Gallium, Electrofilter dust, Leaching, By-product, Bayer process.

* Dr., SDÜ, Müh. Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, ISPARTA

** Prof.Dr., SDÜ, Müh. Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, ISPARTA, atakcil@sdu.edu.tr

*** Dr., SDÜ, Müh. Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, ISPARTA

**** Prof.Dr., KTÜ, Müh. Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, TRABZON

GİRİŞ

Galyum ileri teknoloji sanayinde yaygın olarak kullanılan önemli bir metaldir. Yarı-iletken sanayinde katkı maddesi olarak kullanımı giderek artmaktadır; örneğin, GaP, GaAs ve AlGaAs, silikon bazlı yarı iletken malzemelere göre daha iyi elektronik özelliklere sahip yeni ve önemli maddelerdir (Moskalyk, 2003; Kramer, 2002). Galyumca zengin mineraller az sayıda ve çok nadirdir. Galyum ana kaynağı, yan ürün olarak elde edildiği alüminyum ve çinko sanayi atık maddeleridir (Nishihima vd., 1999; Puvvada, 1999; Dutrizac ve Chen, 2000; Kinoshita vd., 2004; Flaminio vd., 2007; Xu vd., 2007, Zhao vd., 2012). Diğer alternatif potansiyel galyum kaynakları, 100 ppm'e kadar metal içerebilen uçucu kömür külünün yanı sıra (Mastalerz ve Drobniak, 2012; Dumortier vd., 2005; Christie ve Brathwaite, 2002; Fang ve Gesser, 1996) elektronik sanayindeki hurdaların geri dönüşümü ile elde edilir (Lee ve Nam, 1998; Sturgill vd., 2010).

2013 yılında dünya galyum birincil üretim kapasitesi 474 ton, rafine galyum kapasitesi 300 ton, ikincil üretim kapasitesi 200 tondur (USGS, 2014). Boksit cevherinden alümina üretimi sırasında elde edilen Bayer sıvısı, galyum için en önemli kaynaktır. Dünya birincil galyum üretiminin %90'nın Bayer sıvısından üretildiği tahmin edilmektedir (Lu vd., 2008).

Galyum, cep telefonları, fotovoltaiik nesil paneller, optik haberleşme cihazları ve bilgisayarlar gibi elektronik cihazlara yerleştirilen LED çiplerde ve yarı iletkenlerde gerekli olan temel maddedir. (Material Flows on Mineral Resources, 2008; Kida vd., 2009; Nasukawa, 2009; Nishiyama, 2009; Okabe, 2010). Ayrıca entegre devreler, transistörler gibi katı hal cihazları, yüksek sıcaklık termometreleri, parlak aynalar gibi çeşitli uygulamalarda kullanılır. Örneğin galyum sitrat ve galyum nitrat gibi galyum tuzları, radyo-kontrast maddeler olarak medikal görüntüleme kullanılmaktadır (Foley ve Jaskula, 2013). Bu teknolojilerin rutin kullanımı nedeniyle galyum talebinin 2030 yılında 20 kat artacağı varsayılmaktadır (Angerer vd., 2009).

Bayer prosesinde 0,2 g/L galyum içeren sodyum alüminat çözeltisindeki galyum, alüminyum-gallam (Al-Ga alaşımı) kullanılarak sementasyon ile %99,2 verimle geri kazanılmıştır (Abisheva ve Zagorodnyaya, 2002).

Abisheva vd. (2012), alüminyum elektrolizinde elde edilen birincil ve ikincil tozlardaki galyum

ve alüminyum kazanımını incelemişlerdir. Alüminyum elektrolizinden elde edilen birincil tozun galyum ve alüminyum içerikleri sırasıyla %0,07, %7,92 ve ikincil tozun galyum ve alüminyum içerikleri sırasıyla %0,13, %7,04 olarak belirlenmiştir. Sülfürik asit liçi ile 1 M H₂SO₄, 1/4 K/S, 90 °C ve 1 saat olarak belirlenen optimum koşullarda birincil ve ikincil tozlarda sırasıyla %64 ve %83 galyum kazanım verimi elde edilmiştir. Hidroklorik asit liçi ile 2M H₂SO₄, 1/4 K/S, 90°C ve 2 saat olarak belirlenen optimum koşullarda birincil ve ikincil tozlarda sırasıyla %52 ve %63 galyum kazanım verimi elde edilmiştir.

Carvalho vd. (2000), alüminyum tesisi atıklarından galyumun geri kazanımı amacıyla HCl ve H₂SO₄ liçinde asit derişimi, katı/sıvı oranı, sıcaklık ve liç süresi gibi parametrelerin etkisini incelemişlerdir. %92 verimle çözünen galyum, NaOH çözeltisi ile çöktürülerek elde edilmiş ve tekrar çözümlenerek/çöktürülerek saflaştırılmış, kalsine edilmiş ve %98,6 saflıkta galyum oksit elde edilmiştir.

Uçucu küllerden galyum kazanımı amacıyla Font vd. (2007), NaOH liçi ile farklı sıcaklık, katı/sıvı oranı, reaktif derişimi ve liç sürelerinde testler yürütmüş ve optimum koşullardaki ekstraksiyon ve çöktürme testleri sonucunda %86 galyum verimi elde etmişlerdir.

Bu çalışma kapsamında Bayer prosesi atıklarından stratejik öneme sahip galyum eldesi amaçlanmıştır. Galyum geri kazanımında en uygun liç yöntemi/reaktif sisteminin geliştirilerek ve ANOVA-Yates deney tasarımı tekniğine göre en uygun liç koşullarının belirlenerek, uygulanan kimyasal liç işleminin galyum kazanım verimine etkisi araştırılmış, elde edilen veriler teknik ve ekonomik açıdan değerlendirilmiştir.

1. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

1.1. Elektrofiltre Tozu Numunesi

Kalsinasyon sırasında elektrofiltrelerde tutulan baca tozu numunesi, Seydişehir Eti Alüminyum tesisinden (Konya, Türkiye) alınmıştır. Elektrofiltre tozu numunesinin kimyasal karakterizasyonunda XRF (PANalytical Axios) yöntemi, numunenin içeriğindeki minerallerin tanımlanabilmesi için XRD (Siemens D500) yöntemi kullanılmış ve analizler ACME Analytical Labs Ltd.'de yapılmıştır. XRF analizinden elde edilen sonuçlara (Çizelge 1) göre elektrofiltre tozunun Ga içeriği 102,4 ppm olarak belirlenmiştir.

Çizelge 1. Elektrofiltre Tozunun Kimyasal Analiz Sonuçları

Bileşik/Element	%
Al ₂ O ₃	89,48
Na ₂ O	1,68
SiO ₂	<0,1
Fe ₂ O ₃	0,03
CaO	0,02
MgO	<0,01
TiO ₂	<0,01
P ₂ O ₅	<0,01
Cr ₂ O ₃	0,004
Ba	<0,01
Ga	102,4*
Kızdırma Kaybı	8,52

*ppm

Elektrofiltre tozu örneği XRD analizinde ise Al₂O₃, AlO(OH) ve Al(OH)₃ bileşikleri belirlenmiştir.

1.2. Yöntem

1.2.1. Ön Liç Testleri

Faktöriyel liç testlerinin gerçekleştirilmesi ama-

cıyla HCl ve NaOH test edilerek, hem asit hem de alkali liç testleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca C₆H₈O₇ ve H₂O₂ varlığında H₂SO₄ liçi ve HCl liçi testleri gerçekleştirilerek liç verimlerine etkileri karşılaştırılmıştır. Etkin liç deneysel koşullarının uygulanabilmesi için, liç testleri parametreleri ve çalışma aralıkları Çizelge 2'de verilmiştir. Farklı parametreler (reaktif derişimi, katı/sıvı oranı, sıcaklık ve liç süresi) dikkate alınarak, parametrelerin galyum kazanım verimi (GKV) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kimyasal karıştırma liçi testleri, 600 ml'lik cam kapaklı reaktörlerde 250 ml çalışma hacminde, ısıtıcılı manyetik karıştırıcı (Velp, Arec) ve Dijital Overhead teflon uçlu karıştırıcı (Heidolph, RZR 2021) kullanılarak, sıcaklık ve karıştırma hızı kontrollü şekilde yapılmıştır. Liç işlemleri sonunda etüvde (Jeio Tech, OF-21E) kurutulan numunelerin kimyasal içerikleri XRF cihazı ile belirlenmiştir. Liç deneylerinde stok çözeltisi olarak %97'lik sülfürik asit (H₂SO₄) çözeltisi (Merck), %37'lik hidroklorik asit (HCl), %35'lik hidrojen peroksit (H₂O₂) ve yüksek saflıkta (>%99) toz formda sodyum hidroksit (NaOH) ve sitrik asit (C₆H₈O₇) kullanılmıştır. Stok çözeltiler ve seyreltmeler için distile su kullanılmıştır. GKV, elektrofiltre tozu içeriğindeki galyum miktarındaki azalma dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 2. Ön Liç Testleri Parametreleri ve Çalışma Aralıkları

Parametreler	Deneysel Koşullar	
<i>HCl / NaOH liçi</i>		
Reaktif derişimi (M)	HCl NaOH	0,5 - 1,0 - 1,5 - 2,0 - 2,5 - 3,0 - 3,5 - 4,0* - 5,0 - 6,0 0,2 - 0,5 - 1,0 - 1,5 - 2,0 - 2,5 - 3,0 - 3,5 - 4,0* - 5,0
K/S oranı (%)	5 - 10* - 15 - 20	
Sıcaklık (°C)	60 - 70 - 80* - 90	
Süre (dak)	30 - 60 - 90 - 120* - 180 - 240	
<i>H₂SO₄ + C₆H₈O₇ liçi</i>		
Reaktif derişimi	H ₂ SO ₄ (M) C ₆ H ₈ O ₇ (g/L)	2 - 3 - 3,5* - 4 - 6 10 - 20* - 30 - 40
K/S oranı (%)	5 - 10* - 15	
Sıcaklık (°C)	80 - 90*	
Süre (dak)	30 - 60 - 120*	
<i>H₂SO₄ + H₂O₂ liçi</i>		
Reaktif derişimi (M)	H ₂ SO ₄ H ₂ O ₂	1 - 2 - 3* - 4 - 5 0,5 - 1* - 2 - 3
K/S oranı (%)	5 - 10* - 20	
Sıcaklık (°C)	70 - 80* - 90	
Süre (dak)	60 - 120* - 180	

*sabit değer

1.2.2. Faktoriyel Liç Testleri

Yates deney tasarımı tekniğine göre kimyasal liç testlerinin parametreleri ve çalışma aralıkları belirlenmiş, 2ⁿ tam faktöriyel dizayn esasına göre yürütülmüş ve ana etkiyi ve girişimleri belirlemek üzere farklı faktörler ile çalışılmış ve sonuçlar varyans analizi (ANOVA: Analysis of the Variance) yöntemiyle değerlendirilmiştir.

Elektrofiltre tozundan galyum kazanımını amaçlayan HCl ve NaOH liçi işlemlerinde araştırılan faktörler ile deneylerde kullanılacak en düşük ve en yüksek faktör değerleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. HCl ve NaOH Liçi Tam Faktöriyel Deneylerde Araştırılan Faktörler

Faktörler	Sembol	HCl		NaOH	
		Düşük Seviye	Yüksek Seviye	Düşük Seviye	Yüksek Seviye
Asit/alkali Derişimi (M)	A	4	5	2,5	4
K/S Oranı (%)	B	10	15	5	10
Sıcaklık (°C)	C	60	80	70	80
Liç Süresi (dak)	D	90	120	90	120

1.3. Çöktürme Testleri

Çöktürme testleri öncesinde, ilk olarak elektrofiltre tozu numunesine kimyasal liç işlemi uygulanmıştır. Liç aşamasında çeşitli reaktifler yardımıyla galyumun çözeltiye geçmesi sağlanarak filtrasyon işleminden sonra çözeltide bulunan metaller çöktürülmüş, galyum nihai ürün olarak elde edilmiştir.

Çöktürme testlerinde, elde edilen yüklü liç çözeltilerinden galyumun seçimli olarak çöktürülmesi/kazanımı hedeflenmiştir. NaOH, H₂SO₄ gibi reaktifler kullanılmış ve çöktürme verimleri belirlenmiştir. Çökmenin gözlemlendiği pH değerlerinden sonra solüsyonlar filtre edilmiştir.

Liç testlerinden filtrasyon ile elde edilen liç çözeltilerinden galyumun kazanımı amacıyla çöktürme testleri yapılmıştır. Elektrofiltre tozu için, her bir liç çözeltisine yavaş bir şekilde 10M NaOH ve 6M H₂SO₄, çözelti pH' ı 3–4 olana kadar eklenmiştir. Çöktürmenin gözlemlendiği pH değerlerinde çözeltiler 125 mm (Fitraçk 389) filtre kâğıdı kullanılarak filtre edilmiştir.

1.4. Teknik ve Ekonomik Analiz

Deney tasarımı teknikleri istatistiksel bir yaklaşım olmakla birlikte, tüm araştırma ve geliştirme faaliyetlerinde kullanılabilen, kaliteyi arttıran,

kaynakları verimli kullanarak maliyetleri düşüren, sonuçların güvenilirliğini sağlamaştıran, tüm diğer kalite tekniklerini destekleyen ve tamamlayan tekniklerdir (Mcshane, 1992). Bu nedenle teknik ve ekonomik analiz işlemleri öncesinde tam faktöriyel deney tasarımı yöntemi ile liç testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerle bir simülasyon programı olan, yazılımı Intelligen Inc. tarafından yapılmış olan SuperPro Designer (Demo Version) programı kullanılarak seçilen prosesin bir tesiste ekonomik olarak uygulanabilirliği araştırılmıştır. Kimyasal liç deneylerinden elde edilen sonuçlara göre tesiste uygulanabilecek en uygun proses seçilerek bir tesis işletim simülasyonu oluşturulmuştur. İşletme ve piyasa koşulları dikkate alınarak oluşturulan akım şeması ile teknik ve ekonomik analiz değerlendirmesi yapılmıştır. Tesis kesikli işletme (batch design) olarak dizayn edilmiştir.

1.5. Deney Sonuçlarının Belirlenmesi

1.5.1. Ön Liç Testleri

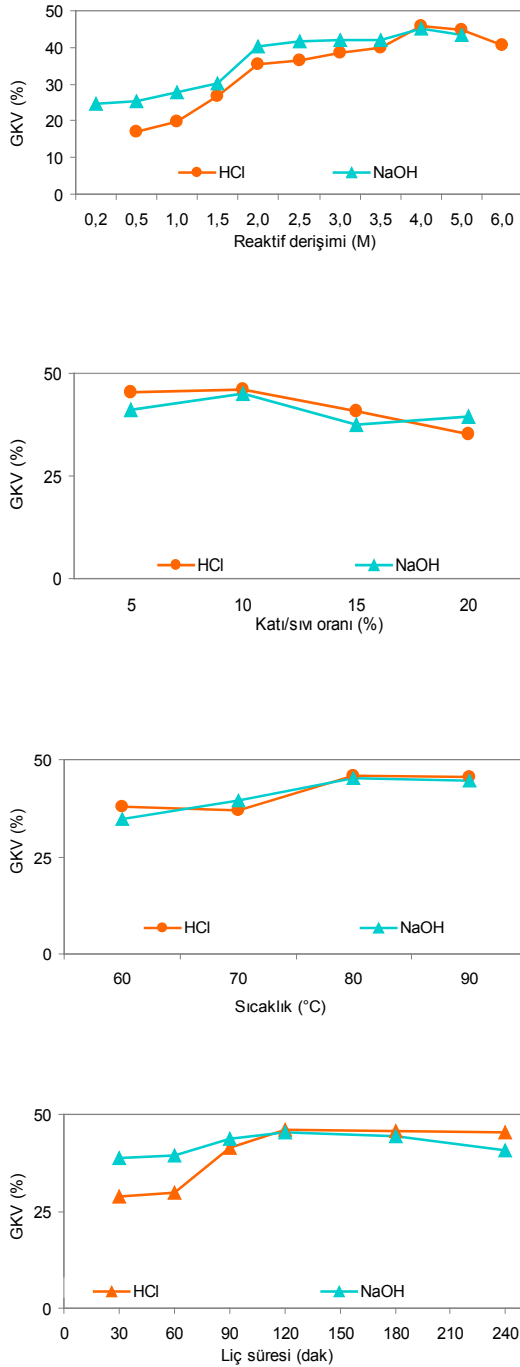
Şekil 1'de HCl ve NaOH reaktiflerinin farklı derişim değerlerinde, %10 katı/sıvı oranı ile 80°C'de 120 dakika süresince yapılan liç testleri sonunda, reaktif türü ve derişiminin GKV üzerindeki etkisi incelenmiştir. HCl ve NaOH reaktifleri ile yapılan liç testlerinde 4M reaktif derişiminde en yüksek liç verimleri elde edilmiştir. Reaktif derişimi arttıkça liç verimi de artmakta ancak 4M reaktif derişiminden sonraki yüksek asit derişimlerinde asidin reaktivitesini kaybetmesi ve ortamda farklı yük ve yapılarda türler oluşabileceğinden liç verimlerinde azalma görülmektedir.

Katı/sıvı oranının etkisi (%5, %10, %15, %20) 80°C sıcaklık, 4M HCl ve NaOH derişimlerinde ve 120 dakika liç koşullarında test edilmiştir. Elde edilen veriler katı oranının liç verimine etkisinin sınırlı olduğunu ve artan katı oranı ile birlikte, H⁺ iyonu tüketiminin fazla olması nedeniyle, liç veriminin düşme eğiliminde olduğunu göstermiştir.

Sıcaklığın ve liç süresinin GKV'ine etkisine bakıldığında, sıcaklık artışı ile verim de oldukça sınırlı bir artış eğilimi gözlenmektedir.

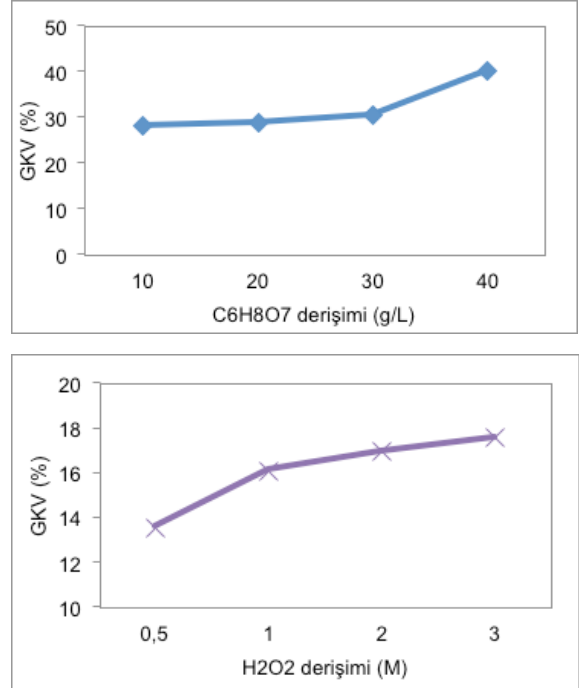
Sitrik asit varlığında yapılan H₂SO₄ liç testlerinde %40 GKV elde edildiği görülmektedir. Sitrik asit reaktifine alternatif olarak test edilen H₂O₂ varlığında gerçekleştirilen H₂SO₄ liç testlerinde, H₂O₂ derişiminin artmasıyla liç veriminde önemli bir değişim kaydedilmemiştir (sadece %1–5 gibi). Yapılan testlerle, galyum kazanımında H₂SO₄

liçinde sitrik asit ilavesinin H_2O_2 göre Ga kazanımında daha etkin olduğu belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 1. HCl ve NaOH liçi Parametrelerinin Ga Kazanım Verimine Etkileri

(sabit parametreler: %10 katı/sıvı oranı, 80°C, 120 dak)

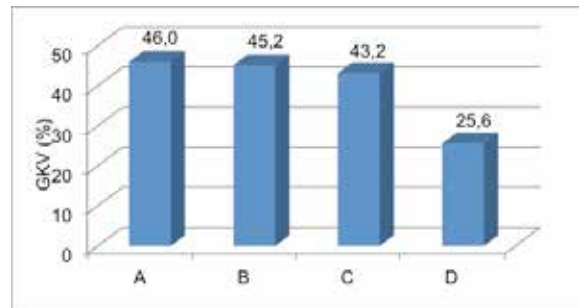


Şekil 2. H_2SO_4 liçinde $C_6H_8O_7$ ve H_2O_2 Derişimlerinin Ga Kazanım Verimine Etkileri

($H_2SO_4 + C_6H_8O_7$ liçi sabit parametreleri: 3,5M H_2SO_4 , %10 katı/sıvı oranı, 90°C, 120 dak)

($H_2SO_4 + H_2O_2$ liçi sabit parametreleri: 3M H_2SO_4 , %10 katı/sıvı oranı, 80°C, 120 dak)

Elektrofiltre tozu ile gerçekleştirilen HCl ve NaOH liçi ile ön liç testler sonucunda sırasıyla %46 ve %45 galyum kazanımı elde edilmiştir. Test edilen bütün reaktif sistemlerinde ulaşılan en yüksek galyum kazanım verimleri Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Farklı Reaktif Sistemlerinin Kullanıldığı Ön Liç Testlerinde Ulaşılan Ga Kazanım Verimleri

(A: HCl, B: NaOH, C: $H_2SO_4 + C_6H_8O_7$, D: $H_2SO_4 + H_2O_2$ liçi)

Elektrofiltre tozundan galyum kazanımı amacıyla gerçekleştirilen H_2SO_4 ön liç testleri (Akçıl vd., 2013) sonucunda % 43,6 GKV elde edilmiştir. GKV'ni artırmak amacıyla $C_6H_8O_7$ ve H_2O_2 gibi

Çizelge 4. HCl ve NaOH liçi için 2⁴ Tam Faktöriyel Dizayn Deney Koşulları ve GKV Değerleri

Test No	İşlem Kombinasyonları	A (HCl derişimi)	B (katı/sıvı oranı)	C (sıcaklık)	D (liç süresi)	GKV (%)
1	1	4	10	60	90	27,8
2	a	5	10	60	90	32,9
3	b	4	15	60	90	35,3
4	ab	5	15	60	90	38,0
5	c	4	10	80	90	30,9
6	ac	5	10	80	90	44,2
7	bc	4	15	80	90	31,8
8	abc	5	15	80	90	24,3
9	d	4	10	60	120	21,3
10	ad	5	10	60	120	41,5
11	bd	4	15	60	120	30,6
12	abd	5	15	60	120	41,9
13	cd	4	10	80	120	37,2
14	acd	5	10	80	120	28,9
15	bcd	4	15	80	120	39,9
16	abcd	5	15	80	120	30,0
17	Merkez Nokta	4,5	12,5	70	105	33,5
18	Merkez Nokta	4,5	12,5	70	105	39,2
19	Merkez Nokta	4,5	12,5	70	105	37,1

Test No	İşlem Kombinasyonları	A (NaOH derişimi)	B (katı/sıvı oranı)	C (sıcaklık)	D (liç süresi)	GKV (%)
1	1	2,5	5	70	90	36,3
2	a	4	5	70	90	31,2
3	b	2,5	10	70	90	41,6
4	ab	4	10	70	90	29,4
5	c	2,5	5	80	90	32,4
6	ac	4	5	80	90	38,4
7	bc	2,5	10	80	90	40,7
8	abc	4	10	80	90	39,6
9	d	2,5	5	70	120	39,7
10	ad	4	5	70	120	31,3
11	bd	2,5	10	70	120	43,1
12	abd	4	10	70	120	43,0
13	cd	2,5	5	80	120	41,8
14	acd	4	5	80	120	37,9
15	bcd	2,5	10	80	120	36,2
16	abcd	4	10	80	120	29,7
17	Merkez Nokta	3,25	7,5	75	105	38,7
18	Merkez Nokta	3,25	7,5	75	105	40,7
19	Merkez Nokta	3,25	7,5	75	105	37,5

indirgeyici reaktiflerin de liç verimine etkileri değerlendirilmiş fakat düşük verimler elde edilmiştir. HCl ve NaOH liç testlerindeki liç verimleri, indirgeyici reaktiflerin varlığında yapılan liç testleri verimlerinden daha yüksek olduğundan tam faktöriyel deney tasarımında sadece HCl ve NaOH liç testleri yer almıştır.

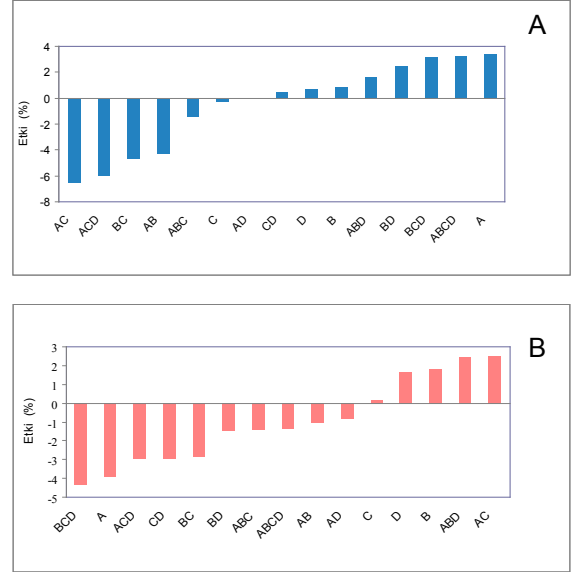
Elektrofiltre tozu numunesi ile gerçekleştirilen liç testleri sonrası elde edilen veriler değerlendirilerek, kimyasal liç testlerinde 2ⁿ tam faktöriyel deney tasarımı ile Yates deney tasarım tekniğine göre faktörler ve çalışma aralıkları belirlenmiştir. Belirlenen parametrelere göre elektrofiltre tozu ile yapılan liç testleri sonunda GKV'deki değişimler incelenmiş ve parametrelerin GKV üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

1.5.2. Faktöriyel Liç Testleri

Tam faktöriyel tasarım ile uygulanan liç işlemleri sonucunda elektrofiltre tozundan elde edilen GKV değerleri Çizelge 4'te gösterilmiştir. Çizelge 4'e göre; elektrofiltre tozu ile %10 K/S oranında 80°C liç sıcaklığında, 5M HCl ile yürütülen 90 dakika süren liç işlemi sonucunda maksimum %44,2 GKV ve %10 K/S oranında 70°C liç sıcaklığında, 2,5M NaOH ile yürütülen 120 dakika süren liç işlemi sonucunda maksimum %43,1 GKV elde edildiği görülmektedir.

Araştırılan faktörlerin GKV etkilerinin belirlenmesi ve bu etkileşimlere göre faktör tayininin gerçekleştirilmesi ve ardından optimizasyonun sağlanması için ANOVA yürütülmüştür. HCl liç deneylerinden elde edilen sonuçlara göre, HCl derişiminin (A) liç verimine pozitif yönde etkin olduğu, diğer ana faktörlerin etkin olmadığı gözlenmiştir. HCl derişimi (A) ile liç sıcaklığı (C) girişim etkisinin (AC) negatif yönde etkin olduğu gözlenmiştir. HCl derişimi (A) ile liç sıcaklığı (C) ve liç süresi (D) girişim etkisinin (ACD) de negatif yönde etkilediği görülmüştür.

NaOH liç deneylerinden elde edilen sonuçlara göre katı/sıvı oranının (B) etkin olmadığı ancak liç sıcaklığı (C) ile ve liç süresi (D) ile birlikte girişim etkisinin (BCD) negatif yönde etkili olduğu gözlenmiştir. Liç sıcaklığı (C) önemli bir etken olarak gözükmemekle beraber, liç süresi (D) ile girişim etkisinin (CD) negatif yönde, ayrıca NaOH derişimi (A) ile girişim etkisinin pozitif yönde olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4. Tam faktöriyel HCl ve NaOH Liç Testlerinde Araştırılan Faktörlerin Ga Kazanımına Etkileri (A:HCl/NaOH Derişimi; B:Katı/Sıvı Oranı; C:Liç Sıcaklığı; D:Liç Süresi)

1.5.3. Çöktürme Testleri

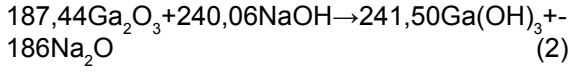
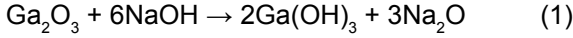
Çözeltiden saflaştırma ve metal kazanımı için çöktürme yöntemi, diğer yöntemlere nazaran (elektro kazanma, solvent ekstraksiyon gibi) göre daha basit ve ekonomik olması bakımından tercih edilmiştir.

Liç testlerinin sonuçları değerlendirilerek en iyi liç şartları belirlenmiştir. Belirlenen en iyi liç koşulları uygulanarak üretilen çözeltilerin içeriğindeki Ga₂O₃'ün NaOH ve H₂SO₄ ile seçimli çöktürme deneyleri yapılarak sırasıyla Ga(OH)₃ ve Ga₂(SO₄)₃ halinde çöktürülmesi incelenmiştir. Çöktürme testleri, liç süresi sonunda filtrelenen liç çözeltileri ve 10M NaOH / 6M H₂SO₄ kullanılarak yapılmıştır. Her bir liç çözeltilisine yavaş bir şekilde 10M NaOH / 6M H₂SO₄ çözeltisi pH 3-4 olana kadar eklenmiştir. Çökeltmenin gerçekleştiği pH değerlerinde (3,22-3,35-3,8) çözeltiler 125 mm (Fitrakk 389) filtre kâğıdı kullanılarak filtre edilmiştir.

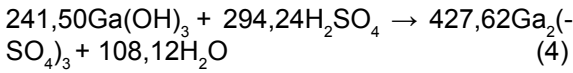
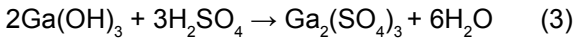
1.5.4. Teknik ve Ekonomik Değerlendirme

SuperPro Designer Programı ile oluşturulan galyum kazanımına yönelik proses simülasyonları Şekil 5'te gösterilmiştir.

Galyum kazanımı amacıyla kimyasal liç aşamalarında gerçekleşen kimyasal tepkimeler ve kütle denglikleri aşağıda gösterilmiştir.



Kimyasal liç testleri sonrasında liç çözeltisinden çöktürme yöntemi ile elde edilen galyum için gerçekleşen kimyasal tepkime ve kütle denkliği ise aşağıda gösterilmiştir.



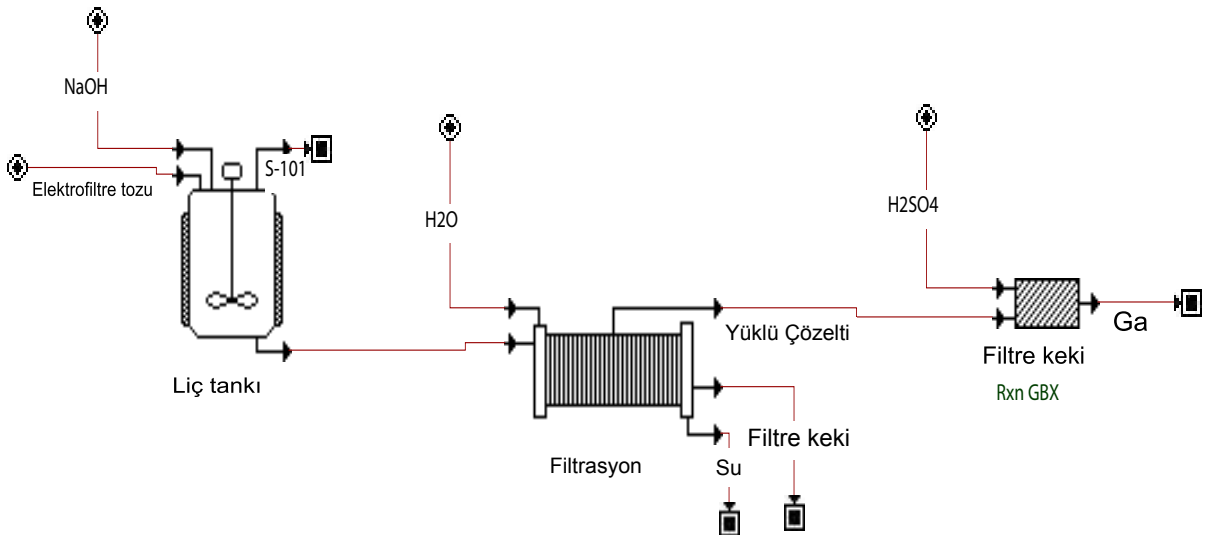
Kimyasal liç aşamasında kullanılmak üzere proses için dizayn edilen reaktörlerin özellikleri Çizelge 5'te gösterilmiştir. Ana amaç, asidik ve bazik liç kıyaslaması ve optimum maliyetin belirlenmesi dışında, proses dizaynında liç testlerinden elde edilen veriler ile, ANOVA dizaynında belirlenen parametrelerin etkileri ve enerji-maliyet açısından ekonomikliği göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan simülasyonda geri kazanım prosesinde; diğer kimyasallara göre ekonomik olması ve aynı zamanda metal kazanımında etkili olması sebebiyle, kimyasal liç aşamasında Ga kazanımı için NaOH kullanıldığı simüle edilmiştir. Simülasyon ile tasarlanan, ömrü 10 yıl olarak öngörülen metal kazanım tesisinin yaklaşık 1,65 yılda yatırım maliyetini karşılayacağı

belirlenmiştir. Tesise yatırılan her 100 US\$ için proseste ise yılda 60.58 US\$ kazanabilmenin mümkün olduğu görülmektedir.

Filtrasyon işleminden sonra liç sıvısı, liç çözeltisinde bulunan Ga kazanımı amacıyla çöktürme ünitesine gönderilmiştir. Kimyasal liç testlerinden sonra elde edilen optimum koşullar değerlendirilerek, kimyasal liç işleminin tam ölçekli tesiste uygulanabilirliğini belirlemek üzere tesis simülasyonu oluşturulmuş ve prosesin ekonomik olarak uygulanabileceği görülmüştür.

Çizelge 5. Kimyasal Liç Aşaması İçin Dizayn Edilen Reaktörlerin Özellikleri

Özellikler	Proses
Sıvı/Toplam hacim	0,80
Yükseklik/Çap	2,50
Karıştırma gücü	0,50 kW/m ³
Tank sıcaklığı	70°C
Bekleme süresi	2 sa
Maksimum hacim	50 m ³
İşletme basıncı	1,01 bar
Yükseklik	1,71 m
Çap	0,68 m
Toplam hacim	0,63 m ³
Güç	0,3 kW
Isıtma	11003,7 kcal/sa
Soğutma	0



Şekil 5. SuperPro Designer Programı ile Oluşturulan Galyum Kazanımı Akım Şeması

SONUÇLAR

Bayer prosesi dünya çapında boksit rafinesi için kaliteli alümina eldesinde kullanılan, alüminyum üretim endüstrisinin temel taşı olan bir yöntemdir. Bayer çözeltisi galyum üretiminde önemli hammadde kaynağıdır ve galyum bu yöntem ile yan ürün olarak kazanılabilmektedir.

Bu çalışmada, HCl ve NaOH reaktiflerinin farklı derişim değerlerinde, %10 katı/sıvı oranı ile 80°C'de 120 dakika süresince yapılan ön liç testleri sonunda, sırasıyla % 46 ve % 45 GKV elde edilmiştir. Liç verimini artırmak amacıyla indirgeyici reaktiflerin varlığında liç testleri gerçekleştirilmiştir. $C_6H_8O_7$ varlığında gerçekleştirilen HCl ve H_2SO_4 ön liç testleri sonrası HCl liçinde %27,7 GKV elde edilirken H_2SO_4 liçinde %43,2 GKV elde edilmiştir. $C_6H_8O_7$ reaktifine alternatif olarak test edilen H_2O_2 varlığında gerçekleştirilen H_2SO_4 ve HCl liçi testlerinde, sırasıyla %25,6 ve %17,7 düşük GKV elde edilmiştir ve H_2O_2 derişiminin GKV üzerinde etkisinin olmadığı görülmüştür.

Tam faktöriyel tasarım ile uygulanan liç işlemlerinde elektrofiltre tozu ile %10 K/S oranında 80°C liç sıcaklığında, 5M HCl ile yürütülen 1,5 saat süren liç işlemleri sonucunda maksimum %44,2 ve %10 K/S oranında 70°C liç sıcaklığında, 2,5M NaOH ile yürütülen 2 saat süren liç işlemleri sonucunda maksimum %43,1 Ga kazanımının elde edildiği görülmektedir.

Galyum elektronik endüstrisinde önemli ancak ülkemizde halen üretimi yapılmamaktadır. Bu amaçla tam ölçekli uygulamalarda metal kazanımı işleminin ekonomik uygulanabilirliğini değerlendirmek için SuperPro Designer simülasyon programı kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında ayrıca, bütün süreçler ve işletme koşulları göz önünde bulundurularak Ga kazanımı için teknik ve ekonomik veriler doğrultusunda üç aşamalı bir geri kazanım prosesi geliştirilmiştir. Geliştirilmiş olan bu proses, SuperPro Designer Version 2.71 (Intelligen Inc.) bilgisayar programı kullanılarak simüle edilmiştir. Yapılan ekonomik süreç analizleri sonucunda elektrofiltre tozundan Ga kazanımı için önerilen prosesin ekonomik ve teknik olarak mümkün bir süreç olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Bayer proses atıklarından galyumun geri kazanımı, Ülkemizin önemli doğal kaynaklarından biri olan boksit cevherinin ekonomik potansiyelinin artırılmasını ve kaynakların ekonomik açıdan daha etkin kullanılmasını sağlayacaktır. Katma

değeri yüksek olan bu metaller, tesis ve dolayısıyla da ekonomisine önemli katkı sağlayacaktır. En uygun atık yönetimi olması bakımından geri kazanımın, atık yönetimi maliyetlerini ve çevresel etkileri azaltacağı öngörülmektedir. Ülkemizde galyum üretiminin yapılmadığı ve bu metallere olan ihtiyacın ithalat yoluyla karşılandığı düşünüldüğünde, bu atık yan ürünlerin değerlendirilmesi ulusal ekonomiye katkı sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Desteklerinden dolayı Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na (BAP 3009-D-11 No'lu Proje) ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK 111M220 No'lu Proje) teşekkür ederiz. Ayrıca elektrofiltre tozu numunesinin temininde yardımları ve destekleri için Cengiz Holding (Seydişehir Eti Alüminyum A.Ş., Konya) yetkililerine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Abisheva, Z.S., Zagorodnyaya, A.N., 2002; "Hydrometallurgy in Rare Metal Production Technology in Kazakhstan", Hydrometallurgy 63, 55-63.
- Abisheva, Z.S., Zagorodnyaya, A.N., Bochevskaya, Y.G., Bekturganov, N.S., Kasymov, A.S., Blaida, I.A., 2012; "Recovery of Gallium from Industrial Products of Chemical and Metallurgical Industries", XXVI International Mineral Processing Congress (Impc) 2012 Proceedings, New Delphi, India, 24-28 September 2012, 48-60.
- Akcil, A., Tuncuk, A., Okudan, D., Devenci, H., 2013; "Waste To Resource: Evaluation of electrofiltration dust in Bayer process", World Resources Forum, Davos, Switzerland, October 6-9 2013.
- Angerer, G., Erdmann, L., Markscheider-Weidemann, F., Scharp, M., Lüllman, A., Handke, V., Marwede, M., 2009; "Rohstoffe Für Zukunftstechnologien", Frovenhofer-Institut Für System Und Innovationsforschung Isi 383.
- Carvalho, M., Neto, K.C.M., Nobrega, A.W., Medeiros, J.A., 2000; "Recovery of Gallium from Aluminum Industry Residues", Separation Science and Technology, 35, 57-67.
- Christie, T., Brathwaite, B., 2002; Institute of Geological and Nuclear Science Ltd., Mineral Commodity Report 19-Beryllium, Gallium, Lithium, Uranium and Zirconium, 32.
- Dumortier, R., Weber, M.E., Vera, J.H., 2005;

- "Removal and Recovery of Gallium from Aqueous Solutions by Complexation with Sodium di-(n-octyl) Phosphinate", *Hydrometallurgy*, 76 (3–4), 207–215.
- Dutrizac, J.E., Chen, T.T., 2000; "The Behaviour of Gallium during Jarosite Precipitation", *Canadian Metallurgical Quarterly*, 39, 1-14.
- Fang, Z., Gesser, H.D., 1996; "Recovery of Gallium from Coal Fly Ash", *Hydrometallurgy*, 41, 187-200.
- Flamini, D.O., Saidman, S.B., Bessone, J.B., 2007; "Electrodeposition of Gallium onto Vitreous Carbon", *J. Appl. Electrochem.*, 37 (4), 467–47.
- Foley, N., Jaskula, B., 2013; "Gallium-A Smart Metal", USGS Mineral Resources Program, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey Fact Sheet, 3006.
- Font, O., Querol, X., Juan, R., Casado, R., Ruiz, C.R., Lopez-Solera, Coca, P., Pena, F.G., 2007; "Recovery of Gallium and Vanadium from Gasification Fly Ash", *Journal of Hazardous Materials*, 139, 413-423.
- Kida, A., Sirohase, T., Kawaguchi, M., 2009; "Metals Contents Including Precious Metals in Waste Personal Computers", *Mater. Cycles Waste Manage. Res.*, 20 (2) 59–69.
- Kinoshita, T., Akita, S., Nii, S., Kawaizumi, F., Takahashi, K., 2004; "Solvent Extraction of Gallium with Non-Ionic Surfactants from Hydrochloric Acid Solution and Its Application to Metal Recovery from Zinc Refinery Residues". *Separation and Purification Technology*, 37, 127–133.
- Kramer, D.A., 2002; "Gallium", US Geological Survey. *Minerals Commodity Summaries*, January.
- Lee, H.S., Nam, C.W., 1998; "A Study on the Extraction of Gallium from Gallium Arsenide Scrap", *Hydrometallurgy*, 49, 125-133.
- Lu, X., Wang, L., Wang, X., Niu, X., 2008; "Research Progress in Gallium Recovery Technology", *Nonferrous Met.*, 60, 105-108.
- Mahajan, S., 1988; "Role of Materials Science in Development of InP/InGaAsP Light Emitting Diodes for Light Wave Communications", *Trans. IIM*, 41, 205–217
- Mastalerz, M., Drobnik, A., 2012; "Gallium and Germanium in Selected Indiana Coals", *International Journal of Coal Geology*, 94, 302-313.
- Material Flows on Mineral Resources, 2008; JOGMEC (Japan Oil, Gas and Metals National Corporation), 241–247.
- Mcshane, J., 1992; "An Introduction to neural nets", *Hewlett Packard Journal*, 43 (1), 62-65.
- Moskalyk, R.R., 2003; "Gallium: The Backbone of the Electronics Industry", *Minerals Engineering*, 16, 921-929.
- Nasukawa, M., 2009; "Overview", *Chem. Chem. Ind.*, 62 (6). 617–621.
- Nishihama, S., Hirai, T., Komazawa, I., 1999; "Separation and Recovery of Gallium and Indium from Simulated Zinc Refinery Residue by Liquid-Liquid Extraction", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 38, 1032-1039.
- Nishiyama, T., 2009; "Rare Metal and Resources – The Statistics and Prospects of 38 Elements", Maruzen Co., Ltd., Tokyo, 101–103.
- Okabe, T., 2010; "The Current Status and Prospect on Precious & Rare Metals", *Chem. Eng. Jpn.*, 74 (3), 102–108.
- Puvvada, G.V.K., 1999; "Liquid–Liquid Extraction of Gallium from Bayer Process Liquor Using Kelex 100 in the Presence of Surfactants", *Hydrometallurgy*, 52, 9–19.
- Sturgill, J.A., Swartzbaugh, J.T., Randal, P.M., 2000; "Pollution Prevention in the Semiconductor Industry through Recovery and Recycling of Gallium and Arsenic from GaAs Polishing Wastes", *Clean Prod. Proc.*, 2, 18-27.
- USGS, 2014; *United States Geological Survey–Minerals Commodity Summaries*, USGS, Denver.
- Xu, K., Deng, T., Liu, J., Peng, W., 2007; "Study on the Recovery of Gallium from Phosphorus Flue Dust by Leaching with Spent Sulfuric Acid Solution and Precipitation", *Hydrometallurgy*, 86, 172-177.
- Zhao, Z., Yang, Y., Xiao, Y., Fan, Y., 2012; "Recovery of Gallium from Bayer Liquor: A Review", *Hydrometallurgy*, 125-126 (1-4), 115–124.

POLIÜRE TÜRÜ PÜSKÜRTÜLEN İNCE KAPLAMALARIN KAYA SAPLAMALARI PERFORMANSLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

EFFECT of POLYUREA TYPE THIN SPRAY-ON LINERS on ROCK BOLT PERFORMANCES

Eren KÖMÜRLÜ*
Ayhan KESİMAL**
Ümit ÇOLAK***

ÖZET

Çelik tahkimat malzemelerinin alternatifi olarak 1980'li yıllardan itibaren paslanma problemi olmayan, yüksek dayanıma sahip farklı kompozit malzemeler ile kaya saplamaları üretilmekte olsa da, düşük fiyatları nedeni ile çelik halen en yaygın kullanılmakta olan kaya saplaması malzemesidir. Bu çalışmada, poliüre türü termoset polimer, kaya saplaması korozyonunun önlenmesi adına yeni bir kaplama malzemesi olarak değerlendirilmiştir. Poliüre hızlı polimerleşen ve çelik yüzeyine çok iyi yapışma özelliği gösteren bir elastomerdir. Ribar ve split-set türü kaya saplamaları poliüre püskürtme yöntemi ile pratik bir şekilde kaplanmış ve bu işlemin tahkimat performansı üzerindeki etkileri Çayeli Bakır İşletmeleri'ne ait yeraltı galerilerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile incelenmiştir. Poliüre kaplamalı ve kaplamasız olarak montajı yapılmış olan kaya saplamalarına kısa ve uzun dönemli olarak yeraltında çekme testleri uygulanmış ve poliüre kaplamanın ekonomik olarak su yalıtımı sağladığı, aynı zamanda taşıma kapasitesini önemli ölçüde artırdığı görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Kaya Saplamaları, Püskürtülen ince kaplamalar (PİK), Polimer kaplamalı kaya saplamaları, Yeraltı tahkimatı, Çelik korozyonu, Poliüre

ABSTRACT

Although noncorrosive and high strength composite rock bolts have been produced since 80's, steel is still the most widely used rock bolt material due to its cheaper prices. In this study, polyurea type thermoset polymer was assessed as a new material to prevent rock bolt corrosion. Polyurea is an elastomer polymerizes fast, and adheres on steel surfaces well. Rebar and split-set types of rock bolts were easily coated with polymer spraying. The experimental studies were performed under acidic underground water conditions at the Cayeli Copper Mine. Long and short terms pull-out tests were performed on polymer coated and uncoated rock bolts separately to examine the effect of the surface treatment method on rock bolt corrosion. It was observed that polyurea layer prevented steel corrosion economically while bolt load bearing capacity was being increased significantly.

Key words: Rock bolts, Thin spray-on liner (TSL), Polymer-coated rock bolt (PCRB), Underground support, Steel corrosion, Polyurea

* Araş. Gör., Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Müh. Böl., TRABZON, ekomurlu@ktu.edu.tr

** Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Müh. Böl., TRABZON

*** Maden Mühendisi, Çayeli Bakır İşletmeleri, RİZE

GİRİŞ

İlk kez 1910'lu yıllarda Almanya'da kömür madenlerinde kullanıldığı bilinen kaya saplamaları, 1930'lu yıllardan itibaren hızla yaygınlaşan ve 20. yüzyılın üçüncü çeyreğinde Dünya genelinde popüler olan bir tahkimat türüdür. Kaya saplamalarının uygulamada yaygınlaşması, çağdaş tahkimat anlayışının doğmasına ve püskürtme beton ile kullanımları Yeni Avusturya Tünel Açma Metodunun bulunmasına olanak sağlamıştır (Kovari, 2003; Muller, 1990).

Kaya saplamaları için hizmet süreleri uygulama alanına bağlı olarak değişmektedir. Otoyol tünelleri, demiryolu tünelleri gibi 100 yılın üzerinde tahkimat basıncı sağlanması amaçlanan alanların yanı sıra, maden galerinde olduğu gibi birkaç aya kadar düşebilen kullanım süreleri mevcuttur (Kolymbas, 2005; Hoek, 2006; Holter, 2014). Özellikle, sülfürik madenlerde olduğu gibi asidik yeraltı sularına maruz kalan kaya saplamaları çok hızlı korozyona uğramakta ve taşıma kapasitelerini önemli ölçüde kaybetmektedirler (Kömürlü ve Kesimal, 2013a).

Tahkimat uygulamalarına yönelik çeşitli eksiklikler, yeni malzemelerin kullanımı ihtiyacını doğurmuştur. Bu duruma örnek olarak, paslanma problemine sahip çelik saplamalar yerine 1980'li yıllardan itibaren alternatif olarak lif katkılı polimer kompozit saplamaların üretilmesi gösterilebilir. Bu ürünler yüksek performansla sahip olsalar da, fiyatları nedeni ile çelik gibi yaygın kullanılmamaktadırlar (Ranasooriya, vd. 1995; Li and Lindblad, 1999; Kömürlü, 2012; Hassell ve Villaescusa, 2005; Kömürlü ve Kesimal, 2013b). Paslanma problemi olmayan polimer malzemeler çelik yerine kullanılmaktansa, su yalıtımı sağlayacak kaplamalar olarak uygulanmaları ekonomik olarak korozyon probleminin çözülmesine katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada, poliüre türü termoset polimer kaplama yöntemi ile kaya saplamalarının korozyondan korunmasına ve taşıma kapasitelerindeki etkilere yönelik arazi ölçekli deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Poliüre, günümüzde gemilerde, tanklarda, kamyon kasaları iç yüzlerinde, yapılarda, havuz ve atık depolama alanlarının izolasyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılmakta olan izosiyenat bazlı termoset bir polimer türüdür (Kömürlü ve Kesimal, 2012a). Bu uygulamara ek olarak, poliürenin sülfürik asit ve hidrojen sülfür gazlarına karşı olan yüksek kimyasal direnci dolayısı ile kanalizasyon çeperlerinde kullanımı hızla yay-

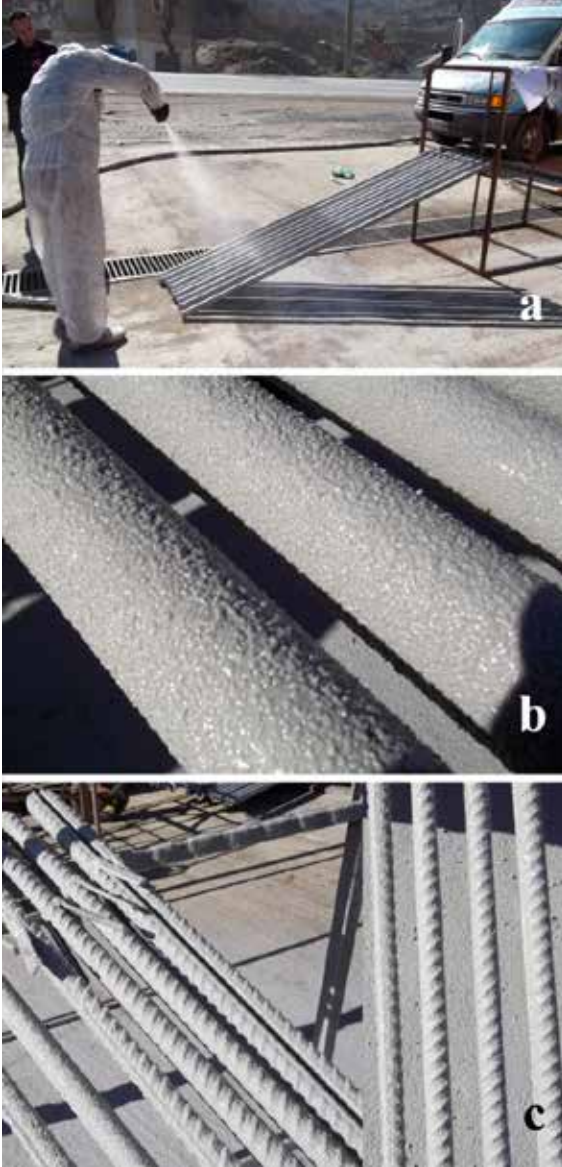
gınlaşmaktadır (Muyneck vd., 2009).

Poliüre, beton, çelik ve kayaç yüzeylerine çok iyi yapışabilmekte olan bir malzemedir. Poliüre, su yalıtım malzemesi olarak püskürtme membran yöntemi ile geleneksel membran örtülerine karşılık sahip olduğu uygulama pratikliği ve yalıtım performansı nedeniyle tünelcilik sektöründe hızla yaygınlaşmaktadır. Aynı zamanda, püskürtülen ince kaplamalar (PİK) adı altında tahkimat amaçlı olarak 1990'lı yıllardan itibaren madencilikteki yerini almıştır (Ozturk, 2012a; Ozturk, 2012b; Ozturk ve Tannant, 2010; Tannant, 2001; Holter, 2014; Kömürlü ve Kesimal, 2013a; Jain and Gupta, 2012; Kömürlü ve Kesimal, 2012b; Zhu vd., 2009; BASF, 2009).

Poliüre, sıvı fazda bulunan izosiyenat ve amin türü birleşenlerin kimyasal reaksiyonları sonucu polimerleşmektedir. Karışımın sıvı fazda kalma süresi ve polimerleşme zamanları ürün türüne bağlı olarak tercih edilebilmekte olup, bu çalışma kapsamında iki veya üç saniye içerisinde polimerleşmeye başlayan bir ürün kullanılmıştır. Profesyonel poliüre püskürtme makinesi ve ekipmanları ile kaplamaları yapılan kaya saplamalarının korozyona karşı dirençleri ve taşıma kapasitelerine yönelik testler Çayeli Bakır İşletmeleri'ne ait galerilerde gerçekleştirilmiştir.

1. Deneysel Çalışma

Toplam 30 adet ribar türü dolgulu (15 adet) ve split-set türü sürtünmeli (15 adet) kaya saplamaları poliüre püskürtme yöntemi ile kaplanmıştır (Şekil 1). Yatık vaziyette yaslanmış saplamalar, üzerine püskürtme uygulanması esnasında tüm yüzeylerin kaplanması için birkaç kez döndürülmüştür. Kullanılan ribar ve split-set türü kaya saplamaları 2.4 metre uzunluğundadır. Galvanizli yüzeye ve 39 mm nominal çapa sahip olan split-setler 35 mm çapındaki deliklere uygulanmışlardır. Ribarlar ise 22 mm çapında, nervürlü ve galvanizsiz yüzeye sahip olup su- çimento harcı ile dolgulu olarak uygulanmışlardır. Şekil 1c'de görüldüğü gibi, poliüre nervür şekillerini koruyacak şekilde kaplanabilmiştir. Profesyonel ekipmanların kullanımı ile iki kişi tarafından 30 adet kaya saplaması pratik bir şekilde 15 dakika içerisinde kaplanmıştır.



Şekil 1. a) Poliüre Püskürtme, b) Poliüre Kaplamalı Split-Set Yüzeyleri, c) Poliüre Kaplamalı Ribar Yüzeyleri

Çayeli Bakır İşletmelerinde su problemi olan bir bölgede kaplamalı ve kaplamasız numunelerin montajları aynı şekilde gerçekleştirilmiştir. Poliüre türü püskürtülen ince kaplamanın tahkimat performansı üzerindeki etkileri kaya saptamalarına yönelik çekme testleri (pull-out test) ile 3 farklı zaman dilimi için (1 hafta, beş hafta, 6 ay) incelenmiştir (Şekil 2).

Polimer kaplanmamış split-set numuneleri için ilk hafta sonunda maksimum taşıma kapasiteleri 40 ± 5 kN değerindeyken, altıncı ay sonuna geldiğinde büyük oranda düşüş yaşanarak 25 kN ve daha düşük değerler ölçülmüştür. Şekil 3'te 6 aylık süreçte korozyona uğramış olan ve 18 kN çekme testi sonucuna sahip bir kaya saptaması

görülmektedir. Poliüre kaplamalı split-setler için ise, saptama ve delik temas yüzeyinde meydana gelen adeziv bir yenilme olmamıştır. Şekil 4'te görüldüğü gibi tüm testler çelik kırılması nedeni ile sonlandırılmıştır. Korozyondan kaynaklı yük değerlerinde düşüş yaşanmamış ve ortalama 81 kN seviyesinde çelik kırılmaları gerçekleşmiştir. Split set testlerine yönelik sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 2. Çekme Testleri



Şekil 3. Korozyona Uğramış Split-Set



Şekil 4. Kırılmış Split-Set Çeliği

Çizelge 1. Split Set Numuneleri İçin Çekme Testi Sonuçları (P: Poliüre Kaplamalı, K: Kaplamasız, F_u : Maksimum Yük, S.D.: Standart Sapma)

Numune Türü	F_u (kN)	S. D. (kN)	Numune Sayısı
P (1 Hafta)	82.4	6.6	5
P (5 Hafta)	83.8	5.8	5
P (6 Ay)	78.2	5.4	5
K (1 Hafta)	40.4	3.7	5
K (5 Hafta)	33.4	4.9	5
K (6 Ay)	21.4	3.2	5

Deneylerin gerçekleştirildiği bölgede rutin olarak uygulanan otuzun üzerinde çekme testi sonuçlarına göre, kaplamasız ribarların enjeksiyon ve montaj detaylarına bağlı olarak ilk 6 aylık periyot içerisinde genellikle 80 kN ve 120 kN aralığında değişen taşıma kapasiteleri olduğu görülmüştür. Maksimum yüke ulaşılması esnasında çelik ribarların delik içinden sıyrıldığı gözlemlenmiştir. Kaplamalı ribarlar için ise taşıma kapasiteleri test ekipmanının maksimum yük değeri olan 200 kN mertebesine ulaşılması sebebiyle belirlenememiştir. Bu nedenle, tüm numuneler için (1 hafta, 5 hafta, 6 ay) kaplamalı ribarların taşıma kapasitesinin 200 kN değerinin üzerinde olduğu söylenebilir (Çizelge 2). Bu ribarlara ek olarak, 6 adet ekstra ribar boylarının yarısı kaplanmış olarak test edilmiştir ve sonuç tamamı kaplanmış ribarlar ile aynı olmuştur; maksimum yük esnasında herhangi bir yenilme yaşanmamıştır. Korozyondan koruma amaçlı olarak uygulanan poliüre, kaya saplamalarının taşıma kapasiteleri açısından da oldukça önemli oranda artış sağlamıştır.

Çizelge 2. Dolgulu Ribarlar İçin Çekme Testi Sonuçları

Numune Türü	Test Süreleri	F_u (kN)
P	1 hafta, 5 hafta, 6 ay	>200
K	1 ay – 6 ay	80-120

2. Poliüre Kaplama Maliyetleri

Tüketilen malzeme miktarına göre, kaya saplamalarının poliüre ile kaplanma maliyeti yaklaşık metre başına 0,6 Amerikan Doları olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, iyi polimerleşme ve çelik yüzeyine yapışma açısından profesyonel ekipmanların kullanılması gerekmektedir. Bu uygulamada kullanılan profesyonel poliüre püskürtme ekipmanının maliyeti yaklaşık 25000 Amerikan Dolarıdır. İşçilik maliyetleri ise oldukça düşüktür; iki kişinin 100 adet üzerinde kaya saplamasını rahatlıkla bir saat içerisinde kaplayabileceği görülmüştür.

3. Tartışma ve Sonuçlar

Poliüre kaplamalı kaya saplamalarının kaplamasız saplamalara nazaran taşıma kapasitelerinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Poliürenin çelik, beton ve çimentolu enjeksiyon malzemeleri ile yüksek adezyona sahip olduğu bilinmekte olup, bu çalışma kapsamında dolgulu ribarlara yönelik gerçekleştirilen testler ile doğrulanmıştır (Jain ve Gupta, 2012; Ozturk, 2012a; Kömürlü ve Kesimal, 2012a; Zhu vd., 2009). Split-set türü sürtünmeli saplamalardan elde edilen sonuçlar ışığında ise poliürenin delik yüzeyi ile yüksek aderans sağladığı görülmüştür. Poliürenin çeliğe nazaran daha yüksek sürtünme performansı sağlaması deformasyon özellikleri nedeni ile delik yüzeyinin şeklini alması ve daha iyi temas sağlamasından kaynaklı olduğu görüşüne varılabilir (Qiao ve Wu, 2011; Windsor ve Thompson, 1992; Pellet ve Egger, 1996).

Split-set türü sürtünmeli kaya saplamaları enjeksiyonun kürlenmesi beklenmediğinden uygulandıkları andan itibaren tahkimat basıncı sağlayabilirler, ancak doğrudan zemin ile temas halinde olmaları nedeni ile korozyon problemleri mevcuttur. Sürtünmeli kaya saplamaları genelde maden galerilerinde olduğu gibi kısa süreli tahkimat uygulamaları için kullanılmaktadırlar (Tamrock, 1997; Hoek, 2006; Hemphill, 2013). Mon-

taj esnasındaki sürtünmeler nedeni ile saplama yüzeyi (çelik veya galvaniz yüzey) çizilmekte ve bu durum erken korozyon oluşumuna sebebiyet vermektedir. Diğer taraftan, çelik tüp (split-set) iç yüzeyinde sürtünme ve çizilme olmadığından galvaniz tabaka bu yüzeyden başlayacak bir korozyon oluşumunu önleyebilecektir. Çatlak direnci son derece yüksek olan poliüre tabaka ile delik içindeki sürtünmelerin çelik yüzeyi üzerindeki olumsuz etkileri giderilebilecektir.

Poliüre kaplamalı split-setlere yönelik test sonuçlarında yeraltında bekleme süresine bağlı olarak düşme yaşanmamış, kaplamasız kaya saplamaları ise taşıma kapasitelerinin yarısını ilk 6 aylık süreç içerisinde kaybetmiştir. Altıncı ay sonundaki %400 mertebesine ulaşan kaplamalı ve kaplamasız kaya saplamalarına ait taşıma kapasiteleri arasındaki fark, poliüre kaplamanın madencilik faaliyetleri için kullanılabilir, ve otoyol, demiryolu gibi uzun hizmet süresine sahip tüneller için incelenmeye değer olduğunu göstermektedir. Taşıma kapasitesi konusundaki sağlanan bu önemli iyileşme, poliürenin yüzey, mekanik özellikleri ve korozyonu önlemesinden kaynaklanmaktadır.

Polimerleşme tepkimeleri kaplama yöntemine bağlı olarak değişmekte olup, iyi polimerleşme ve adezyon elde etmek için profesyonel ekipmanların kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Sıvı fazdaki birleşenlerin eşit oranda ve iyi bir şekilde karışması, sıvı fazda kalma süresi göz önünde bulundurularak uygulamanın gerçekleştirilmesi önemlidir (BASF, 2009; Kömürlü ve Kesimal, 2013b)

Kısaca, poliüre çelik kaya saplamalarının korozyona karşı korunması ve taşıma kapasitelerinin artırılmasına yönelik ekonomik olarak kullanılabilir. Farklı polimer malzemelerin de bu amaçla kullanımı incelenebilir. Gelişen malzeme biliminin takip edilmesi pek çok yeni ilerlemelere olanak sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

BASF, 2009. Solutions for tunnelling and mining injections (Brochure of injection products), Zurich

Bhise, S.V., 2002. Strength Degradation of GFRP Bars, MSc thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, USA.

Hassell, R., Villaescusa, E., 2005. Overcoring Techniques to Assess in Situ Corrosion of Galvanised Friction Bolts, Proceedings of 24th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown,

WV, USA, pp 349-356

Hemphill, G.B., 2013. Practical Tunnel Construction, John Wiley&Sons, New Jersey

Hoek, E., 2006. Kaya Mühendisliği (Turkish translation of "Rock Engineering"), Publication of The Chambers of Mining Engineers of Turkey, Ankara

Holter, K.G., 2014. Loads on sprayed waterproof tunnel linings in jointed hard rock: A study based on Norwegian cases, Rock Mechanics and Rock Engineering, 47, 1003-1020

Jain, A., Gupta, V., 2012. Construction and characterization of stainless steel/polyurea/E-glass composite joints, Mechanics of Materials, 46, 16-22

Kolybas, D., 2005. Tunnelling and Tunnel Mechanics: A Rational Approach for Tunnelling, Springer, Berlin

Kömürlü, E., 2012. Kaya ve Taneli Malzemelerde Yanal Gerilmelerin Tahkimat Tasarımı Üzerindeki Etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi FBE, Trabzon, Türkiye, 181 s.

Kömürlü, E., Kesimal, A., 2012a. Using sprayed polymer as tunnel support, Proc. 7th Asian Rock Mechanics Symposium (ARMS 7), Seoul, South Korea, pp 1486-1499

Kömürlü, E., Kesimal, A., 2012b. Poliüretan malzeme ile güçlendirilmiş zemin dayanımının incelenmesi, *14. ulusal zemin mekaniği ve temel mühendisliği kongresi bildiriler kitabı*, 631-642, Isparta.

Kömürlü, E., Kesimal, A., 2013a. New Support Materials for Forepoling and Umbrella Applications, Proceedings of 3rd International Symposium on Underground Excavations for Transportation, November 29-30, Istanbul, Turkey, pp 423-435

Kömürlü, E., Kesimal, A., 2013b. Geçmişten günümüze Tünelcilik ve tahkimat malzemeleri, Madencilik, 52, 33-47

Kovari, K., 2003. History of the sprayed concrete lining method-part II: milestones up to the 1960s, Tunnelling and Underground Space Technology, 18, 71-83

Li, C., Lindblad, K., 1999. Corrosivity classification of the underground environment, Rock Support and Reinforcement Practice in Mining (Ed. by Villaescusa, Windsor and Thompson), AA Balkema, Rotterdam, pp 69-76

Muynck, W.D., Belie, N.D., Verstraete, W., 2009. Effectiveness of admixtures, surface treatments and antimicrobial compounds against biogenic sulfuric acid corrosion of concrete, Cement and Concrete Composites, 31, 163-170

Muller, L., 1990. Removing the misconceptions on the New Austrian Tunnelling Method, Tunnels & Tunnelling, 22, 15-18

Ozturk, H., 2012a. Püskürtülen İnce Kaplamaların

Elastik Özellikleri, Madencilik, 50, 41-45

Ozturk, H., 2012b. Work of adhesion of thin spray-on liners, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 45, 1095-1102

Özturk, H., Tannant, D.D., 2010. Thin spray-on liner adhesive strength test method and effect of liner thickness on adhesion, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 47, 808-815

Pellet, F., Egger, P., 1996. Analytical model for the mechanical behaviour of bolted rock joints subjected to shearing, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 29, 73-97

Ranasooriya, J., Richardson, G.W., Yap, L.C., 1995. Corrosion behaviour of friction rock stabilisers used in underground mines in Western Australia, 6th AusIMM Underground Operators Conference, Kalgoorlie, Australia, pp 9-16

Qiao, J., Wu, G., 2011. Tensile properties of fly ash/polyurea composites, *Journal of Material Science*, 46, 3935-3941

Saçak, M., 2005. Polymer technology (in Turkish), Gazi, Ankara

Tamrock Corp., 1997. *Underground Drilling and Loading Handbook*, Tampere

Tannant, D.D., 2001. Thin Spray-on Liners for Underground Rock Support, 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey(IMCET 2001), Ankara, Turkey, pp 57-73

Windsor, C.R., Thompson, A., 1992. A new friction stabilizer assembly for rock and soil reinforcement applications, *Rock Support* (Ed. by Kaiser PK, McCreath DR), AA Balkema, Rotterdam, pp 523-530

Zhu, Y., Liechti, K.M., Chandar, K.R., 2009. Direct extraction of rate-dependent traction–separation laws for polyurea/steel interfaces, *International Journal of Solids&Structures*, 46, 31-51

JİPSİN ISIL DAVRANIŞINA MEKANİK AKTİVASYONUN ETKİSİ

EFFECT of MECHANICAL ACTIVATION on THERMAL BEHAVIOR of GYPSUM

Muhammed ŞENER*
Murat ERDEMOĞLU**

ÖZET

Günümüzde, mekanik aktivasyonun, özgün bir ürün üretimi amacıyla ısı işlemlerle değerlendirilen birçok endüstriyel mineralin ısı davranışında dramatik değişimlere yol açabildiği artık çok iyi bilinmektedir. Bu çalışmada, mekanik aktivasyon oluşturmak üzere uygulanan aşırı öğütmenin jipsin, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, hemihidrat, $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ (alçı) oluşturmak üzere kalsinasyonu üzerine etkileri araştırılmıştır. Mekanik aktivasyon oluşturmak üzere jips örnekleri tungsten karbür ortama sahip gezegensel bilyalı değirmen kullanılarak aşırı biçimde öğütülmüşlerdir. Aşırı öğütülmüş örnekler, tane boyu dağılımı (PSD), özgül yüzey alanı (BET), kristal yapı (XRD), yüzey morfolojisi (SEM), kimyasal yapı (FT-IR), termogravimetrik (TGA) ve ısı davranış (DSC) gibi çok çeşitli özelliklerin tanımlanması amacıyla çeşitli enstrümantal teknikler kullanılarak analiz edilmişlerdir. Sonuçlara göre, jipsin kristal yapısı, artan öğütme süresiyle birlikte, jipsin hemihidrata, hemihidratın anhidrite (CaSO_4) dönüşüm sıcaklıklarında düşüşe yol açacak biçimde az miktarda bozulabilmiştir. Aşırı öğütmenin, yine de jipsin ısı dönüşümleri için gerekli özgül enerji miktarında azalmaya yol açabilecek kadar mekanik aktivasyon oluşturduğu yorumu yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Jips, Mekanik Aktivasyon, Isıl Davranış, Karakterizasyon

ABSTRACT

It is now very-well known that mechanical activation can lead to dramatically changes in the thermal behaviour of many industrial minerals processed thermally for manufacturing a specific product. In this study, effects of intensive milling performed to generate mechanical activation on the calcination of gypsum, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, to give hemihydrate, $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ (plaster of Paris) was investigated. Gypsum samples were intensively milled in order to achieve mechanical activation using planetary ball mill with tungsten carbide media. Intensively milled samples were analysed using various kinds of instrumental techniques for characterisation of a wide variety of the properties like particle size distribution (PSD), specific surface area (BET), crystal structure (XRD), surface morphology (SEM), chemical structure (FT-IR), thermogravimetric (TGA) and thermal behaviour (DSC). According to the results, crystalline structure of the gypsum can be slightly deformed with increasing milling time, yet resulting in the decrease of the temperatures at which gypsum converts to hemihydrate and hemihydrate to anhydride (CaSO_4). It was concluded that intensively milling creates mechanical activation yet enough to decrease the amount of specific energy needed for thermal conversions of gypsum.

Keywords: Gypsum, Mechanical Activation, Thermal Behavior, Characterization

* Maden Yük. Müh., İnönü Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Böl., MALATYA, musener@gmail.com
** Prof. Dr., İnönü Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Böl., MALATYA

GİRİŞ

Mekanokimya, mekanik enerji etkisi ile maddelerin kimyasal ve fizikokimyasal dönüşümlerini inceler (Heinicke, 1984). Ostwald'a (1887) göre ise, mekanokimya, termokimya ve elektrokimya gibi kimyanın bir dalıdır. Mekanik aktivasyon terimi ise Smekal (1952) tarafından; kimyasal özellikleri değişmeden kalan bir katının reaksiyona girme yeteneğinde artış sağlayan bir proses olarak tanımlanmıştır. Juhasz (1974) ise, mekanik aktivasyon sırasında gerçekleşen değişimlerin kaynağının, birincil ve ikincil olarak iki kısma ayrıldığını belirtmiştir. Buna göre, birincil süreçler (iç ve yüzey enerjisinin artması, yüzey alanının artması, mineralin kohezyon enerjisinin azalması gibi) genellikle mineralin reaktifliğini artırır. İkincil süreçler (aglomerasyon, yüzesoğurum, yeniden kristallenme gibi) ise aktivasyon öğütmesi sırasında kendiliğinden oluşur, hatta öğütme tamamlandıktan sonra bile ortaya çıkabilir.

Mekanik aktivasyonun mineral üzerindeki birincil etkisi ufalanma, yani tane boyu küçülmesidir. Mekanik aktivasyon sırasında, öğütmeyle mineralin tane boyu küçülürken, mekanik enerji yoğunluğuna bağlı olarak kristal yapısında kusurlar oluşur (Baláz, 2006). Böylece, daha önce henüz hiçbir etkiye maruz kalmamış taze, temiz yüzeyler ve sonuçta yarı-kararlı (metastable) türler oluşur (Boldyrev, 2004; Sekulić, 1999). Katı hal dönüşüm sıcaklığını ve sulu ortamlarda tepkime sıcaklığını düşürmesi, çözünürlük miktarında ve hızında artış sağlaması ve suda çözünürlüğü daha fazla bileşiklerin hazırlanmasına elverişli olması, mekanik aktivasyonun sağladığı üstünlüklerinden bazılarıdır. Ayrıca, mekanik aktivasyonun uygulandığı tesislerde, tepkimelerin artık daha kısa sürelerde gerçekleştiği, daha basit ve daha ucuz reaktörler ya da fırınlar kullanılır. Mevcut tesiste yapılan tek değişiklik, reaktör ya da fırından önce enerji verimliliği yüksek bir değirmen yerleştirilmesinden ibarettir.

Mekanik aktivasyona maruz bırakılan mineralerin ısı davranışının incelenmesi, kalsinasyon yoluyla ürün üretilen endüstriyel işlemlerde gelişmelere yol açabilmektedir. Örneğin; Welham (2002) tarafından tungsten karbür üretmek için CaWO_4 ve kokun karbotermik kavurma işlemi öncesinde birlikte öğütülmesinin karbotermik tepkime hızında belirgin artışlara yol açtığı bildirilmektedir. Baláz ve Ebert'in (1991) açıkladığı gibi, mekanik aktivasyon işlemi sülfürlü mineralerin termal süreçlerinde, oksidasyon, bozulma ve süblimleşme sıcaklıklarını düşürmektedir.

Pourghahramani ve Forsberg (2007), planeteri bilyalı değirmende gerçekleştirilen mekanik aktivasyonun hematitin hidrojen gazıyla indirgenme davranışını değiştirdiğini; indirgenme sıcaklığının düşük sıcaklık zonunda gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Erdemoğlu ve Gock (2009) tarafından stronsiyum karbonat üretiminde kullanılan selestitin (SrSO_4) SrS üretmek amacıyla kokla birlikte öğütülerek mekanik olarak aktifleştirilmesinin, SrS'ün 1100 °C'den daha düşük sıcaklıklarda oluşmasını sağladığı açıklanmıştır.

Kireçtaşından kireç elde edilmesi gibi alçı da jipsin (alçıtaşı) kalsinasyonu sonucunda elde edilmektedir. Bünyesinde yaklaşık %21 su bulunduran jips ısıtılınca yani kavrulunca, bu suyun %15'i uzaklaşır. Böylece 0,5 mol su içeren hemihidrat jips ya da alçı ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) elde edilmiş olur. Hemihidrat ısıtılmaya devam edilirse, yapısındaki suyun tamamını kaybeder ve anhidrit jipse (CaSO_4) dönüşmüş olur. Alçı, su ile karıştırılıp harç haline getirildiğinde kaybettiği suyu tekrar yapısına alır ve katılaştır.

Bu dönüşümler sırasında tüketilen enerji, alçı üretim maliyetinin en önemli kısmını oluşturur. Bu nedenle, maliyet azaltmak üzere önerilen her yöntem, üreticiler tarafından her zaman dikkate alınmaktadır. Bu makalede, jipsten düşük enerji maliyetleriyle alçı ve anhidrit üretimi sağlamak amacıyla; minerallerin kavrulma sırasındaki ısı davranışını etkilediği bilinen ve işleneceği süreç sırasında daha aktif davranışın diye, öğütme yoluyla minerallere yoğun biçimde mekanik enerji aktarımı olarak tanımlanan mekanik aktivasyon işleminden yararlanılmış ve jipsin ısı davranış değişimleri araştırılmıştır.

1. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

1.1. Malzeme ve Yöntem

Deneysel çalışmalar için Arslanlı Alçı A.Ş. (Elazığ) alçı fabrikasından sağlanmış ve %32,45 CaO içeriğine sahip masif yapıllı doğal alabaster jips cevheri kullanılmıştır. Cevher %0,2 SiO_2 ve %0,04 MgO içermektedir ayrıca ateşte kayıp değeri %20,63'tür. Bu CaO ve ateşte kayıp değerleriyle bağlantılı olarak cevherin yaklaşık %99 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ tenörüne sahip olduğu hesaplanmıştır (Şener, 2012).

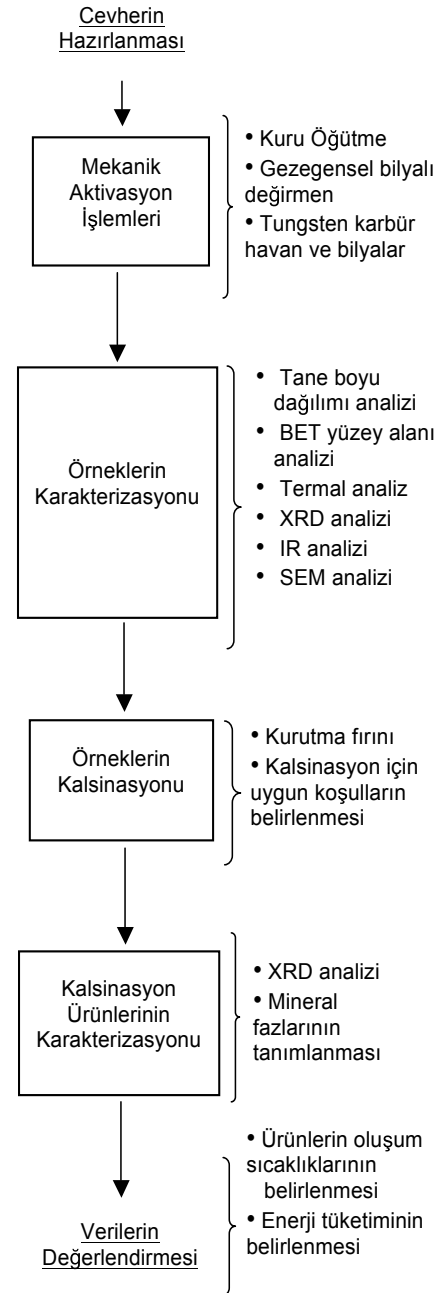
Ortalama parça boyu 20 cm olan cevher fabrika stok sahasından kürek yardımıyla örnekleme yapılarak torbalanmış ve nakledilmiştir. Daha

sonra çeneli kırıcıda boyut küçültülmüş, son olarak gövdesi ve bilyaları porselenden imal edilmiş değirmende -2 mm tane boyuna ulaşma amacı ile ön öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Böylece tane boyu -2 mm olan ve ağzı kapalı plastik kaplar içerisinde muhafaza edilen mekanik aktivasyon işlemi besleme cevheri elde edilmiştir. Mekanik aktivasyon işlemleri Fritsch marka Pulverisette 6 mono mill model gezegensel (planeteri) bilyalı değirmen kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hava soğutmalı olarak tasarlanmış değirmende öğütme ortamı olarak, sert metal tungsten karbür'den (WC) üretilmiş 250 cm³ hacminde ve 5 kg ağırlığındaki havan ile havanla aynı malzemedен üretilmiş her biri 10 mm çaplı ve 8,25 g ağırlıklı toplam 50 adet bilya kullanılmıştır. Bilya cevher oranı ağırlıkça 10, değirmen dönüş hızı ise 300 dev/dak olarak belirlenmiştir. Öğütme yardımcısı olarak ağırlıkça en çok % 2 miktarda oleik asit kullanılmıştır. Öğütme koşulları, değirmene beslenen jipsin, öğütme süresi sonunda tamamına yakınının alınabildiği, yani toz veriminin yaklaşık %100 olduğu şartlar gözetilerek belirlenmiştir. Mekanik aktivasyon işlemlerinden sonra Şekil 1'de belirtildiği gibi karakterizasyon ve kalsinasyon işlemlerine geçilmiştir. Örneklerin tanecik özelliklerini belirlemek üzere tane boyu dağılımı ve yüzey alanı ölçümleri yapılmış, bu amaçla sırasıyla Malvern marka Mastersizer 2000 model tane boyu analiz cihazı, Brunauer, Emmet ve Teller metoduyla (BET) ölçüm yapan **Micromeritics marka ASAP 2020 model yüzey alanı ölçüm cihazı, mineral taneciklerinin yüzey morfolojisinin görüntülenmesi için** Leo marka Evo 40 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Tozların kristal yapısını tanımlamak üzere Rigaku marka RadB model X-ışınları difraktometresi (XRD); kimyasal yapılarını ortaya çıkarmak için Perkin Elmer marka Precisely Spectrum One model infrared spektroskopisi (FT-IR) kullanılmıştır. Aşırı öğütülmüş jipslerin ısı davranışını gözlemlemek üzere Setaram marka Labsys1600 model cihaz kullanılarak TGA ve DTA özellikleri, Perkin Elmer marka Diamond model cihaz kullanılarak DSC özellikleri belirlenmiştir.

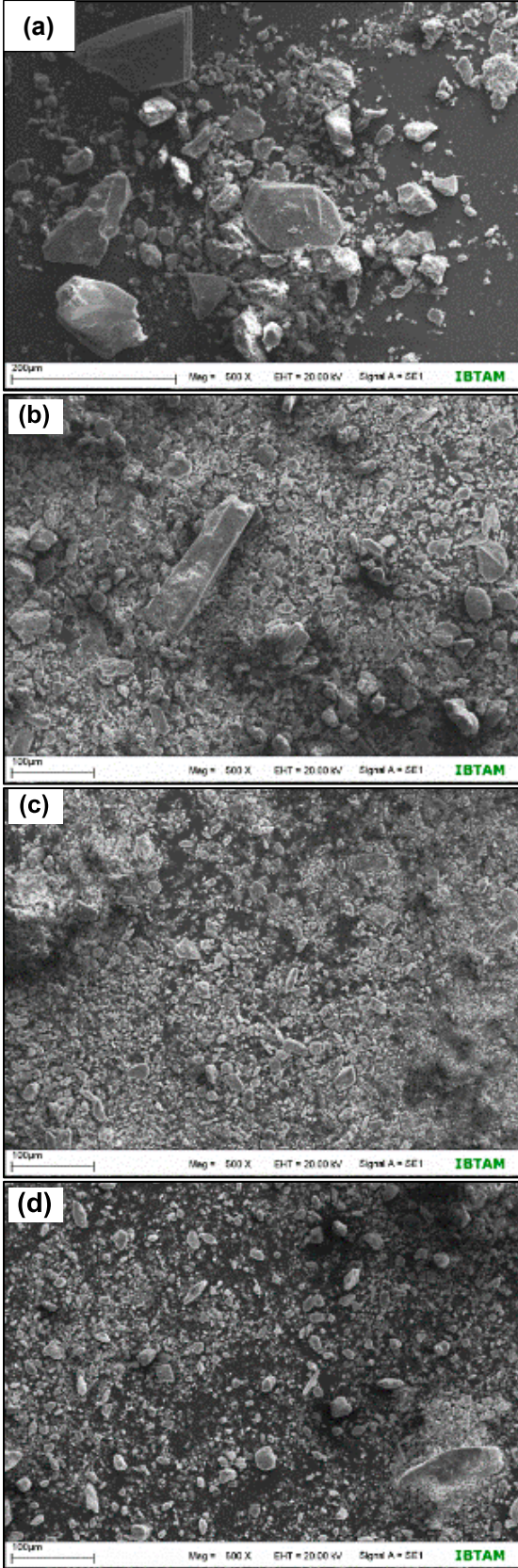
2. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Öğütmenin etkilerinin araştırılması için elde edilen tozlar, çeşitli karakterizasyon yöntemleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Şekil 3'te yer alan tane boyu dağılımı eğrileri incelendiğinde, öğütmenin mineral tane boyunda küçülmenin yanında artışa da sebep olduğu gözlenmiştir. 15

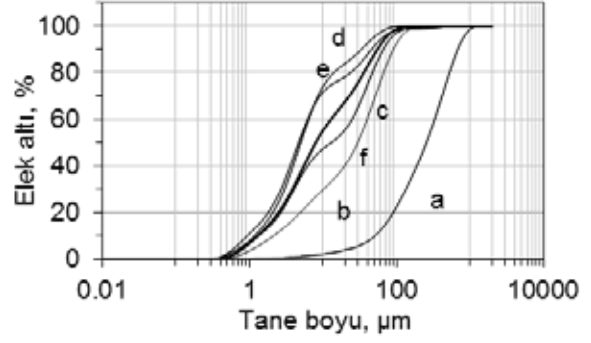
dakika öğütme süresine kadar jips tane boyu küçülmüş ancak 18 ve 20 dakika öğütlemeyle tane boyunun iri boylara doğru arttığı belirlenmiştir. Öğütülmemiş jipsin (-2 mm) %90'ının tane boyu 710,29 µm iken, 15 dakika öğütme ile 38,56 µm ye düşmüştür (Çizelge 1). Öğütülmüş ve öğütülmemiş örneklerin tane boylarındaki değişim, Şekil 2'de yer alan taramalı elektron mikroskobu görüntüleriyle de tespit edilmiştir. Tane boylarındaki artışın Şekil 4'te de gösterildiği üzere; küçük tanelerin daha büyük tanelere bağlanması sonucu olduğu düşünülmektedir.



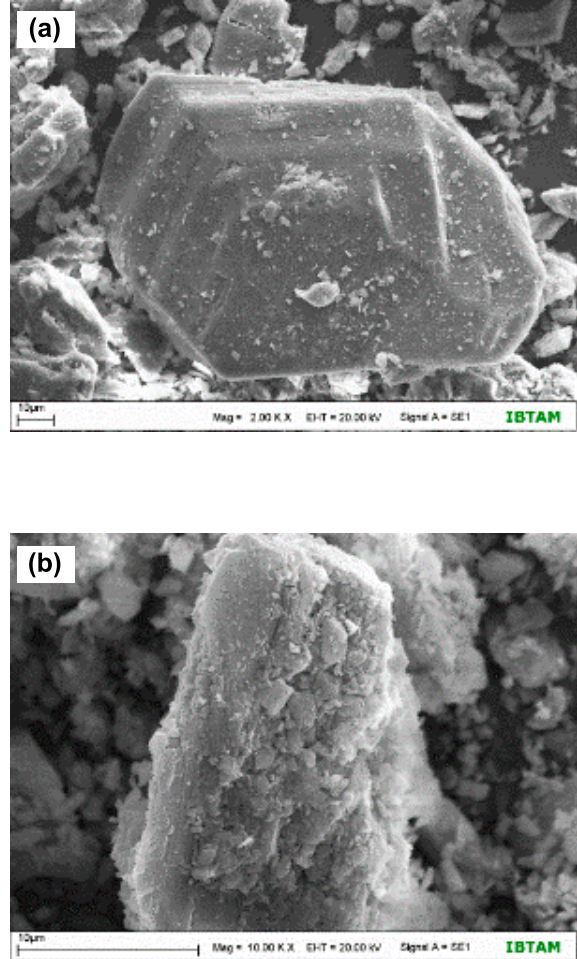
Şekil 1. DeneySEL çalışma akım şeması.



Şekil 2. Öğütülmemiş (a) ve Çeşitli Süreler Öğütülmüş (sırasıyla 5, 18 ve 20) Jips Örneklerine Ait SEM Görüntüleri.



Şekil 3. Öğütülmemiş (a), 5 dak (b), 10 dak (c), 15 dak (d), 18 dak (e), 20 dak (f) Öğütülmüş Jips Örneklerine Ait Tane Boyu Dağılım Eğrileri.



Şekil 4. Öğütülmemiş (a) ve 18 Dakika Öğütülmüş (b) Jips Örneklerine Ait SEM Görüntüleri.

Çizelge 1. Çeşitli Süreler Öğütülmüş Gips Örneklerinin Tane Boyu Ölçüm Değerleri Ve Yüzey Alanı Değerleri.

Öğütme Süresi (Dakika)	Tane Boyu (μm)			Yüzey Alanı (m^2/g)
	d_{90}	d_{50}	d_{10}	
0	710,29	250,27	53,46	0,59
5	104,31	34,19	2,45	1,18
10	63,02	9,16	1,48	1,79
15	38,56	5,74	1,34	2,63
18	52,81	5,38	1,08	3,12
20	75,90	15,04	1,51	3,38

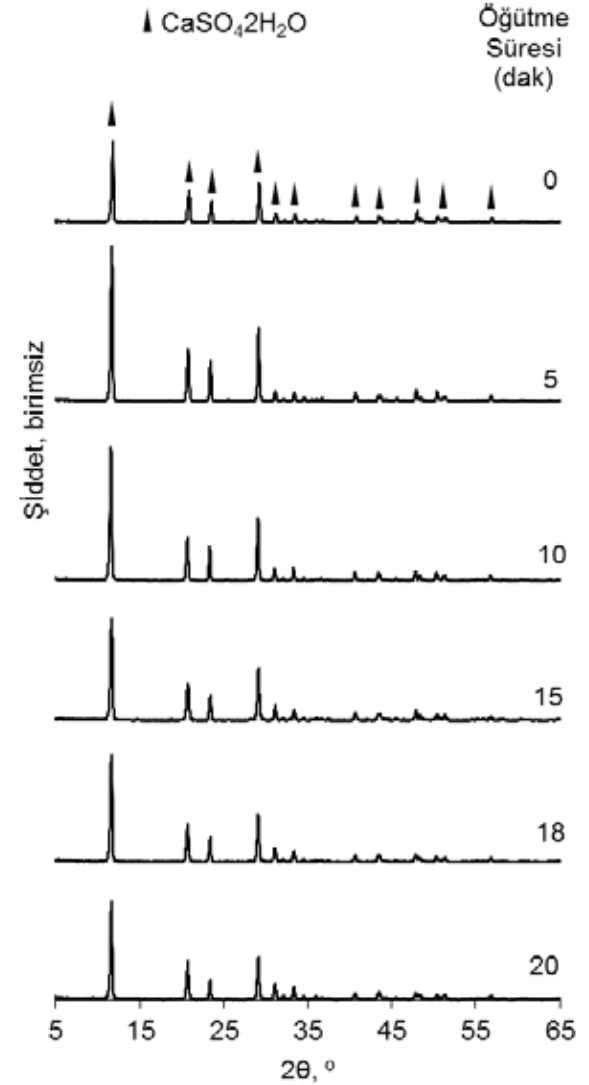
BET yüzey alanı ölçüm sonuçlarına göre öğütülmemiş gipsin spesifik yüzey alanı $0,59 \text{ m}^2/\text{g}$ 'dır. Çizelge 1'de de görüldüğü gibi, yüzey alanı 20 dakika öğütme ile $3,38 \text{ m}^2/\text{g}$ 'a yükselmiştir.

Çizelge 2. Öğütülmemiş ve Çeşitli Süreler Öğütülmüş Örneklerin XRD Analiz Sonuçları.

Öğütme Süresi (dak)	Kırılma Açısı, 2θ ($^\circ$)			
	$11,69^\circ$		$29,16^\circ$	
	Yükseklik	Alan	Yükseklik	Alan
0	801	11,32	381	5,75
5	1,54	24,39	726	10,29
10	1,30	20,16	626	8,48
15	1,00	18,13	503	7,87
18	1,06	16,93	453	7,10
20	951	14,04	413	6,56

Tozların kristal yapısındaki değişimleri incelemek üzere XRD analizinden yararlanılmıştır. Şekil 5 incelendiğinde, öğütülmemiş jipste $11,69^\circ$, $20,78^\circ$, $23,45^\circ$ ve $29,16^\circ$ 2θ kırılma açılarında yer alan ana piklerin, aşırı öğütülmüş gips örneklerinde de aynı açılarda yer aldığı gözlenmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde ise, 5 dakika öğütme ile jips mineraline ait ana piklerin yüksekliğinin ve alanının arttığı gözlenmiştir. Ancak 5 dakika öğütmeden sonra söz edilen değerlerin azaldığı tespit edilmiştir. 20 dakika öğütülen numunenin

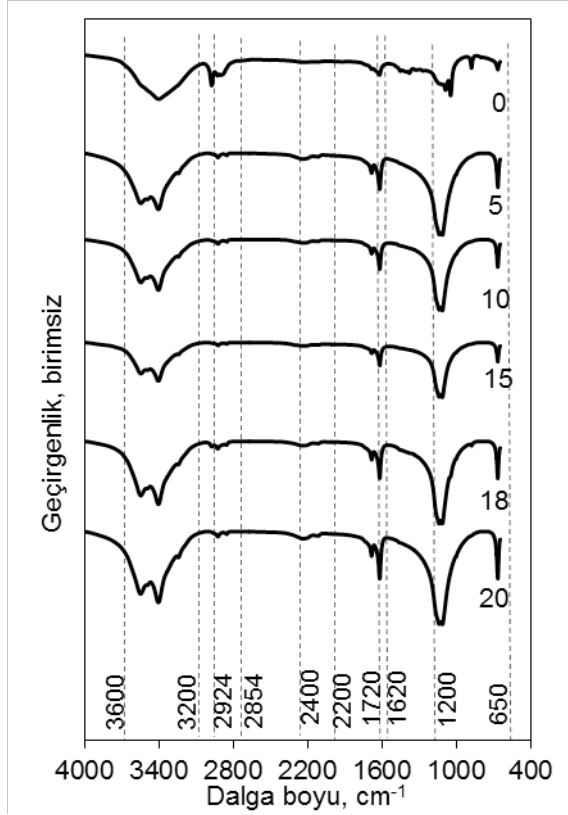
pik şiddetleri ise, öğütülmemiş jipsinkine yakın değerlerdedir. Böylelikle aşırı öğütülen numunelerin kristal yapılarında önemli bir değişimin olmadığı belirlenmiştir. Örneklerin kimyasal yapısındaki değişimleri gözlemlemek amacıyla FT-IR analizinden yararlanılmıştır.



Şekil 5. Öğütülmemiş ve Çeşitli Süreler Öğütülmüş Örneklerin XRD Desenleri.

Şekil 6'da yer alan grafiklerde, jips numunelerinde $3600-3200 \text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralıklarında ve 1620 cm^{-1} dalga boyunda sudaki hidroksil gruplarından kaynaklanan karakteristik absorpsiyon pikleri belirlenmiştir. $2924-2854 \text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralıklarında gözlenen piklerin Anbalagan (2009) tarafından da belirtildiği gibi karbonat pikleri olabileceği düşünülmektedir. $2400-2200 \text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralıklarında ise, öğütülmüş numunelerde

oleik asit (öğütme yardımcısı) varlığından kaynaklanan CH_2 gerilme titreşimleri belirlenmiştir. 1720 cm^{-1} dalga boyunda yine öğütülmüş numunelerde oleik asit varlığı sebebi ile $\text{C}=\text{O}$ titreşimleri belirlenmiştir.



Şekil 6. Öğütülmemiş ve Çeşitli Süreler Öğütülmüş Jips Örneklerine Ait FT-IR Grafiği.

$1200\text{-}650 \text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralığında ise numunelerin bünyesinde bulunan sülfat köklerinden kaynaklanan $\text{S}-\text{O}$ titreşimleri tespit edilmiştir. IR analiz sonuçları incelendiğinde, 20 dakika öğütme ile jipsin kimyasal yapısında bir değişim gözlenmemiştir.

Örneklerin ısıl davranışları termal analiz yöntemleri yardımı ile incelenmiştir. TG analizinden elde edilen kütle kaybı başlangıç ve bitiş sıcaklıkları toplu olarak Çizelge 3'te; TG eğrilerinin değişimi ise Şekil 7'de verilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre öğütme süresindeki artışla birlikte jipsten hemihidrata, hemihidrattan anhidrite dönüşüm sıcaklıklarında düşüşler meydana gelmiştir. Dönüşümler daha düşük sıcaklık bölgelerinde gerçekleşmektedir. Termal analizde, kütle kaybı sıcaklık değerinin daha düşük sıcaklık bölgelerine kaymasının bir sebebi de, kalsinasyona maruz kalan malzemenin tane boyutlarının küçülmesi olmaktadır. Ancak, öğütülmemiş jips örneği de

termal analiz için öğütülerek hazırlandığından dönüşüm sıcaklıkları düşüşünde tane boyunun etkisinin ihmal edilebileceği düşünülmektedir.

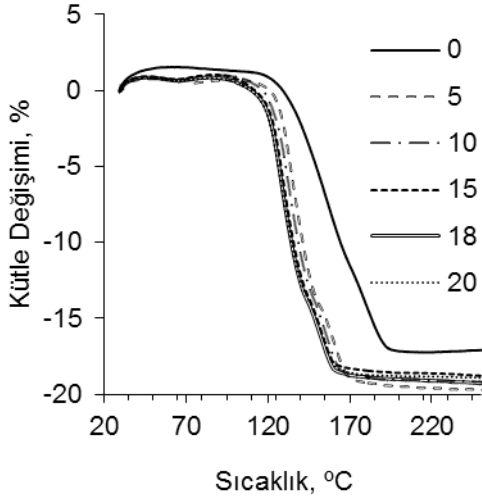
Çizelge 3. Çeşitli Süreler Öğütülmüş Örneklerin Termal Analiz Sonuçları Karşılaştırma Çizelgesi.

Öğütme Süresi (dak)	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)		
	T_1	T_2	T_3
0	112,80	166,60	192,69
5	109,17	145,97	166,89
10	107,31	144,10	161,24
15	99,65	140,92	157,04
18	100,20	140,03	157,21
20	103,00	137,87	161,24

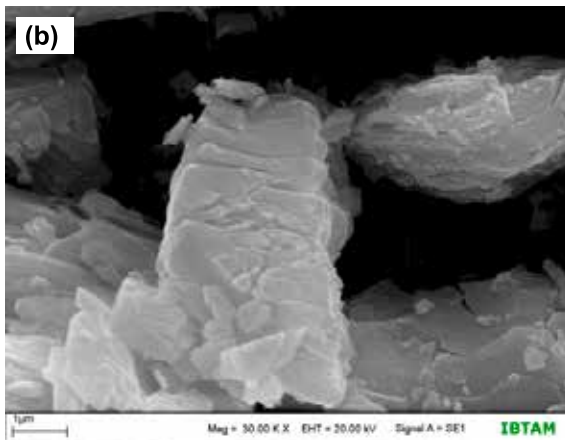
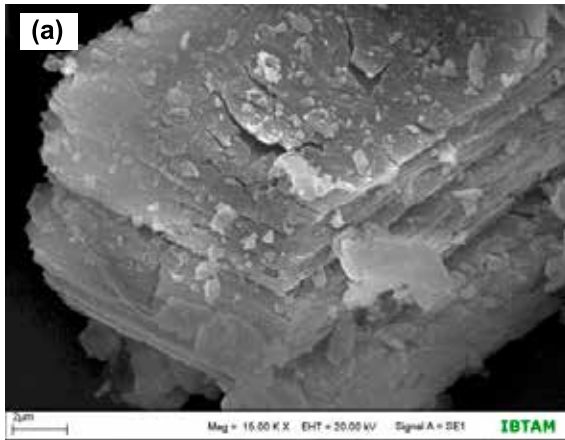
T_1 : Jipsten Hemihidrata Dönüşüm Başlangıç Sıcaklığı, T_2 : Hemihidrattan Anhidrite Dönüşüm Başlangıç Sıcaklığı, T_3 : Jips-Anhidrit Dönüşümünün Tamamlandığı ve Artık Kütle Kaybının Olmadığı Sıcaklık.

Çizelge 4. Çeşitli Süreler Öğütülmüş Örneklerin Diferansiyel Taramalı Kalorimetri Analiz Sonucu Elde Edilen Enerji Hesaplamaları.

Öğütme Süresi (dak)	ΔH (J/g)	Spesifik Enerji (kWh/ton)
0	671,99	186,60
5	688,61	191,28
10	728,67	202,39
15	664,68	184,63
18	552,02	153,34
20	693,69	192,69

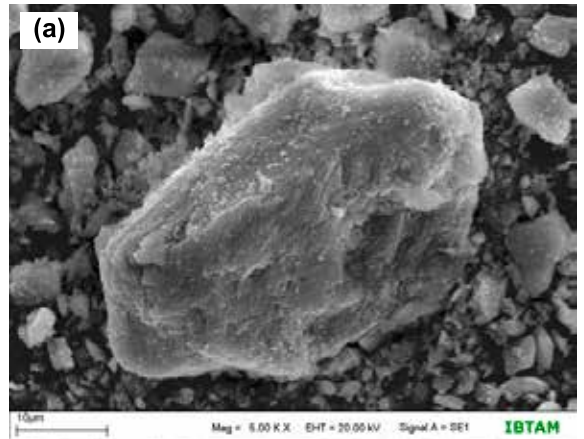


Şekil 7. Öğütülmemiş ve Çeşitli Süreler Öğütülmüş Jips Örneklerine Ait Termal Analiz Eğrileri.



Şekil 8. Öğütülmemiş ve (a) 180° ve (b) 240°C de Kalsine Edilmiş Jips Örneklerine Ait SEM Görüntüleri.

Şekil 8 ve 9'da örneklerin kalsinasyon öncesi ve kalsinasyon sonrası SEM görüntüleri verilmiştir. Örneklerin 180 °C'de kalsinasyonu ile elde edilen görüntülerde, artık hemihidrata dönüşmüş numunelerin, kristal sularının uzaklaşması ile oluştuğu tahmin edilen yüzey çatlakları ve/veya kavlamaları gözlenebilir. 240 °C'de kalsinasyon ile elde edilen görüntülerde ise, numunelerin artık tamamen anhidrite dönüştüğü gözlenmiştir. Termogravimetrik analizlerden sonra, jips örneklerinin kalsinasyon enerjilerini belirlemek üzere DSC analizleri yapılmıştır. Öğütülmemiş ve öğütülmüş jips cevheri örneklerinin DSC analiz sonuçlarının değerlendirildiği Çizelge 4'te tam kalsinasyon için, yani jipsten anhidrite dönüşüm için harcanan enerji değerleri verilmektedir. Öğütülmemiş jipsin tam kalsinasyonu için 186,66 kwh/ton enerji gerekirken, 5 dakika ve 10 dakika öğütme için bu enerji daha yüksek değerdedir. Oysa öğütme süresinin artışıyla spesifik enerji değerlerinde azalma olmuş, 20 dakika öğütme süresinde elde edilen jips kalsinasyon enerjisinde artış meydana gelmiştir. 5 ve 10 dakika öğütmedeki spesifik enerji miktarındaki artışların, örneklerin öğütülmesinde kullanılan az miktardaki oleik asitin yanması için gereken enerjiden de kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Daha uzun sürelerde öğütme için de oleik asit kullanılmış olsa da, kalsinasyon sıcaklığındaki saptanan düşüşün bir sonucu olarak spesifik enerji miktarında azalma meydana geldiği varsayılmaktadır. 20 dakika öğütme işlemi ile elde edilen jipsin tam kalsinasyonu için gerekli spesifik enerji miktarının daha yüksek olmasının sebebi olarak da, 18 dakika öğütmeye göre daha az mekanik aktivasyon sağlandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte, öğütme yardımcısının miktarındaki göreceli artışın da bu duruma neden olabileceği göz ardı edilmemelidir.





Şekil 9. 20 dakika Öğütülmüş ve (a) 180 ve (b) 240 °C de kalsine Edilmiş Gips Örneklerine Ait SEM Görüntüleri.

SONUÇLAR

Çalışma kapsamında jips cevheri, hemihidrat ve anhidrite dönüşüm sıcaklığının düşürülmesi amacıyla mekanik aktivasyona maruz bırakılmıştır. Bu amaçla yapılan deneyler sonucunda, tane boyu ölçümü ve SEM analizleri yardımıyla, 15 dakika öğütme süresine kadar örneklerin tane boyunda önce azalma, daha uzun sürelerde ise, ince tanelerin agregasyonuna bağlı olarak artış olduğu belirlenmiştir. Öğütülmüş örneklerin BET yüzey alanı, öğütme süresine paralel olarak artmıştır. Az da olsa mekanik aktivasyona sebep olacak kadar bazı XRD kristal yapı bozukluklarına rastlanmıştır. TGA sonuçları jipsin alçıya ve alçının anhidrite dönüşüm sıcaklık bölgeleri daha düşük sıcaklık bölgelerine kaydığını göstermektedir. DSC analizi sonuçlarına göre, 15 ve 18 dakika öğütme sonunda, jipsin tamamıyla anhidrite dönüşümü için gereken toplam spesifik enerji miktarında anlamlı bir azalma olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak kristal yapısı sebebiyle öğütme koşullarına çok hassas cevap veren ve düşük Mohs sertlik değeri ile yapısal su içeriğine bağlı olarak uzun süreler öğütülemeyen jipsin, mekanik aktivasyonunun olanaklı ancak çok zor olduğu görülmüştür.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, çalışma örneklerini sağlayan Arslanlı Alçı A.Ş. (Elaziğ) yetkililerine, finansal desteklerinden dolayı TÜBİTAK (111M028) ve İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (2011/108) teşekkür eder. Ayrıca yazarlar-

dan Muhammed Şener, "İz Birakanlar Bursu" ile çalışmalarını destekleyen Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, TÇMB, yetkililerine teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Anbalagan G., Mukundakumari S., Sakthi Murugesan K., Gunasekaran S., Infrared, optical absorption, and EPR spectroscopic studies on natural gypsum, *Vibrational Spectroscopy* 50, 226-230, (2009).

Baláz P., Ebert I., Oxidative leaching of mechanically activated sphalerite, *Hydrometallurgy*, 27, 141-150, (1991).

Baláz, P., Mechanical Activation in Hydrometallurgy, *Int. J. Miner. Process.*, 72, 341-354, (2003).

Baláz, P., Achimovičová, M., Mechano-chemical leaching in hydrometallurgy of complex sulphides, *Hydrometallurgy*, 84, 60-68, (2006).

Boldyrev, V.V., Ten years after the first international conference on mechanochemistry and mechanical alloying; where we are now?, *J. Mater. Sci.*, 39, 4985-4986, (2004).

Erdemoğlu M., Gock E., Effect of mechanical activation on the carbothermic reduction of celestite. *Proceedings of the XIII Balkan Mineral Processing Congress*, 14-17 June 2009, Bucharest, Romania, (2009).

Juhasz, A.Z., Mechanochemical activation of silicate minerals by dry fine grinding, *Aufbereitungs-Technik* 10, 558-562, (1974).

Ostwald, W., *Lehrbuch der Allgemeinen Chemie*, 1. Auflage, 2. Band, Leipzig, (1887).

Pourghahramani P., Forssberg E., Effects of mechanical activation on the reduction behavior of hematite concentrate, *Int. J. Miner. Process.*, 82, 96-105, (2007).

Sekulić, Z., Popov, S., Đuričić, M., Rosić, A., Mechanical activation of cement with addition of fly ash, *Mater. Lett.*, 39, 115-121, (1999).

Smekal, A.G., Zum mechanischen und chemischen Verhalten von Calcit-spaltflächen, *Naturwissenschaften* 39, 428- 429, (1952).

Şener, M., Mekanik aktivasyonun jipsin ısı davranışına etkisi, *Y. Lisans Tezi*, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 121 sayfa, (2012).

Welham N.J., Formation of micronised WC from scheelite (CaWO₄), *Mater. Sci. Eng. A248*, 230-237, (1998).

DOĞAYA YENİDEN KAZANDIRMA PROJELERİNİN FAYDA - MALİYET ANALİZİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ

APPRAISAL of RECLAMATION PROJECTS WITH COST - BENEFIT ANALYSIS

Alper DEMİRBUGAN*

ÖZET

Madencilik faaliyetleri ile bozulan sahaların doğaya yeniden kazandırılabilirliğinin fayda-maliyet analizi yöntemleriyle değerlendirilmesi kaynakların optimum kullanımı açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada refah ekonomisi ışığı altında fayda - maliyet analizi yaklaşımı incelenmekte ve konu bir doğaya yeniden kazandırma projesine uygulanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Doğaya Yeniden Kazandırma, Fayda-Maliyet, Refah Ekonomisi, Madencilik.

ABSTRACT

Appraisal of mining reclamation projects with cost- benefit methods is important from the point of optimum usage of limited resources. In this study cost- benefit method under light of welfare economics is investigated with application to a mine reclamation Project.

Keywords:Reclamation, Benefit-Cost, WelfareEconomics, Mining.

* Dr., MTA Genel Müdürlüğü, ANKARA, ademirbugan@yahoo.com

GİRİŞ

Doğaya yeniden kazandırma projeleri madencilik faaliyetleri nedeniyle doğal çevrede oluşan bozulmaya karşı uygulanacak somut önlemleri ve nihai arazi kullanım biçimine ilişkin faaliyetleri içerir. Proje değerlendirme ile ise, projeden kaynaklanan fayda ve maliyetler karlılık ölçütleri yardımıyla karşılaştırılarak net toplumsal fayda araştırılır. Toplumsal fayda projenin sağladığı çevresel duraylılık ve nihai arazi kullanım biçimine toplumun verdiği değeri yansıtır. Bu faydanın edinilmesi için kıt kaynaklar kullanılarak toplumsal maliyete katlanılır. Madencilikten kaynaklanan çevresel etkilerin ekonomiklik değerlendirmesinde yaygın olarak kullanılan yöntem fayda-maliyet (F/M) analizidir. Fayda - maliyet analizi, ölçüt olarak toplam üretim olanaklarındaki artışı esas alan refah iktisadına dayalı olarak geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemde fayda ve maliyetler toplumun karşı karşıya bulunduğu üretim olanakları üzerindeki etkiler açısından karşılaştırılır (Hussen, 2004: bl. 9).

Kamu refahına ilişkin kararlar alınırken toplumsal fayda ve maliyetlerin göz önüne alınması gereği ilk kez Pigou (1920)'nin 'The Economics of Welfare' adlı kitabında ifade edilmiştir. F/M analizinin gelişmesine yönelik ilk sistematik çalışmalar 1930'larda ABD' de su kaynaklarının geliştirilmesi alanındadır. 1950' de Federal Inter Agency River Basin Committee (1950) tarafından hazırlanan el kitabı proje analizi ve refah ekonomisini bir araya getiren ilk çalışma olarak kabul edilmektedir. 1960 - 1970'lerde kamu yatırımları teorisi ve Fayda-Maliyet analizine ilişkin akademik literatürde hızlı bir artış olmuştur. OECD' ce 1968' de yayınlanan 'Manual of Industrial Project Analysis for Developing Countries' isimli el kitabı I.M.D. Little ve J.A. Mirrlees' ce hazırlanmıştır (OECD 1968). Daha sonra aynı yazarlar 'el kitabının' geliştirilmiş şekli olan 'Project Appraisal and Planning for Developing Countries'i yayınlamıştır (Little ve Mirless, 1974). Little ve Mirrlees'in yaklaşımı, Squire Lyn ve Herman Van der Tak tarafından 1975'de yayınlanan 'Economic Analysis of Projects' isimli çalışmasında genişletilmiştir (Squire Lyn ve Herman Van der Tak, 1975). Değinen yayınlar Fayda - Maliyet analizinin uygulanması alanında temel referans çalışması olarak kabul edilmektedir. Bu yayınlarda önerilen yaklaşım 'Little -Mirrlees /Squire Tak (LMST) Yöntemi' yada 'Dünya Bankası' yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Fayda - Maliyet anazi alanındaki diğer bir referans çizgisini UNIDO' ca

1970'lerde yayınlanan çalışmalar oluşturur. 'Guideline's for Project Evaluation' P Dasgupta, A. Sen ve S. Marglin' ce, 'Guide to Pracial Project Appraisal-Social Cost Benefit Analysis in Developing Countries' ise J.R. Hansen'ce hazırlanmıştır (UNIDO, 1972; UNIDO, 1978). Bu yayınlarda önerilen Yöntem 'UNIDO Yöntemi' olarak adlandırılmaktadır.

Bu çalışmada fayda maliyet analizi (F/M) kuramsal olarak incelenmekte ve konu Yeniköy Linyitleri İşletmesinde (YLİ) yer alan Yaylıktepe toprak döküm sahası için hazırlanan Doğaya Yeniden Kazandırma Projesine (YDYKP) uygulanmaktadır.

1. DOĞAYA YENİDEN KAZANDIRMA KAVRAMI

Madencilik faaliyetleri nedeniyle bozulan alanların kendi haline bırakılarak ekolojik dengelerine ulaşmaları başka bir deyimle kendi kendilerini onarmaları çok uzun yıllar alabilir. Bu alanların uygun bir zaman süresi içinde onarılabilmesi verimlilik, ekolojik, ekonomik ve estetik değerlerin kazandırılmasını amaçlayan faaliyetleri içeren bir süreçtir. Bu süreçte doğaya yeniden kazandırma projeleri ile madencilik faaliyetinden kaynaklanan negatif çevresel etkilerin minimize edilmesi ve faaliyet alanının doğal durumuna ya da başka bir yararlı nihai kullanım biçimine dönüştürülmesi amaçlanır (INAC 2006). Başka bir tanımlamada ise doğaya yeniden kazandırma projesinin amacı, madencilik faaliyetleri nedeniyle bozulan sahalarda emniyetli, duraylılığı sağlanmış, çevresindeki arazi ve nihai kullanım biçimiyle uyumlu hale getirilmiş bir arazi parçasının oluşturulması olarak belirtilmektedir (NSEL 2005).

2. FAYDA MALİYET ANALİZİ (F/M)

Fayda- Maliyet analizi kavramı ve doğaya yeniden kazandırma projelerine uygulanabilirliği refah iktisadının temel prensiplerine dayalı olarak incelenebilir. Refah iktisadı bir toplumu oluşturan bireylerin ekonomik etkinliklerini inceleyerek toplumsal refah düzeyinin en yükseğe çıkarılması ile ilgilidir (Schmitz, 1982; Jones, 2005; Broadway 2006; Broadman vd., 2006). Etkin kaynak kullanımının anlamı, her kaynağın en verimli olduğu alanda kullanılmasıdır. Üretim faktörleri çeşitli malları üretmek için sektörler arasında, üretilen mallarda tüketiciler arasında dağılır. Üretimde etkinlik kavramına göre üretim faktörleri çeşitli

sektörler arasında o şekilde dağılmıştır ki, artık herhangi bir üretim faktörünü bir sektörden başka bir sektöre kaydırarak daha fazla ürün elde etme imkanı yoktur. Benzer biçimde tüketimde etkinlik kavramına göre ise, üretilmiş olan mallar tüketiciler arasında o şekilde dağıtılmıştır ki, artık malları bireyler arasında yeniden dağıtarak en az bir bireyi daha iyi duruma getirme imkanı yoktur. Pareto etkinlik olarak tanımlanan bu durum refah iktisadının kabul ettiği etkinlik ölçütüdür (Stiglitz, 2000:58; Weimer, 1998:bl.8).

Piyasa mekanizmasının işleyişi sonucunda ortaya çıkan kaynak dağılımının etkin olup olmadığına ilişkin temel ölçüt, pareto optimallik ölçütüdür. Buna göre, eğer kaynakları yeniden dağıtarak hiç kimsenin refahını azaltmadan en az bir bireyin refahını artırmak mümkün değil ise kaynak dağılımı Pareto optimaldir. Eğer bir ekonomide bir bireyin refahını azaltmadan diğer bireylerin refahını artırmak imkanı varsa kaynakların optimal dağılımının sağlanmamış olduğundan söz edilebilir. O halde Pareto optimallik noktalarına varılması aşamasına kadar yapılacak her iyileştirme Pareto iyileştirme olacaktır. Örneğin, bir ülkede terkedilmiş maden sahalarını değerlendirerek daha fazla bitkisel üretim gerçekleştiriliyorsa bu bir pareto iyileştirmedir. Ancak, diğer herşey sabit iken mevcut terkedilmiş sahalar ile daha fazla bitkisel üretimde bulunulabilmesi için, başka alanlardaki mal ve hizmet üretiminden (örneğin zeytincilik gibi tarımsal üretim) vazgeçmek gerekiyorsa bu Pareto optimum bir durumun varıldığını gösterir.

Refah iktisadı, politika yapıcılarının toplumsal karar alma ve uygulama süreçlerini etkileyen iktisadi yöntem ve prensipleri belirler. Refah iktisadının iki temel prensibi, doğal kaynakların farklı kullanımının ekonomik açıdan kabul edilebilirliğine ilişkin karar sürecinin temel dayanağını oluşturduğundan özellikle önem taşır. Bu prensipler aşağıda özetlenmektedir (Hussen 2004:174).

1. Prensip: Bir projenin uygulanmasıyla toplumdaki hiçbir bireyin durumu kötüleşmezken en az birinin durumu iyileşiyorsa 'Gerçek Pareto iyileştirme' durumu söz konusudur.

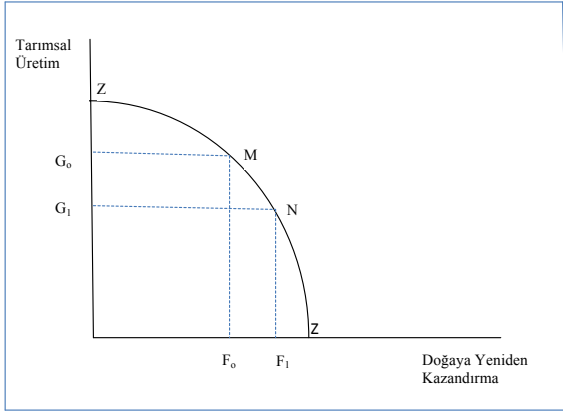
2. Prensip: 'Potansiyel Pareto iyileştirme' durumunda, bir projeden kazananların kaybedenlerin kayıplarını karşıladıktan sonra dahi ekonomik durumları proje öncesine göre daha iyi ise bu projenin kabul edilmesi öngörülür. 'Kaldor - Hicks telafi ölçütü' olarak da adlandırılan bu prensibe göre projeden kazananların toplam parasının

kaybedenlerin toplam parasından fazla olması sosyal refah düzeyinde bir iyileşmeyi göstermektedir.

Fayda - maliyet analiziyle ilişkili olarak bu prensipler Şekil 1 yardımıyla incelenebilir. Hipotetik üretim olanakları eğrisi (Z - Z), kaynak donanımı ve teknoloji veri iken karşı karşıya bulunulan 'doğaya yeniden kazandırma' ve 'diğer tarımsal üretim' seçeneklerine ilişkin pareto etkin üretim bileşimlerinin geometrik yeridir. Üretim olanakları eğrisi üzerindeki M noktasının mevcut durumu temsil ettiğini, ancak son zamanlarda hükümetin terkedilen maden sahalarının doğaya yeniden kazandırılması için bir düzenleme yaptığını varsayalım. Bu düzenlemenin toplam ekonomiye olan etkisi üretim olanakları eğrisi üzerinde M noktasından N noktasına kayış biçimindedir.

Birinci Prensibe göre, M'den N'ye kayış ancak projeye toplumun hiç bir bireyinin durumu kötüleşmezken en az bir bireyinin durumu iyileşiyorsa kabul edilebilir olmaktadır. Ancak hipotetik modelde M'den N noktasına geçilmesi ile bazı bireylerin durumu kötüleşmektedir. Çünkü böyle bir geçiş ancak toplumdaki bazı bireylerin belirli mal ve hizmetlerden (örneğin tarımsal üretim) fedakarlık etmesiyle mümkündür (G_0 'dan G_1 'e kayış). 'Gerçek Pareto iyileştirme' yani birinci prensibe ter düşmeme durumu ancak toplum başlangıçta K noktası gibi etkin olmayan bir noktada bulunduğu mümkün olabilirdi.

İkinci prensibe göre ise M noktasından N noktasına geçiş, doğaya yeniden kazandırma projesinde yer alan bireylerin kazançlarının (F_1-F_0 'ın parasal değeri) diğer tarımsal üretim sektöründe yer alan bireylerin kayıplarından (G_1-G_0 'ın parasal değeri) yüksek olması durumunda kabul edilebilir olmaktadır. Kazananlar kaybedenlerin kayıplarını telafi ettikten sonra da daha iyi durumdadır. Dolayısıyla ikinci prensip, projeden kaynaklanan toplam faydanın toplam maliyeti aşması halinde M'den N'ye geçişin 'ekonomik olarak etkin' olacağını vurgulamaktadır. Bu durum önerilen prejenin net faydasının pozitif olması anlamına gelmektedir. Sırasıyla B ve C projeden kaynaklanan toplam fayda ve maliyeti temsil ederken $B - C > 0$ olduğu sürece M' den N'ye kayış 'etkin' olmaktadır.



Şekil 1: Üretim Olanakları Eğrisi

3. NET BUGÜNKÜ DEĞER YÖNTEMİ

Bir fayda-maliyet analizi yaklaşımı olarak Net Bugünkü Değer (NBD) yöntemi esas olarak 'potansiyel pareto etkinlik' ölçütüne dayanmaktadır.

Net Bugünkü Değer yönteminde projenin ömrü boyunca farklı zamanlarda ortaya çıkan fayda ve maliyetler paranın zaman değeri göz önünde bulundurularak karşılaştırılır ve bulunan net faydaya ilişkin miktarsal büyüklük değerlendirilir. NBD >0 ise proje kabul edilir. NBD için kullanılan formül aşağıdaki gibidir (Mishan, 1988; Jones, 2008; Gines de Rus, 2012).

$$NBD = \sum \{ (B_t - C_t) [1/(1+r)^t] \}$$

Burada B_t ve C_t t. yıldaki fayda ve maliyet akımlarını göstermektedir. Projenin yaşam süresi, $t = 0,1,2,3, \dots, n-1, n$ yıllarını kapsamaktadır. r ise zaman boyutu içinde ortaya çıkan fayda ve maliyetlerin ağırlıklandırılmasında kullanılan 'indirgeme oranı' dır ($r > 0$). Net Bugünkü Değer formülü iki bileşenden oluşmaktadır. Bunlar t. yıl da oluşan net fayda ($B_t - C_t$), ve t. yılda oluşan net faydanın ağırlıklandırıldığı $[1 / (1 + r)^t]$ ifadesidir. Dolayısıyla, NBD projenin ömrü boyunca ortaya çıkan ağırlıklandırılmış net faydalarının toplamına (\sum) karşı gelmektedir.

Yukarıda belirtildiği üzere, projenin yaşam süreci boyunca ortaya çıkan net faydaların indirgenmiş değerleri toplamı pozitif olduğunda NBD ölçütüne göre proje kabul edilebilir. Bu durum, projeden kaynaklanan net fayda pozitif ($B - C > 0$) olduğu sürece projenin 'etkin' ve kabul edilebilir olduğunu öngören 'potansiyel pareto iyileştirme' prensibiyle uyumludur.

4. YAYLIKTEPE PASA SAHASI ÖRNEĞİ

Fayda-maliyet analizi ve Net Bugünkü Değer yöntemlerine ilişkin olarak yukarıda açıklanan kuramsal yaklaşım bir doğaya yeniden kazandırma projesine uygulanabilir. Yaylıktepe Doğaya Yeniden Kazandırma Projesi (YDYKP), Yeniköy Linyitleri İşletmesinde (YLİ) daha önce kömür üretimi yapılmış olan Yaylıktepe toprak döküm sahası için hazırlanmıştır (Demirbugan, 2013). Bölgenin iklim özellikleri ve çalışma sahasının toprak özelliklerine ilişkin veriler ve literatür bilgileri göz önünde bulundurularak sahaya ağırlıklı olarak endüstriyel bitkiler olmak üzere farklı bitkilerin uygulanması öngörülmüştür. Üretim olanakları açısından, proje nedeniyle vazgeçilen üretim biçimini zeytin ve yalancı Akasya yetiştiriciliği oluşturmaktadır. 22.5 ha büyüklüğündeki Yaylıktepe toprak döküm sahası için önerilen Doğaya Yeniden Kazandırma Projesi (YDYKP) ve alternatif üretim biçimlerini oluşturan zeytin ve yalancı Akasya yetiştiriciliği için NBD analizi aşağıda özetlenmektedir (Demirbugan, 2013).

4.1. Doğaya Yeniden Kazandırma Projesi

Proje kapsamında pasa üstü sakız ağacı, sığla ağacı, badem, ceviz ve kapari ile rehabilite edilecektir. Şevler için ise kapari ve yayılcı ardıcın birlikte uygulanması öngörülmüştür. Kapari bitkisinin projede kullanılmasının nedeni iyi bir yer tutucu olmasının yanı sıra bitki başına yüksek gelir sağlamasıdır. Bitki türlerine göre fidan miktarları, aralık mesafeleri, dikim alanları ve ağaç miktarları Çizelge 1'deki gibidir.

Çizelge 1: Doğaya Yeniden Kazandırma Projesi İle Önerilen Bitki Türleri İçin Alansal Dağılım

Bitki	Alan (ha)	Aralık (m)	Dikim Alanı (m ² /ağaç)	Ağaç Miktarı (adet)
Sakız	0.5	4*4	16	313
Sığla	2	5*5	25	800
Badem	4	7*7	49	816
Ceviz	4	10*10	100	400
Kapari	7	2*2	4	17500
Ardıç	5	3*3	9	5556
Toplam	22.5			25385

Kaynak: Demirbugan (2013)

Projenin yatırım gideri fidan bedeli ve arazi hazırlığı ile fidanların dağıtım ve dikimine ilişkindir. Yaylıktepe projesine ilişkin yatırım tutarı, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ağaçlandırma ve Erezyon Kontrolü Genel Müdürlüğü, 2011 Yılında İhale İle Yapılacak Ağaçlandırma, Rehabilitasyon, Toprak Muhafaza, Mera Islahı, Kavak Ağaçlandırması, Fidanlık Çalışması ve Etüd Proje Hizmetlerine Ait 2011 Yılı Birim Fiyat cetvelindeki Pozisyonlara dayalı olarak belirlenmiştir (Demirbugan 2013, TC Çevre ve Orman Bakanlığı, Ağaçlandırma ve Erezyon Genel Müdürlüğü, 2011).

Yatırım tutarı : 71800 TL'dir.

Projeden kaynaklanan faydaları projenin ömrü boyunca düzenli olarak ortaya çıkan yıllık net gelir ve odun değeri oluşturmaktadır. Yıllık net gelir, yıllık gelir ve bakım giderleri arasındaki farka karşı gelmektedir. 50 yıllık ömür boyunca bitki türleri için oluşacak yıllık gelir Milas İlçe Tarım Müdürlüğü verilerine dayalı olarak belirlenmiştir. Sığla ağacı için ürün sığla yağıdır (TC Muğla Valiliği, 2011). (Çizelge 2).

Çizelge: 2 Bitki Türlerine Göre Yıllık gelir (TL/Yıl)

Bitki	Ağaç Miktarı	Birim Üretim (kg/ağaç)	Birim Satış Fiyatı (TL/kg)	Yıllık gelir (TL/Yıl)
Sığla	800	0.1225	8	784
Ceviz	400	48	4.5	86400
Badem	816	15	13	159184
Sakız	313	1	120	37500
Kapari	17500	15	33.5	586250
Toplam				870118

Kaynak: De Kaynak: Demirbugan (2013)

Bitkilendirmeye ilişkin bakım giderleri, çapalama, sulama ve gübrelemeyi kapsamaktadır. Bakım giderleri Ağaçlandırma Birim ihale Fiyatlarına dayalı olarak 16357 TL/yıl kabul edilmiştir (Demirbugan 2013, TC Çevre ve Orman Bakanlığı, Ağaçlandırma ve Erezyon Genel Müdürlüğü, 2011).

Yıllık net gelir;

870118 TL/Yıl-16357 TL/Yıl=853761 TL/Yıl'dır.

Projede öngörülen bitki türleri için odun değerleri ulaşılabilecek çap, hacim ve tonaj değerleri için piyasa ton başına satış fiyatı göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır (Çizelge 3) (TC Muğla Valiliği, 2011, Demirbugan 2013).

Çizelge 3: Odun Değerleri

Ağaç Türü	Odun Değeri (TL)
Sığla	64000
Ceviz	32000
Badem	65306
Sakız	6250
Toplam	167556

Kaynak: Demirbugan (2013)

Proje için NBD, net gelir ve odun değeri gibi fayda bileşenleriyle, yıllık bakım gideri ve yatırım tutarı gibi maliyet bileşenlerinin 50 yıllık ömür boyunca ortaya çıktığı dönemler göz önünde bulundurup NBD bağıntısına uygun biçimde işleme sokulmasıyla hesaplanmıştır. Nakit akımlarının bugünkü değerlerinin belirlenmesinde kullanılan indirgeme oranı kredi faizi ve enflasyon oranı arasındaki farka karşı gelmektedir. 0.05 indirgeme oranı için NBD 11761850 TL'dir (Demirbugan, 2013).

Projenin NBD'inin pozitif olması ekonomik etkinliğin sağlanmış olduğu anlamına gelmekte olup daha önce açıklanan kuramsal yaklaşımla uyumludur.

4.2. Alternatif Üretim Biçimleri

Çalışma sahasında zeytincilik yapıldığında gerekli fidan miktarı 3225 adettir. Yatırım maliyetini Fidan bedeli, sulama ve dikim giderleri oluşturmaktadır. Fayda bileşenlerini ise yıllık net gelir ve ağaç değeri oluşturmaktadır. NBD hesaplamasına esas karakteristikler Milas İlçe Tarım Müdürlüğü ve uygulama verilerine dayalı olarak aşağıdaki gibidir (TC Muğla Valiliği, 2011; Demirbugan, 2013).

Yatırım tutarı : 31605 TL.

Yıllık Net Gelir : 51000 TL.

Ağaç Değeri : 973950 TL.

Fayda ve maliyet bileşenleri, 0.05 indirgeme oranı üzerinden 50 yıllık dönem için işleme sokulduğunda NBD, 897 000 TL.'dir.

Yaylıktepe toprak döküm sahasının Yalancı Akasya ile bitkilendirildiği varsayıldığında ise gerekli olan ağaç miktarı 32675 adettir. Yatırım bileşeni, teraslama, fidan maliyeti ve dikim gide-rinden, fayda ise ağaç değerinden oluşmaktadır. Yalancı akasya için NBD hesaplanmasında kul-lanılan karakteristikler aşağıda verilmiştir (De-mirbugan; 2013,).

Yatırım tutarı : 30384 TL.

Ağaç değeri : 986648 TL.

Fayda ve maliyetlerin olduğu dönemler göz önünde bulundurularak 0.05 indirgeme oranı ile ağırlıklandırılması ile NBD, 564730 TL olarak belirlenmiştir (Demirbugan; 2013).

Doğaya yeniden kazandırma projesinde önerilen bitkilendirme biçimi zeytincilik ile karşılaştırıldı-ğında NBD' de sağlanacak artış;

11761850 TL. - 897000 TL. = 10 864 850 TL,

Akasya ile karşılaştırıldığında ise,

11761850 TL. – 564 730 TL. = 11 197 120 TL.'dir.

Doğaya Yeniden Kazandırma projesiyle NBD açısından zeytincilik ve akasya yetiştiriciliğine oranla sırasıyla 13 ve 20 misli artış sağlanmak-tadır.

SONUÇ

Proje değerlendirme sürecinde fayda - maliyet analizi yöntemleri refah ekonomisi ışığında in-celenirken, 'gerçek ve potansiyel pareto iyileş-tirme' prensipleri önem taşımaktadır. Projenin Net Bugünkü Değeri (NBD) pozitif olduğunda bu durum, 'potansiyel pareto iyileştirme' prensibine göre 'etkinlik' ve kabul edilebilirlik anlamına gel-mektedir.

Fayda – maliyet analizi yöntemlerine ilişkin ku-ramsal yaklaşım Yaylıktepe Toprak Döküm Sa-hası Doğaya Yeniden Kazandırma Projesi (YD-YKP) örneğine dayalı olarak incelenmiştir. YD-YKP ile 0.05 indirgeme oranı üzerinden NBD, 11761850 TL'dir. Diğer üretim alternatiflerini

oluşturan Zeytincilik ve Yalancı Akasya yetiştiriciliği için ise NBD'ler sırasıyla 897000 TL. ve 564730 TL.gibi çok daha düşük düzeydedir. Bu durum projenin uygulanması ile 'potansiyel pareto iyileştirme' prensibiyle uyumlu biçimde etkinliğin sağlanabileceği anlamına gelmekte-dir. Başka bir ifadeyle üretim faktörleri doğaya yeniden kazandırma projesiyle alternatif üretim biçimlerine oranla daha etkin biçimde kullanıl-maktadır.

KAYNAKLAR

Boarman, A.E., D.H. Greenberg, A.R. Vining ve D.L. Weimer., 2001; Cost-Benefit Analysis:Concepts and Practice, PrenticeHall.

Broadway, R., 2006; 'Principles of Cost Benefit Analysis', Public Policy Review, vol:2, nr:1, pp: 1-44.

Broadman, E.A. Greenberg,D.H.,Vining A.R., ve Weimer D.L., 2006; Cost - Benefit Analysis:Concepts And Practice, 3 rd.ed.Pearson Practice Hall, New Jersey.

Demirbugan. A., 2013; Maden Sahalarının Doğaya Yeniden Kazandırılması: Yeniköy Linyitleri İşletmesi (YLİ) Yaylıktepe Sahası Örneği, Rapor No: 33087, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.

Department of Indian Affairs and Northern Development (INAC)., 2006; Mine Site Reclamation Guidelines for The Northwest Territories, Yellowknife.

Federal Inter- Agency River Basin Comitte, 1950; Proposed Practices for Economic Analysis of River Basin Projects, Washington.

Gines De Rus., 2012; Introduction To Cost Benefit Analysis, University of Las Palmas De G.C. and University of Carlos III de Madrid, Spain.

Hussen, A., 2004;. Principles of Environmental Economics, Routledge, Second Edition, New York.

Jones, C., 2008; Financial Economics, Routledge.

Jones, C., 2005; Applied Welfare Economics, Oxford University Press, London,U.K.

Little, I.M.D. ve Mirrlees, J.A., 1974; Project Appraisal and Planning for Developing Countries, London, Heineman Educational Books.

Mishan, E.J., 1982; Cost-Benefit Analysis, 3 rd. Edn., George Allen and Unwin.

Nova Scotia Environment and Labor (NSEL), 2005; Guide for Surface Coal Mine Reclamation Plans

Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD)., 1968; Manual of Industrial Project Analysis for Developing Countries, OECD, Paris.

Pigou, A.C., 1920; The Economics of Welfare, London.

Schmitz, A., 1982; Applied Welfare Economics and Public Policy, PrenticeHall.

Squire, L. ve H.V.D.Tak., 1975; Economic Analysis of Projects, London, The John Hopkyns University Press.

Stiglitz, J.,2000; Economics of the PublicSector, Third Edition, W.W. North & Company.

TC Çevre ve Orman Bakanlığı, Ağaçlandırma ve Erezyon Genel Müdürlüğü., 2010; 2011 Yılında İhale İle Yaptırılacak Ağaçlandırma, Rehabilitasyon, Toprak Muhafaza (Erozyon kontrolü), Mera Islahı, Kavak Ağaçlandırması, Fidanlık Çalışmaları ve Etüd Proje Hizmetlerine Ait 2011 Yılı Birim Fiyat Cetveli, Ankara.

TC Muğla Valiliği, Milas İlçe Tarım Müdürlüğü., 2008; *Ürün Miktarları ve Birim Fiyatları*, Milas.

United Nations Industrial Development Organisation (UNIDO), 1972; Guidelines for Project Evaluation, New York.

United Nations Industrial Development Organisation (UNIDO), 1978; Guide to Practical Project Appraisal - Social Cost Benefit Analysis in Developing Countries, New York.

Weimer, D.L. ve A.R. Vining., 1998; Policy Analysis: Concepts and Practice, 3 rd. Ed., PrinticeHall.



BİRİNCİ DUYURU
FIRST
ANNOUNCEMENT

TÜRKİYE 20. KÖMÜR KONGRESİ

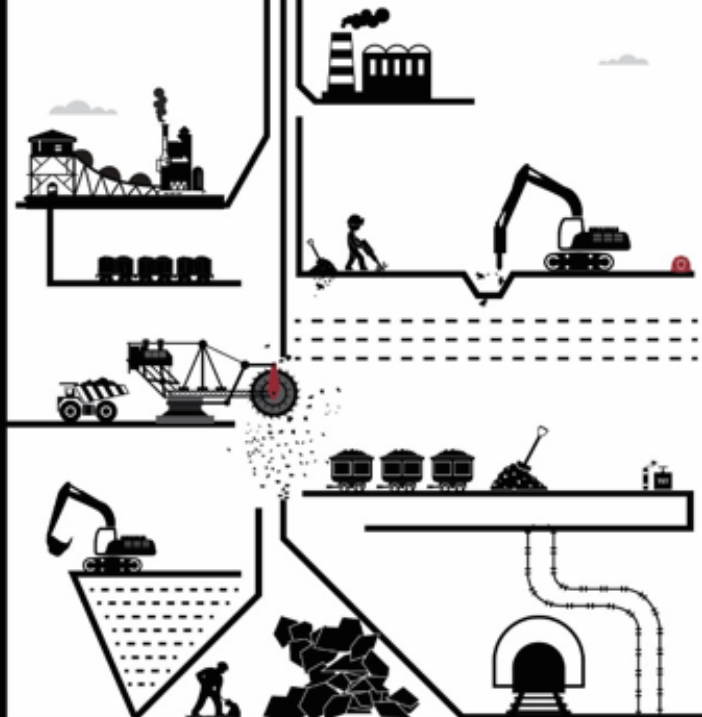
04-06 Mayıs 2016
Zonguldak / Türkiye

20th COAL CONGRESS OF TURKEY

04-06 May 2016
Zonguldak / Turkey

TMMOB
Maden Mühendisleri Odası
Zonguldak Şubesi

UCTEA
Chamber of Mining Engineers
Zonguldak Branch



BOR ÇALIŞTAYI

19 ARALIK 2014
ANKARA



TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI

7. ULUSAL KIRMATAŞ SEMPOZYUMU

*Agrega (Beton, Asfalt), Çimento
Hammaddeleri Madenciliği*

5-6 Mart 2015, İstanbul



ÖNEMLİ TARİHLER

25 Eylül 2014 - Bildiri özetleri için son teslim tarihi
17 Ekim 2014 - Yazara özet kabul bildirim tarihi
15 Aralık 2014 - Tam metin bildirimler için son teslim tarihi

İLETİŞİM

TMMOB Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi
Büyükdere Cad. Çınar Apt. No:95 K:8 D:31
Meclidiyeköy / İstanbul
Tel: 0212 356 7410 Faks: 0212 356 7412
E-mail: kirmatas7@kirmatas.org
Web: www.kirmatas.org



TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI
İSTANBUL ŞUBESİ

9 ULUSLARARASI ENDÜSTRİYEL HAMMADDELER SEMPOZYUMU



14 - 15 MAYIS 2015
İZMİR ENTERNASYONEL FUAR ALANI



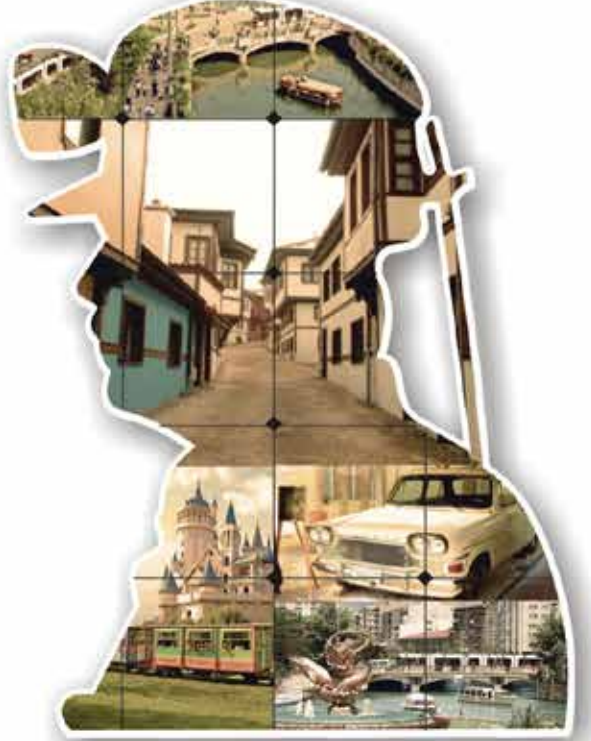
TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI
İZMİR ŞUBESİ

www.indmin.org



DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

TÜRKİYE 5. ULUSLARARASI MADEN MAKİNALARI SEMPOZYUMU VE SERGİSİ



1-2 EKİM 2015
ESKİŞEHİR - TÜRKİYE



TMMOB Maden Mühendisleri Odası Diyarbakır Şube ve Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi İşbirliğiyle



MEZOPOTAMYA

Yeraltı Kaynaklarının Değerlendirilmesi

Sempozyumu

8-9 Ekim 2015

Cegerxwin Kültür Merkezi

web: www.mezosem.org

e-mail: info@mezosem.org



TMMOB Maden Mühendisleri Odası
Diyarbakır Şubesi



Diyarbakır
Büyükşehir Belediyesi

3

TMMOB Jeotermal Kongresi ve Sergisi

14-15 EKİM 2015
BİLKENT ÖTEL ANKARA

www.jeotermalkongresi.org



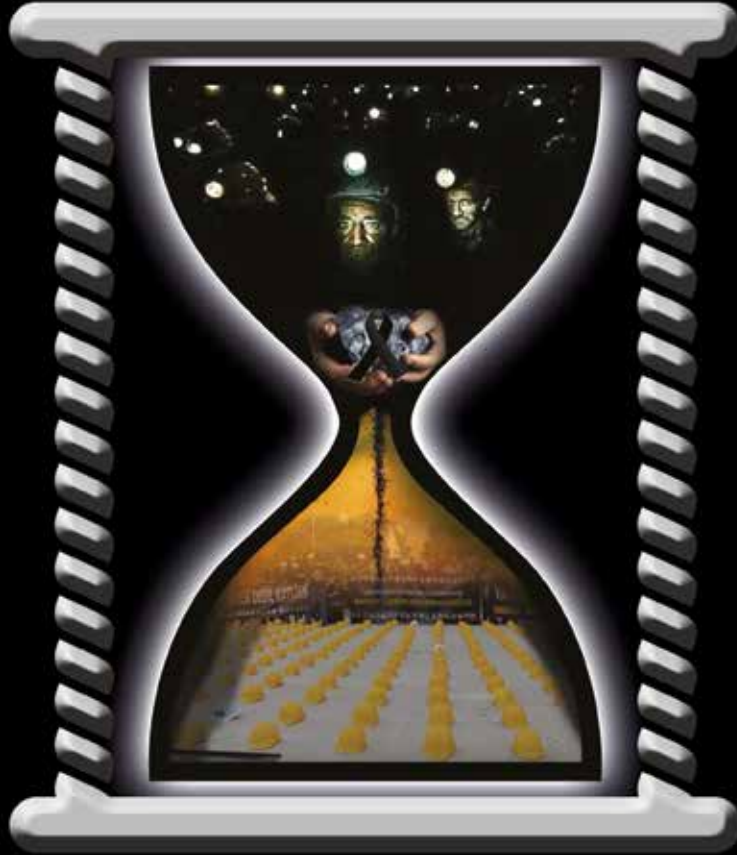
MADEN İŞLETMELERİNDE İŞÇİ SAĞLIĞI VE İŞ GÜVENLİĞİ SEMPOZYUMU'2015



TMMOB Maden Mühendisleri Odası
Adana Şubesi



Çukurova Üniversitesi
Maden Mühendisliği Bölümü



22-23 EKİM 2015

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ MİTHAT ÖZSAN AMFİSİ
ADANA**



İLETİŞİM

TMMOB Maden Mühendisleri Odası Adana Şubesi

web : www.madenisg.org

e-posta : isg@madenisg.org

Tel. : 0 322 459 97 60 - 0.546 425 10 76

Faks : 0 322 459 97 61





TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI
İSTANBUL ŞUBESİ

VIII. DELME-PATLATMA SEMPOZYUMU

www.delpatsempozyumu.org

19-20 Kasım 2015, İstanbul

Steigenberger Maslak Hotel

ÖNEMLİ TARİHLER:

- | | |
|-----------------|---|
| 15 Haziran 2015 | : Özetlerin Gönderilmesi |
| 30 Haziran 2015 | : Özetlerin Kabul/Ret Sonucunun Yazara Bildirilmesi |
| 31 Ağustos 2015 | : Bildiri Tam Metninin Sempozyum Sekreterliğine Ulaştırılması |
| 30 Eylül 2015 | : Bildirilerin Kabul Edilip Edilmediğinin İlgili Yazara Bildirilmesi |
| 20 Ekim 2015 | : Düzeltilmiş Bildiri Metinlerinin Sempozyum Sekreterliğine Ulaştırılması |
| 30 Ekim 2015 | : Bildiriler Kitabının Baskıya Sunulması |

İletişim:

Büyükdere Cad. Çınar Apt. No:95 K:8 D:31 Mecidiyeköy İstanbul
Tel: 0212 356 7410, delpat@delpatsempozyumu.org, istanbul@maden.org.tr