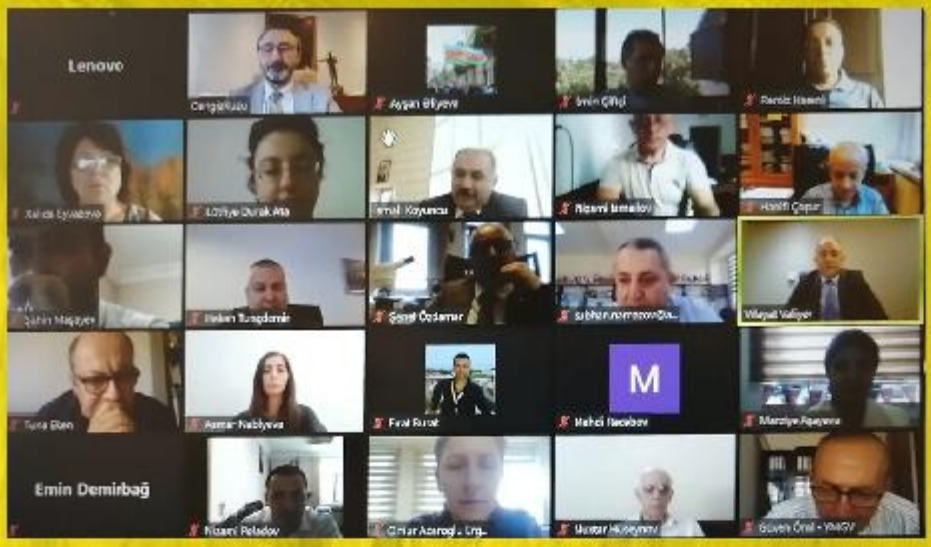


BİLDİRİLER KİTABI

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

Azərbaycan Texniki Universiteti

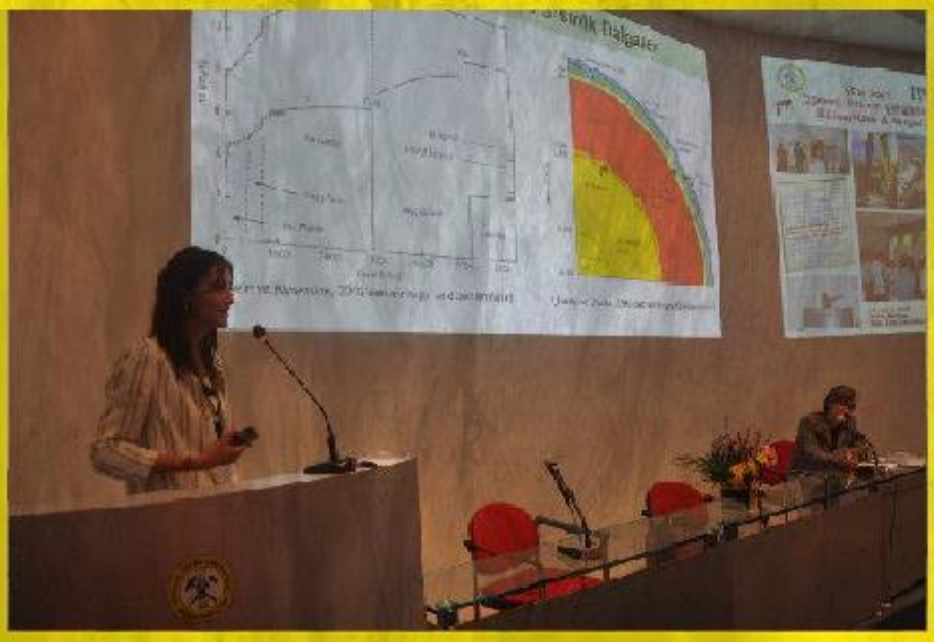
YER 2021

Uluslararası Yerbilimlerinde Öğrenci Bitirme Tasarım Projeleri Sempozyumu

İ.T.Ü. MADEN FAKÜLTESİ

AZTU METALURJİ VE MALZEME BİLİMİ FAKÜLTESİ

Editörler
Prof. Dr. Cengiz KUZU
Doç. Dr. Hakan TUNÇDEMİR
Doç. Dr. Şenel ÖZDAMAR
Doç. Dr. Marziya AGHAYEVA



© 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi
© 2021, İstanbul Technical University

e-ISBN: 978-975-561-533-2

Bu kitabın her hakkı saklıdır ve tüm yayın hakları "İTÜ Rektörlüğü'ne" aittir. Bu kitabın tamamı ya da herhangi bir bölümü yayınevinin izni olmaksızın yayınlanamaz, basılamaz, mikrofilme çekilemez, dolaylı dahi olsa kullanılamaz. TEKSİR, FOTOKOPİ veya başka teknikle çoğaltılamaz, bilgisayarda, dizgi makinalarında işlenebilecek bir ortama aktarılamaz. Kitapta yayınlanan tüm yazı ve görsellerin sorumluluğu yazar/yazarlara aittir.

All rights of this book are reserved and all publication rights belong to "ITU Rectorate". All or any part of this book cannot be published, printed, filmed or used indirectly without the permission of the publisher. It cannot be reproduced by DUPLICATION, PHOTOCOPY or any other technique, and cannot be transferred to an environment that can be processed on computers or typesetting machines. The responsibility of all texts and visuals published in the book belongs to the author(s).

YER 2021, Uluslararası Yerbilimlerinde Öğrenci Bitirme Tasarım Projeleri Sempozyumu (8.: 2021: İstanbul, Türkiye)

8. Uluslararası Yerbilimlerinde Öğrenci Bitirme Tasarım Projeleri Sempozyumu, İ. T. Ü. Maden Fakültesi, İstanbul, 2021.

Editörler/Editors: Cengiz Kuzu, Hakan Tunçdemir, Şenel Özdamar, Marziya Aghayeva

İstanbul Teknik Üniversitesi yayınları. Yayın no. 2022.2KNF/1

VIII. Uluslararası Yerbilimlerinde Öğrenci Bitirme Tasarım Projeleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı,
YER 2021, Maslak, İstanbul, 29 Haziran 2021.

Uluslararası Yerbilimlerinde Öğrenci Bitirme Tasarım Projeleri

YER 2021

Editörler

Cengiz Kuzu, Hakan Tunçdemir, Şenel Özdamar, Marziya Aghayeva
İTÜ Maden Fakültesi

e-ISBN: 978-975-561-533-2

http://web.itu.edu.tr/~madendek/YER2021BildirilerKitabi.pdf

Baskı: İTÜ Ayazağa Yerleşkesi, Maden Fakültesi
34469 Maslak-Sarıyer İstanbul

Temmuz 2021

Tel: +90 212 285 6060
Belgeç: +90 212 285 6080

www.mines.itu.edu.tr
madendek@itu.edu.tr

"HAYATTA EN HAKİKİ
MÜRŞİT İLİMDİR FENDİR,
İLİM VE FENDEN BAŞKA
YOL GÖSTERİCİ ARAMAK
GAFLETTİR, DALALETTİR,
CEHALETTİR."

DÜZENLEME KURULU

Prof. Dr. Cengiz Kuzu (Maden Fakültesi Dekanı)
Doç. Dr. Hakan Tunçdemir (Dekan Yrd.)
Doç. Dr. Şenel Özdamar (Dekan Yrd.)
Doç. Dr. Marziya Aghayeva (AZTU)
Prof. Dr. Hanifi Çopur (Maden Müh. Böl. Bşk.)
Prof. Dr. Emin Çiftçi (Jeoloji Müh. Böl. Bşk.)
Prof. Dr. İnanç Türeyen (Petrol ve Doğal Gaz Müh. Böl. Bşk.)
Prof. Dr. Emin Demirbağ (Jeofizik Müh. Böl. Bşk.)
Prof. Dr. Gülay Bulut (Cevher Hazırlama Müh. Böl. Bşk.)

YÜRÜTME KURULU

Doç. Dr. Hakan Tunçdemir (Dekan Yrd.)
Doç. Dr. Şenel Özdamar (Dekan Yrd.)
Doç. Dr. Marziya Aghayeva (AZTU)
Nurcan Sarpen (Maden Fak. Sekr.)
Prof. Dr. Neslihan Ocakoğlu Gökaşan
Doç. Dr. Tuna Eken
Doç. Dr. Tahsin Perek
Doç. Dr. Ömür Acaroğlu Ergün
Dr. Öğr. Üyesi Yıldıray Palabıyık
Dr. Öğr. Üyesi Demet Kıran Yıldırım
Araş. Gör. Kürşat Hasözdemir
Araş. Gör. Hüseyin Onur Dönmez
Araş. Gör. Merve Uygur
Araş. Gör. Mehmet Şerif Arslan
Araş. Gör. Nazlım İlkyaz Dinç
Araş. Gör. Muharrem Çevik

Bilim Kurulu

Maden Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Cengiz KUZU
Prof. Dr. Hanifi ÇOPUR
Prof. Dr. Selamet ERÇELEBİ
Prof. Dr. Hasan ERGİN
Prof. Dr. Cemal BALCI
Prof. Dr. Deniz TUMAÇ
Doç. Dr. Hakan TUNÇDEMİR
Doç. Dr. Ömür ACAROĞLU ERGÜN
Doç. Dr. Türker HÜDAVERDİ
Doç. Dr. C. Atilla ÖZTÜRK
Doç. Dr. Abdullah FİŞNE
Dr. Y. Müh. İ. Cengiz KIRMANLI
Dr. Y. Müh. Emre AVUNDUK

Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Emin ÇİFÇİ
Prof. Dr. A. M. Celal ŞENGÖR
Prof. Dr. Boris NATALINE
Prof. Dr. Cenk YALTIRAK
Prof. Dr. Ercan ÖZCAN
Prof. Dr. Fahri ESENLİ
Prof. Dr. Fikret SUNER
Prof. Dr. Fuat YAVUZ
Prof. Dr. Mehmet KESKİN
Prof. Dr. Murat BUDAKOĞLU
Prof. Dr. Mustafa KUMRAL
Prof. Dr. Nilgün OKAY
Prof. Dr. Nurgül ÇELİK BALCI
Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL
Prof. Dr. Sedat İNAN
Prof. Dr. Serdar AKYÜZ
Prof. Dr. Sezai KIRIKOĞLU
Prof. Dr. Şafak ALTUNKAYNAK
Prof. Dr. Şengül Can GENÇ
Prof. Dr. Yüksel ÖRGÜN
Prof. Dr. Zekiye KARACIK
Prof. Dr. Ziyadin ÇAKIR
Doç. Dr. Cengiz ZABCI
Doç. Dr. Gürsel SUNAL
Doç. Dr. K. Kadir ERİŞ
Doç. Dr. Ömer ÜNDÜL
Doç. Dr. Şenel ÖZDAMAR
Doç. Dr. Yılmaz MAHMUTOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Demet KIRAN YILDIRIM
Dr. Öğr. Üyesi Erkan BOZKURTOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Gülsen UÇARKUŞ
Dr. Öğr. Üyesi Kayhan DEVELİ
Arş. Gör. Dr. Ufuk TARI
Dr. Öğr. Gör. Alp ÜNAL
Dr. Y. Müh. Orhan YAVUZ

Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Ömer İnanç TÜREYEN
Doç. Dr. Gürşat ALTUN
Doç. Dr. Murat ÇINAR
Dr. Öğr. Üyesi Emine Didem KORKMAZ BAŞEL
Dr. Öğr. Üyesi Emre ARTUN
Dr. Öğr. Üyesi İhsan Burak KULGA
Dr. Öğr. Üyesi M. Hakan ÖZYURTKAN
Dr. Öğr. Üyesi Metin MIHÇAKAN
Dr. Öğr. Üyesi Şenol YAMANLAR
Dr. Öğr. Üyesi Yıldıray PALABIYIK

Jeofizik Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Emin DEMİRBAĞ
Prof. Dr. Argun KOCAOĞLU
Prof. Dr. Aysun GÜNEY
Prof. Dr. Hülya KURT
Prof. Dr. Neslihan OCAKOĞLU GÖKAŞAN
Prof. Dr. Seda YOLSAL ÇEVİKBİLEN
Prof. Dr. Tuncay TAYMAZ
Doç. Dr. Doğa DÜŞÜNÜR DOĞAN
Doç. Dr. Gonca ÖRGÜLÜ
Doç. Dr. Turgay İŞSEVEN
Doç. Dr.Tuna EKEN
Dr. Öğr. Üyesi Caner İMREN
Dr. Öğr. Üyesi Ümit AVŞAR

Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Gülay BULUT
Prof. Dr. Ayhan Ali SİRKECİ
Prof. Dr. Fatma ARSLAN
Prof. Dr. Ali GÜNEY
Prof. Dr. Alim GÜL
Prof. Dr. A. Ekrem YÜCE
Prof. Dr. Murat Olgaç KANGAL
Doç. Dr. Birgül BENLİ
Doç. Dr. Feridun BOYLU
Doç. Dr. Fırat BURAT
Dr. Öğr. Üyesi K. Tahsin PEREK
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÖZER

Önsöz

"**YER2021, Yerbilimlerinde Öğrenci Bitirme Tasarım Projeleri Sempozyumu**" İTÜ ve AZTU rektörlerinin de katılımıyla çevrimiçi olarak açılmış; Azer Gold, DSİ ve ETİ Bakır A.Ş.'den konuk konuşmacıların kendi alanlarıyla ilgili konularda yaptıkları ilginç sunumlarla zenginleşmiştir.

Bilindiği üzere **YER Sempozyumları,** Fakültemiz Bölümleri 'nden son bir yılda mezun olan öğrenciler ile tez danışmanlarının yoğun emek harcayarak ürettikleri bitirme çalışmalarının bilim camiası ile paylaşılması amacıyla her yıl Haziran ayında düzenlenmektedir. Bu yıl da sempozyum Azerbaycan Teknik Üniversitesi'nden (AZTU) öğrencilerin de katılımı ile uluslararası bir mahiyet kazanmış; AZTU, fakültemiz bölüm başkanlıkları ve ilgili komisyonları tarafından seçilen 36 öğrencinin posterleri ve 6 öğrencinin de hazırladığı sunumlar çevrimiçi olarak yapılan sempozyumda yer bilimleri camiasıyla buluşmuştur. Sempozyum, ayrıca Azerbaycan'dan ve sektörden katılan misafir ve temsilcilerle akademik şölen mahiyetinde icra edilmiştir.

Bu poster ve sunumların üretildiği tezler de dahil olmak üzere, **YER2021** çerçevesinde AZTU ve Maden Fakültesi Bölümleri 'nin bitirme tezlerinden tam metinli bildiriler üretilmiş ve bu sempozyum kitabında toplanmıştır. Oldukça kapsamlı yapılan arazi ve laboratuvar çalışmalarının yanında özgün tasarım ile çözümleme yöntemleri içeren tezler ve bunların özünü yansıtan bildirilerin sayısının fazlalığı da yapılan emek yoğun çalışmaları göstermesi bakımından önemlidir. Maden Mühendisliği Bölümü 47, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü 24, Jeofizik Mühendisliği Bölümü 19 bildiriyle ve birden fazla öğrenci grubuyla oluşturulmuş takım çalışması mahiyetindeki çalışmalarıyla Jeoloji Mühendisliği Bölümü 7, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü 13 bildiri ve AZTU da 6 bildiri ile sempozyuma katkı sağlamıştır.

Son sınıf öğrencilerinin mesleğe hazırlık yönünden ilk uygulamaları da olan bu bitirme çalışmaları istisnasız olarak, emek yoğun ve aynı zamanda bilimsel çalışmaları gerektirmekte ve bu çalışmalar kapsamında öğrenciler, araştırma görevlileri ve danışmanlar bir araya gelmektedir. Bu nedenle bitirme çalışmalarının özünü yansıtan faaliyetler fakültemizce çok önemsenmekte ve söz konusu çalışmaların daha da kapsamlı ve fayda sağlayan takım çalışmaları şeklinde olması için azami çaba gösterilmektedir.

Sempozyum kitabında yer alan bildirilerin tümü de bilimsel kurul görevi yapan bölüm jürilerinin denetiminden geçmişlerdir. Bu sebeple üretilen bildirilerin diğer sempozyumlardan farklı olarak, akademisyenlerimizin çoklu onay ve değerlendirmelerinden geçmiş olması nedeniyle üst seviyeli çalışmalar olduğu düşünülmektedir. Ayrıca bu sene bildiriler derecelendirilmiş ve en iyi bildiri sahibi öğrenciye bir tablet ve danışmanına bir dizüstü bilgisayar hediye edilerek en başarılı çalışma ödüllendirilmiştir.

YER2021, Yerbilimlerinde Öğrenci Bitirme Tasarım Projeleri Sempozyumu'nda yoğun emek harcayan "**Bilim Kurulu**", "**Düzenleme Kurulu**" ve "**Yürütme Kurulu**" üyelerine teşekkür eder, üretilen bu çalışmaların genç mühendislerimize sağlayacağı katkılara olan inancımı bir kez daha vurgulamak isterim.

YER2022 'de buluşmak üzere !

Prof. Dr. Cengiz Kuzu, Maden Fakültesi Dekanı
Temmuz 2021

Önsöz

Her yıl Haziran ayında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi tarafından düzenlenmekte olan Yer Bilimleri Sempozyumu'na bu sene Azerbaycan Teknik Üniversitesi (AzTU) de katkıda bulunmuştur. Her iki üniversite rektörlerinin katılımı ile açılmış ve Maden Fakültesi Dekanı, Prof. Dr. Cengiz Kuzu'nun yönetiminde devam etmiş olan törende konuşmacılar kendi alanlarında ilgili konularda önemli sunumlar yapmışlardır.

29 Haziran 2021 tarihli "YER2021, Yerbilimlerinde Öğrenci Bitirme Tasarım Projeleri Sempozyumu ve Sergisi" sempozyumunda AzTU Metallurji ve Malzeme Fakültesi Bölümleri'nden seçilen 6 öğrencimiz posterlerini sergilemiş, 1 öğrencimiz de sunum yapmıştır.

Bu sempozyum, iki üniversitenin başarılı öğrencilerini bir araya getirerek, uzmanlık bilgi paylaşımları için bir platform oluşturmuştur. Son sınıf öğrencilerinin mesleğe hazırlık yönünden ilk uygulamaları da olan bu bitirme çalışmaları, yoğun emek ve bilimsel çalışmaları gerektirmekte ve bu çalışmalar kapsamında öğrenciler, araştırma görevlileri ve danışmanlar bir araya gelmektedirler.

Bu nedenle bitirme çalışmalarının özünü yansıtan bildiriler her iki üniversite tarafından çok önemsenmekte ve söz konusu çalışmaların daha da kapsamlı ve fayda sağlayan takım çalışmaları şeklinde olması için azami çaba gösterilmektedir. Ayrıca öğrencilerin aynı anda eş danışman seçimi yapabilmelerinin önünü açmaktadır. Poster ve sunumların üretildiği tezler de dahil, YER2021 çerçevesinde her iki fakültenin bitirme tezlerinden tam içerikli bildirilerin yayımlanması ve bir kitap haline getirilmesi öğrencilerimizin lisansüstü çalışmalar yapmalarını da teşvik etmektedir.

İlk kez ortaklaşa düzenlenmesine rağmen, bundan sonraki bu tür bilimsel etkinliklerin de artarak devam etmesini ve bu etkinliğin gelecektekilerin habercisi olmasını dileriz.

AzTU yönetimi ve şahsım adıma, bir kez daha, bu sempozuma katılma imkanı sağladığı için İTÜ Rektörlüğü'ne, Maden Fakültesi yönetimine ve düzenleme kuruluna sonsuz saygı ve şükranlarımı sunarım.

YER 2022 'de buluşmak üzere…

Saygılarımla …

Doç. Dr. Marziya Aghayeva, Ar Ge Müdürü

Temmuz 2021

İÇİNDEKİLER

AZERBAYCAN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

Bitirme Tasarım Projeleri Bildirileri

Vanadyum ile Soğuk Şekillendirilmiş Kalıp Çeliklerinin Dayanıklılığının İyileştirilmesi 23

Cıva ekstraksiyon teknolojisinin geliştirilmesi 27

Etkili Bakır Üretim Teknolojisinin Araştırılması 31

Güney Taşkesen demir cevheri yatağında serbest kobalt minerali üretimi için teknolojinin geliştirilmesi 35

Dashkasan Cevher Rafinerisinde Atık Geri Dönüşüm Teknolojisinin Geliştirilmesi 39

Pirometalurji endüstrisinde demir cevherlerinin kullanım olasılığının araştırılması 43

Sülfür cevherlerinden verimli altının çıkarılması için teknolojinin geliştirilmesi 47

MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Bitirme Tasarım Projeleri Bildirileri 51

Küre Bakır Yeraltı Madeninde Kaya Mekaniği Parametrelerine Göre Tahkimat Seçimi 53

TKİ-GLİ Ömerler Yeraltı Kömür Madeninde Çalışan Kesici- Yükleyicinin Kazı Performansının Tahmin Edilmesi 57

Tüprag Efemçukuru Yeraltı Madeninde Delme-Patlatma İşlerinin Etüdü 61

Koza Altın İşletmeleri Çukuralan Altın Madeni Tahkimat Sistemi İncelemesi 67

T.T.K Üzülmez T.İ.M Yeraltı Kömür Madenciliğinde Kullanılan Tahkimat Sistemlerinin Etüdü 71

Türkiye Taşkömürü Kurumu Üzülmez Müessesesi Cevher Numuneleri Üzerinde Kazı Deneyleri ile Mekanize Kazı Makinesi Performans Tahmini 75

Tahkimat Tasarımı için Yeraltı Madenciliğinde Jeoteknik Analizler 79

Bilfer Madencilik ve Turizm A.Ş. Ayazmant Demir Cevheri Zenginleştirme Tesisinin Kurulması ile Ayazmant Açık Ocak İşletmesinin Ekonomiklilik Analizi 83

Akdağlar Taş Ocağındaki Patlatma Operayonlarının ve Patlatma Parçalanma Modellerinin Değerlendirilmesi 87

Gebze Darıca Metrosu Mutlukent Mevkii Tünel Tahkimat Sistemleri Analizi 91

Eti Bakır A.Ş. Kastamonu Küre Yeraltı Bakır Madeninin Tahkimat Sistemlerinin Etüdü 95

Yeraltı Madenciliğinde Dolgu Betonun Yeraltına Naklinin Alternatiflerinin Araştırılması 99

İzmir Fahrettin Altay-Narlıdere Metro Hattı'nda Kullanılan Pasa Basınçlı Tünel Açma Makinesinin (EPB-TBM) Kazı Performansının İncelenmesi 103

Sibelco (Çine-Karpuzlu) Açık Ocağı Albit Madeninin Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Şev Stabilite Analizi 107

ESAN Konya İnlice Altın Sahası Açık Ocak İşletmesi Şev Stabilite İşleri 111

Mermer Fabrikalarında Kullanılan Dairesel Testereli Blok Kesme (S/T) Makinelerinin Performans Analizleri 115

Natura Madencilik A.Ş Tarafından Çıkarılan Bazı Mermerlerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi 119

Doğal Taş Fabrikalarında Kullanılan S/T ve Katrak Makinelerinin Performans Analizi 123

Niğde Bolkar Polimetal Yeraltı Madeninde Yeraltı Üretim Yönteminin Kaya Mekaniği Esaslarına Göre İncelenmesi 127

Başakşehir Kayaşehir Metro Hattı Tünel Tahkimat Sistemlerinin Analizi 131

İmbat Yeraltı Kömür Madeni Havalandırmasının İncelenmesi 135

Göztepe-Ümraniye Metro Tünelinde Çalışan Pasa Basınçlı Tünel Açma Makinesinin Performans Analizi 139

Açık Ocak Patlatma Tasarımının JKSimBlast Yazılımı ile İncelenmesi ve Parçalanma Etüdü (Eti Bakır Murgul İşletmesi) 143

EPB TBM'lerde Kil Yapışma Probleminin Deneysel Zemin Şartlandırma İle İncelenmesi 147

Pasa Basınçlı Tünel Açma Makinelerinin (EPB) İtme Kuvvetlerinin Teorik İncelenmesi ve Bir Uygulama 151

Elmas Boncuklu Tel ve Kollu Kesme Makinelerinin Kesim Performanslarının Incelenmesi 155

Gümüştaş Madencilik Tic. A.Ş. Gümüşhane Hazine Mağara Yeralti Işletmesi'nin Havalandirma Sisteminin Incelenmesi 159

Kaya Kesme Hızının Mini Konik Keskiler Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması 163

Madenlerdeki Delme Tekniği Yöntemlerinin İncelenmesi 167

Doğal Taşların Fiziksel-Mekanik Özelliklerinin Delme Oranı İndeksi (DRI) Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması 173

Bilfer Madencilik Ayazmant Demir-Bakır Açık İşletmesinin Sayısal Modelleme Yöntemi Kullanılarak Şev Stabilite Analizi 177

Eti Maden Bigadiç Bor İşletmesi'nde Kullanılan Sondaj Makinasının Performans Analizi 181

Experimental Optimization of Soil Conditioning for EBP TBMs 185

Elmas Boncuklu Tel Kesme Makinasının Performans Analizi 189

Gayrettepe-İstanbul Havalimanı Metro Hattında Dolgu Enjeksiyon Uygulaması 193

Performance Analysis of Diamond Wire Cutting Machines Used In Reisoğlu Marble Quarry 197

Efficiency Analysis of Drilling Machines Used at Bigadiç Boron Facility of Eti Mine 201

Tüprag Efemçukuru Madeninde Yeraltı Üretim Yönteminin Değerlendirilmesi 205

Arakatlı Dolgulu Yöntemin Guleman Kef Bölgesi Kromit Ocağında İncelenmesi 211

Etibakır A.Ş. Murgul İşletmesi Açık Ocak Ekonomiklik Etüdü 215

Açık Ocak Patlatma Tasarımının, Ateşleme Düzeninin ve Parçalanmanın Değerlendirilmesi (Akdağlar Agrega Ocağı) 219

Akdağlar Madencilik Ayazağa Agregalarının Aşınma ve Parçalanma Dirençlerinin Belirlenmesi 223

Gebze – Darıca Metro Tüneli Tahkimat İşlerinin İncelenmesi 227

Gebze-Darıca Metro Hattı Tünel Kazısında Havalandırma Faaliyetlerinin İncelenmesi 231

EPB TBM'ler İçin Deneysel Zemin Şartlandırma 235

Soma - Elmalı Açık Ocak Maden İşletmesi Ekonomik Etüdü 239

Muhammet Gümüştaş A.Ş. Agrega Ocağı'nda Basamak Patlatma Tasarımının İrdelenmesi ve Bilgisayar Destekli Tasarım Uygulamaları 243

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Bitirme Tasarım Projeleri Bildirileri 247

Gürpınar Pekmez (Beylikdüzü—İstanbuI) Büyükçekmece Körfezine Bakan Yamaçta Gelişmiş Kütle Hareketinin Mekanizması ve Analizi 249

Elazığ Hazar Gölü'nde Depremsel Türbiditlerin Sediment Karotlarında Çoklu Parametre Yöntemlerle Belirlenmesi 253

Salda Gölü Çökel ve Sularının Biyojeokimyası 257

Doğal Taş Üretim Atıklarının Değerlendirilmesine Yönelik Yöntemlerin Araştırılması 261

Kuzuluk (Sakarya) Bölgesindeki Eosen Volkanitlerinde Fay Zonları ile İlişkili Cu Cevherleşmesinin Jeokimyasal Özellikleri 265

Gümüşhane İli Kuzeyinde Yer Alan Silisleşmiş Kireçtaşı Breşlerinin Jeolojik, Jeokimyasal ve Gemolojik İncelenmesi 269

Çatalca Bölgesindeki Granitlerin (Çatalca ve Tepecik) Isı Üretme Kapasitelerinin Belirlenmesi 273

PETROL VE DOĞAL GAZ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Bitirme Tasarım Projeleri Bildirileri 279

Saha Geliştirme 281

ITUFIELD Adlı Sahanın Geliştirme Tasarımı ve Karakterizasyonu 285

Tükenmiş Bir Petrol Rezervuarında Sürdürülebilirlik Konularını Dikkate Alarak Karbon Tutma Tasarımı 289

Bir Bütün Olarak Saha Geliştirmesi 293

Tam Saha Geliştirme Planı 297

Rezervuar Analizi ve Saha Geliştirmesi 301

Petrol Sahası Geliştirme 305

Üretimine Başlanmış Bir Petrol Sahasının Formasyon Tayini, Ekipman Tasarımı ve Ekonomik Analizlerle Geliştirilmesi 309

Bir Hidrokarbon Rezervuarı Analizi ve Geliştirilmesi 313

Temsah Gaz Sahasinin Hacimsel Rezerv Hesaplamasi 317

Effects of Number of Wells for the Design of an Underground Gas Storage Facility 321

Derin Sondaj Kuyu Tasarımı 325

Ultra Derin Kuru Gaz Sahası Geliştirilmesi 329

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Bitirme Tasarım Projeleri Bildirileri 333

Ingiltere, Wessex Havzasında Sismik Yansıma Yöntemi ile Olası Hidrokarbon Yalpılarının Saptanması Ve Yorumlanması 335

Crustal Properties Across the Central NAFZ Inferred from Receiver Functions and The Autocorrelation of Teleseismic Body Waves 339

Bulanık Mantık ile Batimetri Verilerinde Hata Tespiti 343

Ege Denizi - Batı Anadolu Bölgesi Depremlerinin (Mw > 6.0) Coulomb Gerilme Değişimleri: 30 Ekim 2020 Mw 7.0 Sisam (Samos) Adası Depremi Örneği 347

Hazar Gölü ve Çevresi Aktif Tektoniğinin Sismik Yansıma Yöntemi İle İncelenmesi 351

PhaseAPpy Algoritması Kullanılarak Deprem Fazlarına Ait Varış Zamanlarının Otomatik Olarak Tespit Edilmesi 355

Malatya Depremi (04 Ağustos 2020, Mw 5.7) İçin Yerel Büyüklük (ML) Hesaplanması 359

Balıkesir Dursunbey-Demirboku Sırtı Sahası IP Yöntemi İle Kurşun Aramaları 363

Vibrosismik Sinyaller 367

Hisarcık (Kütahya) Jeotermal Sahasının Hidrojeofizik Modeli Kullanılarak Fayların Geçirimlilik Değerlerinin Akışkan Hızı ve Sıcaklık Dağılımı Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması 371

Giresun İli Harkköy Maden Sahası IP Yöntemi İle Bakır-Çinko- Kurşun Araması 375

Elektriksel Yöntemlerle Toprak Tuzluluğu Üzerine Bir Araştırma ve Deney Tasarımı 379

Ege Bölgesinde Sismik Yansıma İle Elde Edilen Verilerin Veri İşlemi Sonucu Olası Kömür ve Potansiyel Fay Tespiti 381

Zemin Projelerinde Sismik Parametrelerin Kestirimi ve Depreme Dayanıklı Yapıların Niteliği 385

Batı ve Orta Anadolu'da Farklı Isı Akısı Özelliklerine Sahip İki Jeotermal Alanın Kabuk Yapısının Alıcı Fonksiyonları Analizi İle İncelenmesi 391

Manyetotellürik Verilerin Boyutluluk ve Doğrultu Analizi 395

Elektrik Topraklama İçin İletken Tabakanın Yer Tespitinin Yapılması 399

Karadeniz'deki Gaz Hidrat Derinlikleri Kullanılarak Isı Akısı Hesaplanması 403

Afşin-Elbistan Kömür Sahası'nda Sismik Yansıma Parametrelerinin Belirlenmesi 407

CEVHER HAZIRLAMA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Bitirme Tasarım Projeleri Bildirileri 411

Düşük Tenörlü Altın Cevherlerinin Liç İşleminde HPGR ve Konvensiyonel Kırıcıların Liç Kinetiğine Etkisinin İncelenmesi 413

The Characterization and Mechanical Separation of Metals fromPrinted Circuit Boards In Printers 417

Atık Pillerden Lityum, Kobalt, Nikel ve Grafit Gibi Değerlerin Geri Kazanımı 421

Bor Atıklarından Lityum Kazanımı 425

Otojen/Yarıotojen Değirmen Dizaynında Uygulanan Laboratuar Testleri (Ağırlık Düşürme Testi) 429

Flotasyonda Köpürtücü Karışımlarının Etkisinin İncelenmesi 433

Milas Feldspat Cevherinin İnce Boyutlardaki Davranışının İncelenmesi 437

Tesis Tasarımında Devre Tertip Seçeneklerinin Tesis Karlılığı Açısından İncelenmesi 441

Kütahya Antimonit Cevherinin Yüzey Özelliklerine Bağlı Zenginleştirilmesi 445

K-Feldspat Cevherlerinden Muskovit Elde Edilme Yöntemleri 449

Cevher ve göllerden lityum kazanımı: Teknolojiler ve tesisler 453

Cam Atıklarının Yeniden Değerlendirilmesinin Araştırılması 459

Çözünmüş Hava Flotasyonunun İnce Boyutlu Feldspat Cevherleri Üzerinde Uygulanabilirliğinin Belirlenmesi 463

İnce Tane Boyutundaki Cevherlerin Flotasyonunda Uygulanan Yeni Teknikler 469

Otojen/Yarı Otojen Değirmen Dizaynında Uygulanan SAG Öğünebilirlik İndeksi Testi 475

Flotasyonda Sinerjik Etkiler 479

Recovery Of Valuable Metals From Waste Batteries 483

Seramikte Uygulanan Kalite Testleri, Seramik Hammaddelerindeki Safsızlıkların Yol Açtığı Sorunlar ve Giderilmesi 487

Çöktürme Flotasyonu ile Atık Sulardan Demirin Uzaklaştırılması 491

Kurulu Tesislerde Minimum Yatırımla Yapılacak Maliyet Azaltma ve Kapasite Artım Çalışmalarının İncelenmesi 497

Oksitli Metalik Cevherlerin Zenginleştirilme Problemleri ve Çözüm Önerileri 501

Cevher Hazırlama'da Yapay Zekâ Uygulamaları 505

Çözünmüş Hava Flotasyonunun İnce Boyutlu Sülfürlü Bakır Cevheri Üzerinde Uygulanabilirliğinin Belirlenmesi 511

Bakır-Kurşun-Çinko Madenciliği ve Üretim Tesisleri 517

YER 2019 Program 521

AZERBAYCAN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

Bitirme Tasarım Projeleri Bildirileri

Vanadyum ile Soğuk Şekillendirilmiş Kalıp Çeliklerinin Dayanıklılığının İyileştirilmesi

Increase the Resistance of Stamping Steels of Cold Deformation Vanadium

N.A. Aydamirova, S.N. Süleymanova
Azərbaycan Texniki Universiteti, Metallurgiya və materiallar texnologiyası kafedrası, Bakı

A. İ. İskenderov
Teknik Bilimler Doktoru, Onurlu Mücit

ÖZET Soğuk deformasyon kalıpları için, çelikler esas olarak yüksek sertlik ve aşınma direncine ve ayrıca takım yüksek dinamik yüklere maruz kalıyorsa tokluğa sahip olarak kullanılır. Bu tür çeliklerde vanadyum, söndürme sırasında tanelerin öğütülmesi amacıyla küçük miktarlarda (% 0,5-0,6'ya kadar) kullanılır. Bununla birlikte, damga yüksek sertlik ve aşınma direnci gerektiriyorsa ve çok yüksek tokluk gerektirmiyorsa, genellikle 85Kr6NFT, Kr6F4M (EP770), Kr6F5M, 6KrM2FK gibi yüksek krom ve vanadyum içerikli çelikler kullanılır. Yurtdışında benzer bir bileşime sahip çelikler kullanılmaktadır: İngiltere'de - 5CC, ABD'de - VÇ-2, VÇ-3, Concord V.

ABSTRACT For cold deformation stamps are used mainly steel, which have high hardness and durability, as well as viscosity, if the instrument is subjected to high dynamic loads. In such steels, vanadium is used in small amounts (up to 0.5-0.6%) for the purpose of grinding grain during quenching. However, if the die requires high hardness and wear resistance and not very high toughness, then steels with a high chromium and vanadium content are usually used, such as 85Kh6NFT, Kh6F4M (EP770), Kh6F5M, 6KhM2FS. Steel of a similar composition abroad: in England - 5CC, in the USA - HF-2, HF-3, Concord V.
Keywords: vanadium, cold deformation, steel

1 ARAŞTIRMA

Kr12M ve EK15 damgalı çeliklerden yapılan önemli sayıda matris zımbası, Rusya'nın yanı sıra cumhuriyetimizin çeşitli makine üretim tesislerinde test edildi.

Bu çalışmalar, farklı çelik kaliteleri üzerinde yürütülmüştür ve hatta test için yüksek kimyasal bileşime ve sertliğe sahip alaşımlar kullanılmıştır (49Kr2F, 49Kr2FA), (HRC-35-40).

Çalışmanın temel amacı, bu çeliklerden yapılan hangi çalışan parçaların işlem sırasında korozyona daha dayanıklı olduğunu belirlemekti.

1.1 Müessese

Araştırma, MAZ "Dzerzhinets" müessesinde gerçekleştirildi. K12M ve EK15 çeliklerinden yapılmış kalıplar için karşılaştırmalı direnç testleri yapılmıştır. Bu işletmede, 0,3-0,5 mm kalınlığa sahip 49Kr2F ve 49Kr2FA kalitelerindeki hassas alaşımlardan parçalar keserken, Kr12M, Kr12F1 çeliklerinden çalışan parçalara sahip damgalar kullanılır. Kesilecek malzemelerin yüksek sertliğinden dolayı (HRCə 35 ... 40) kalıpların dayanıklılığı yetersizdir. Bu çalışmanın amacı, Kr12M, Kr12F1 çeliklerini çelik EK15 ile değiştirmenin kalıplarının dayanıklılığı üzerindeki etkisini belirlemekti.

1.2 Parçaların ısıl işlemi

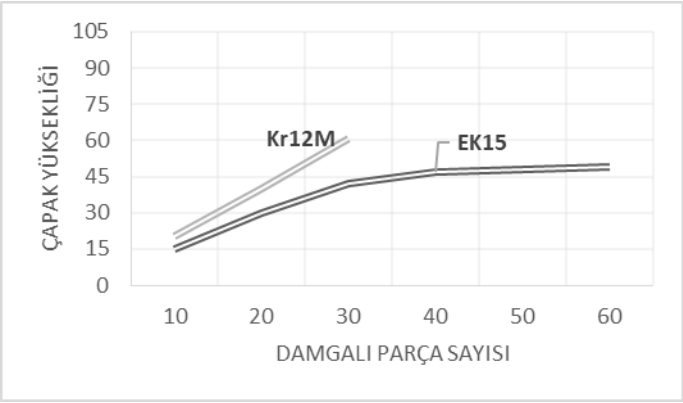
Kalıpların çalışan kısımlarının ısıl işlemi işletmenin termal atölyesi şartlarında yapılmıştır. Isıl işlem sonrası sertlik, zımbalar için HRCə 59-60 idi, matrisler için 62-63.

1.2.1 Kalıcılığın değerlendirilmesi

Dəmir filizlərindəki boş süxurlar silisium, alüminium, maqnezium, kalsium oksidlərindən ibarətdir. Aşağıdakı dəmir filizləri mövcuddur.

1.3 Maqnitli dəmir daşı filizinin

Şekil 1, çapak yüksekliğinin damgalanmış parçaların sayısına bağımlılığını göstermektedir. EK15 ile yapılan damganın çalışan parçalarının aşınma oranının Kr12M'den çok daha az olduğu görülebilir.



Şekil 1. Çapak yüksekliğinin damgalı parça sayısına bağlılığı

2 ÇELİKTE VANADYUM

Ana karbür fazının yerli Kh3F12 ve American Ottawa 60 gibi VC karbür olduğu yüksek vanadyum içeriğine sahip çelikler tarafından özel bir yer işgal edilir. Bu çelikler, yüksek mukavemet ve aşınma direnci ile ayırt edilir, ancak özellikleri yeterince çalışılmadığından, endüstride henüz değerli bir uygulama bulamamışlardır. Y.A. Geller ("Takım çelikleri"), yüksek sertlikteki tozların matrislerini preslemek için Kr3F12 tipi çeliğin kullanılmasını önerir.

2.1 Vanadyum çeliklerinin işlenmesi

Tüm yüksek vanadyumlu çelikler kötü kesilmiş ve parlatılmıştır. Bu belki de kalıpların ve kalıp takımlarının üretiminde hak ettikleri yeri almalarına izin vermeyen tek dezavantajdır. Bununla birlikte, bu tür çeliklerin kübik bor nitrür veya elmastan yapılmış aşındırıcılarla taşlanmasıyla bu zorluklardan kaçınılabilir.

3 ALAŞIMLI KAŞE ÇELİKLERİ

3.1 Vanadyum ile alaşımlama

Soğuk şekillendirme kalıpları için çeliklerde vanadyum alaşımı, aşınma direncini arttırmak (VC karbür oluşumu nedeniyle) ve ayrıca ince taneler elde etmek için kullanılır. Bununla birlikte, vanadyum ile alaşımlama, kalıplar çalışma sırasında yüksek sıcaklıklara ısıtıldığında, yüksek darbe yüklerine maruz kalmadıklarında ve esas olarak çekme veya sıkıştırma kuvvetlerine maruz kaldıklarında özellikle etkilidir. Bu gibi durumlarda 4Kr2V5FM, 4Kr3V2F2M2, 4Kr3VMF, 3Kr3M3F, 4Kr5MF1 tipi çelikler kullanılır. Bu amaçlar için yurtdışında benzer malzemeler kullanılmaktadır: İngiltere'de - CV9, CVM4, Cyclone 56; ABD'de - Forge Wear I.

Bu çeliklerdeki yüksek mekanik ve ısıya dayanıklı özelliklerin kompleksi, karbür oluşturan elemanlarla karmaşık alaşımlama nedeniyle elde edilir: krom, molibden, tungsten ve vanadyum - M23C6, M6C, VC tipi çok sayıda karbür oluşturur. Vanadyum, kendi karbürünü oluşturmanın yanı sıra, krom karbürlerde de çözünür ve ona artan pıhtılaşma direnci kazandırır. Ayrıca vanadyum, martensitin tavlama direncini arttırır ve çökelme sertleştirme etkisini artırır. Y.A. Gellere göre molibdenin bu çeliklerdeki etkisi, çeliğin ısı direncini önemli ölçüde artıran M6C, karbür oranını arttırmasıdır. Tungsten benzer şekilde davranır, ancak biraz daha zayıf.

Şu anda, bazı ülkelerde, ağır hizmet tipi kalıplar için çelik üretimi, daha az kıt molibden ve vanadyum ile alaşımlama yoluyla tungsteni azaltma yolunda gelişmektedir.

3.1.1 Ekonomik alaşımlı çelikler

OZ "Kristall" ile SKTBM'de, çok az tungsten ve molibden içermeyen ve standart

kalıp çeliklerinin yerini alabilen ekonomik alaşımlı kalıp çelikleri EP971, EK15 ve diğerleri geliştirilmiştir. Tablo 1, 1060-1080 °C'de yağda söndürüldükten ve 180-200 °C'de tavlandıktan sonra EK15 çeliğinin mekanik özelliklerini göstermektedir (karşılaştırma için, çelik Kr12M'nin özellikleri verilmiştir).

Tablo 1. X12M ve EK15 çeliklerinin mekanik özellikleri

№	MC	*HRC*э	MJ / m^2	MPa	%
1	ЭК15	62-63	0,5-0,7	2400-2800	8-12
2	X12M	60-61	0,4-0,6	1800-2200	15-20

MS: çelik kalitesi, HRCe: tavlama sonrası sertlik, MJ / m^2: darbe tokluğu, MPa: eğilme mukavemeti,%: tutulan östenit miktarı

Verilen verilerden, EK15 çeliğinin standart Kr12M çeliğinden daha yüksek bir sertliğe, mukavemete ve darbe tokluğuna sahip olduğu ve bu da kalıpların aşınma direncini olumlu yönde etkilediği anlaşılmaktadır.

4 SONUÇLAR

Kalıplar ve kalıp takımları için esas olarak krom-molibden-vanadyum çelikleri kullanılır. Ayrıca, karbon ve ana alaşım elementlerinin içeriği, belirli bir aletin başarılı bir şekilde çalışması için elde edilmesi gereken özellikler tarafından belirlenir.

Endüstriyel bir kalıp grubunu test etmenin sonuçları, EK15 çeliğinin, dayanıklılıkta 2 kat artışla kalıpları bölmede başarılı bir şekilde kullanılabileceğini gösterdi.

TEŞEKKÜRLER

Bu bilimsel makalenin danışmanlığı ve oluşturulması için Bilimsel Danışmanım Doç., T.B.A. Süleymanova S.N.- teşekkür ederim.

ƏDƏBİYYAT

Suleimanov N.M., Çeliklerin geliştirilmesi ve güçlendirilmesinde yeni yönler. Bakü: Elm., 2000, 432 s.

Trifonova AI, Bakhshieva VG, "MAZ" Dzerzhinets "te EK-15 çeliğini tanıtma deneyimi. / Rapor özetleri. yeniden yayınlamak için. conf. "Metal işleme araçlarının verimliliğini artırmanın yolları." - Bakü, 1988, s. 53-54

Geller Y.A., Takım çelikleri. 5. baskı. M .: metalurji, 1982, 400 s.

Golikov I.N., Goldstein M.I., Murzin I.I., Çelikte Vanadyum. M .: metalurji, 1968, 291 s.

Civənin alınma texnologiyasının işlənməsi
Cıva ekstraksiyon teknolojisinin geliştirilmesi
Development of mercury extraction technology

A. Ş. Əliyeva, Ş.M. Maşayev
Azərbaycan Texniki Universiteti, Metallurgiya və materiallar texnologiyası kafedrası, Bakı

XÜLASƏ İşin məqsədi Azərbaycanın civə ehtiyatları,onların səmərəli üsullarla işlənilməsini özündə əks etdirir. Çünki, Azərbaycan da sənaye əhəmiyyətli civə ehiyatlarına malik ölkələrdəndir. Xüsusilə də Kəlbəcər-Laçın rayonları civə ehtiyatları ilə zəngindir. Bu ərazidə 6 civə yatağı mövcuddur. Azərbaycanda ilk köklü civə yatağı hələ 1961-ci ildə aşkarlanıb və onun istismarına başlanılıb. Hələ Sovet dövründən Kəlbəcər rayonundakı "Ağyataq", "Şorbulaq", "Levçay", "Ağqaya", Laçın rayonundakı "Çilgəzçay" və "Narzanlı" yataqlarının ehtiyatları hesablanıb. 1993-cü ilədək Kəlbəcər rayonunda təsdiq edilmiş yataqlar üzrə faydalı qazıntı ehtiyatları 939 ton civə olub. "Ağyataq", "Levçay", "Şorbulaq" yataqlarının sənaye əhəmiyyətli ümumi ehtiyatları 850 ton qiymətləndirilib. "Ağyataq" civə yatağı Kəlbəcər şəhərindən 12-15 km şərqdə, Moz çayının sol sahilində Zülfüqarlı silsiləsinin yamacındadır. Bu yataq 1984-cü ilə kimi Şorbulaq dağ-mədən müəssisəsi tərəfindən istismar olunub. "Ağqaya" civə yatağı Tərtər çayın sağ sahilində, Qarabağ silsiləsinin şimal-şərq yamacında eyniadlı kəndin yaxınlığındadır. Burada hidrotermal dəyişmiş 7 civədaşıyan zona aşkar edilib.
Açar sözlər: civə, yataq, texnologiya, filiz, dağ, hidrotermal

ÖZET Çalışmanın amacı, Azerbaycan'ın cıva rezervlerini ve verimli kullanımını yansıtmaktır. Çünkü Azerbaycan aynı zamanda endüstriyel açıdan önemli cıva rezervlerine sahip ülkelerden biridir. Özellikle Kelbecer-Laçin bölgesi cıva bakımından zengindir. Bu alanda 6 civa yatağı bulunmaktadır. Azerbaycan'da ilk köklü cıva yatağı 1961'de keşfedildi ve işletilmeye başlandı. Laçin ili Kelbecer bölgesinde "Ağyatağ", "Şorbulag", "Levçay", "Ağgaya", "Çilgazçay" ve "Narzanlı" sahalarının rezervleri Sovyet döneminden beri hesaplanmaktadır. 1993 yılına kadar KalbaJar bölgesindeki kanıtlanmış maden rezervleri 939 ton civa idi. Agyatağ, Levçay ve Shorbulag sahalarının toplam sanayi rezervlerinin 850 ton olduğu tahmin edilmektedir. Agyatağ cıva yatağı, Kelbecer'in 12-15 km doğusunda, Moz Nehri'nin sol kıyısında, Zülfugarlı Sıradağlarının yamacında yer almaktadır. Bu saha 1984 yılına kadar Shorbulag Madencilik Şirketi tarafından işletilmiştir. Ağgaya cıva yatağı, Karabağ Sıradağlarının kuzeydoğu yamacında aynı adı taşıyan köyün yakınında, Tatar Nehri'nin sağ kıyısında yer almaktadır. Burada hidrotermal olarak değiştirilmiş cıva içeren 7 bölge keşfedildi.
Anahtar kelimeler: cıva, yatak takımları, teknoloji, cevher, dağ, hidrotermal

ABSTRACT The purpose of the work is to reflect Azerbaijan's mercury reserves and their efficient use. Because Azerbaijan is also one of the countries with industrially important mercury reserves. The Kalbajar-Lachin region is especially rich in mercu-ry. There are 6 mercury deposits in this area. The first deep-rooted mercury deposit in Azerbaijan was discovered in 1961 and its exploitation began. The reserves of "Agyatag", "Shorbulag",

"Levchay", "Aghgaya", "Chilgazchay" and "Narzanli" fields in Kalbajar region, Lachin region have been calculated since Soviet times. Until 1993, the proven mineral reserves of the deposits in the Kalbajar region were 939 tons of mercury. The total industrial reserves of the Agyatag, Levchay and Shorbulag fields are estimated at 850 tons. The Agyatag mercury deposit is located on the slope of the Zulfugarli Range on the left bank of the Moz River, 12-15 km east of Kalbajar. This field was operated by Shorbulag Mining Company until 1984. The Aghgaya mercury deposit is located on the right bank of the Tartar River, on the north-eastern slope of the Karabakh Range, near the village of the same name. 7 hydrothermally altered mercury-bearing zones were discovered here.
Key words: iron, ore, pyrometallurgy, industry

1 AZERBAYCAN'DAKİ CIVA YATAKLARI VE BUNLARIN İŞLETİLMESİ

Azerbaycan, önemli endüstriyel cıva rezervlerine sahip ülkelerden biridir. Kelbecer-Laçın bölgesi özellikle cıva açısından zengindir. Bu bölgede 6 cıva yatağı var. Azerbaycan'da ilk köklü cıva yatağı 1961 yılında keşfedildi ve işletilmeye başlandı. Kelbecer bölgesinde bulunan "Ağyatag", "Şorbulag", "Levçay", "Ağgaya", Laçın bölgesinde bulunan "Çilgezçay" ve "Narzanlı" sahalarının rezervleri Sovyet döneminden beri hesaplanmaktadır. 1993 yılına kadar Kelbecer bölgesindeki yatakların kanıtlanmış maden rezervi 939 ton cıva olarak hesaplanmıştır. "Ağyatag", "Levçay", "Şorbulag" sahalarının toplam sanayi rezervlerinin 850 ton olduğu tahmin edilmektedir. Ağyatag cıva yatağı, Kelbecer'in 12-15 km doğusunda, Moz Nehri'nin sol kıyısında, Zülfügarlı Sıradağları'nın yamacında yer almaktadır. Bu saha 1984 yılına kadar "Şorbulag" maden işletmesi tarafından işletilmiştir. "Ağgaya" cıva yatağı, Terter Nehri'nin sağ kıyısında, Karabağ Sıradağlarının kuzeydoğu yamacında, aynı adı taşıyan köyün yakınında yer almaktadır. Hidrotermal olarak değiştirilmiş cıva içeren 7 bölge burada keşfedilmiştir. Sanayi rezervlerinin devlet bilançosunda kayıtlı cıva yatağı, Kelbecer cevher bölgesinde bulunan "Levçay" yatağıdır. Aynı bölgede bulunan diğer cıva yataklarının ("Ağyatag") rezervleri de sömürü sonucu tükenmiştir. Bu yataklara ek olarak Küçük Kafkasya Kelbecer cevher bölgesindeki “Narzanlı”, “Sarıbulağ”, “Çilgezçay”, “Kamışlı” ve “Şorbulağ” cıva yataklarının rezervleri değerlendirilerek saha rezervlerine kaydedilmiş ve tahmin edilen kaynaklar hesaplanmıştır.

1.1 Levçay civa yatağı

Kelbecer ilçesine bağlı Lev köyünün 15-20 km kuzey batısında yer almaktadır. Küçük mercekler şeklindeki cevher kitleleri tebeşir karbonat kayalarının içinde yer alır. Cevher kitlelerinin uzunlukları 20 m ile 70 m arasında, kalınlıkları ise 2,5 m ile 6,5 m arasında değişmektedir. Cevherdeki ortalama cıva miktarı %0.261-0.497 arasında değişmektedir.

1.2 Ağyatag cıva yatağı

Kelbecer'in 12-15 km güneydoğusunda yer almaktadır. Saha 1984 yılına kadar Şorbulağ maden işletmesi tarafından işletilmiştir.

1.3 Çilgezçay yatağı

Laçın ilçesine bağlı Elekçi köyü yakınlarındadır. Cıva mineralleşmesi ezilmiş, kuvarslaşmış santon yaşlı kayalarda bulunur. Cıvanın ana minerali olan zincifre, cevher içeren kayalar arasında tek tek hücreler, içerikler ve damarlar şeklinde eşit olmayan bir şekilde dağılmıştır.

1.4 Narzanlı yatağı

Laçın ilçesine bağlı Kalafalıg köyü yakınlarındadır. Cıvanın ana minerali olan zincifre, kireçtaşının içinde ayrı mercekler, gözenekler ve damarlar şeklinde bulunmaktadır.

2 CIVA ÜRETİMİ

Cıva çok nadir bir metaldir ve çoğu cevherde ve zincifrede bulunur. Ana ürün ve altın, çinko ve bakır dışında ürün olarak üretilmektedir. Zincifre sülfür cevherinden (HgS), bir döner fırın veya ocak fırınında sülfür içeriğinin yakılmasıyla elde edilebilir. Ezilmiş cıva cevheri, kömür veya kokslaştırabilen kömür ile karıştırılır ve 300 °C'nin (570 °F) üzerindeki sıcaklıklarda ateşlenir. Oksijen, kükürt ile birleşen, kükürt dioksit salan ve saf bir metal halinde saflaştırılmak üzere toplanacak ve soğutulacak bir cıva buharı oluşturan bir fırına enjekte edilir. Cıva buharı su soğutmalı bir kondenserden geçirilerek, yüksek kaynama noktalı cıva önce sıvı metal şeklinde yoğunlaştırılır ve toplanır. Bu işlemi kullanarak, zincifre cevherinin cıva içeriğinin %95'i kurtarılabilir. Sodyum hidroksit ve sodyum sülfür kullanılarak cevherlerden de ekstrakte edilebilir. Cıva, alüminyum veya elektroliz kullanılarak çökeltilerek yeniden üretilir. Cıva, damıtma yoluyla % 99,999 saflaştırılabilir. Ticari kaliteli, %99,99 cıva (34.5 kg), geri dönüştürülmüş demir veya çelik kaplarda satılmaktadır.

3 DÜNYA PAZARINDA CIVA ÜRETİMİ

Dünya çapında cıva üretimi, ABD Jeolojik Araştırması (USGS) tarafından 2010 yılında 2.250 ton olarak tahmin edilmiştir. Çin şu anda küresel üretimin yaklaşık %70'ini oluşturuyor, onu Kırgızistan (%11,1), Şili (%7,8) ve Peru (%4,5) izliyor. En büyük cıva üreticileri ve tedarikçileri, Kırgızistan'daki Khaydarkan Cıva Fabrikası, Çin'deki Tongren-Fenghuang Cıva Boru Hattı üreticileri ve daha önce İspanya'daki tarihi Almaden Cıva Madeni'ni işleten ve şu anda bundan sorumlu olan Minas de Almadén Arrayanes, SA'dır. Avrupa cıvasının büyük bir yüzdesinin iadesi ve yönetimi. Cıva üretimi ve talebi, 1980'lerin başından beri istikrarlı bir şekilde azalmaktadır. Kuzey Amerika ve Avrupa'da cıva metali için ana uygulama, kostik soda üretimi için kullanılan katot hücrelerindedir. Modern Klor-alkali bitkiler, membran hücre veya diyafram hücre teknolojisini benimsemiş ve Amerika Birleşik Devletleri'nde bu tür hücrelere olan talep 1995'ten bu yana %97 oranında azalmış olsa da, ancak yine de cıva talebinin %75'ini karşılamaktadır. Çin'de polivinil klorür (PVC) endüstrisi en büyük cıva tüketicisidir. Çin'de üretilen kömür bazlı PVC üretimi, katalizör olarak cıva kullanılmasını gerektirir. USGS'ye göre, PVC gibi plastiklerin üretiminde kullanılan cıva, küresel talebin %50'sini karşılayabilir. Belki de cıvanın en popüler kullanımı termometreler ve barometrelerdir. Ancak bu kullanım da sürekli azalmaktadır. Galinstan (bir galyum, indiyum ve kalay alaşımı) düşük toksisitesinden dolayı termometrelerde civanın yerini almıştır. Cıvanın değerli metallerle birleşimi ve onların yenilenmesine yardımcı olabilme yeteneği, alüvyonlu altın madenlerine sahip birçok gelişmekte olan ülkede kullanımının devam etmesine yol açmıştır. Tartışmalı olmasına rağmen, diş cerrahisinde cıva kullanımı devam etmektedir ve alternatiflerin gelişmesine rağmen hala metal için büyük bir endüstridir. Son yıllarda cıva yetiştirmek için en az kullanılanlardan biri kompakt floresan ampullerdir (CFL'ler). Daha az enerji verimli akkor ampullerin ortadan kaldırılmasını teşvik eden hükümet programları, karbonatlı cıva gerektiren CFL'lere olan talebi desteklemiştir. Cıva bileşikleri ayrıca pillerde, ilaçlarda, endüstriyel kimyasallarda, boyalarda ve cıva fulminatta patlayıcılar için bir patlatıcı olarak kullanılır.

4 CIVA BİLEŞİKLERİ

En iyi bilinen ve yaygın olarak kullanılan cıva bileşikleri aşağıdakilerdir:

HgS-cıva (II) sülfür, zincifre
HgCl2 -cıva (II), sulema
Hg2Cl2-cıva (I) klorür, kalomel.

Cıva, eski zamanlardan beri insanlar tarafından bilinmektedir. Ana minerali zincifre, HgS'nin ısıtılmasıyla elde edilir. Cıva (merkür) adını Merkür gezegeninden alır (Latince'de "hydrargyrum" sıvı gümüş

anlamına gelir). Gıdalardan günlük cıva alımı 0.015 mg'dır. Cıva termometrelerde, manometrelerde, cıva-kuvars lambalarda ve diğer tıbbi cihazlarda kullanılır. Cıva bileşikleri de kendisi kadar zehirlidir. Cıva termometresi hasar gördüğünde üzerine kükürt serperek cıva (II) sülfür oluşturmak gerekir.

4.1 Kalomel

Cıva (I) klorür, renksiz, suda az çözünen bir kristaldir. Kalomel, galvanik elektrotların imalatında kullanılır. Antimikrobiyal etkisi de bilinmektedir.

4.2 Zincifre

Insanlar tarafından kullanılan ilk mineral boyalardan biridir. Antik dünyada hemen hemen her yerde kullanılmıştır- Mısır, Hindistan, Çin, Mezopotamya, Roma İmparatorluğu, Trakya. Rusya'da sanayi tesislerinden atmosfere salınan cıva miktarı yılda yaklaşık 10 tondur (Revic, Avaliani, Tikhonova, 2004). Bu, diğer sanayileşmiş ülkelerin endüstrisi tarafından yayılan cıva miktarına eşittir. Havadaki cıva miktarı 0,3 mcg/m, içme suyunda 0,5 mcg/l, toprakta ise 2,1 mg/kg'dır.

5 SONUÇ

Tehlikeleri nedeniyle tüketimi azalsa da, endüstriyel önemi üretimini zorunlu kılmaktadır. Altın ve gümüş üretiminde, termometrelerde, elektronik şalterlerde, manometrelerde, selüloz ağartmada, klor-alkali üretiminde katalizör olarak, kostik, vinil klorür, cıva içeren ilaçlar ve çimento üretiminde, amalgam diş dolgularında cıva kullanılmaktadır. 2019 yılında dünyada 4.000 ton cıva üretilmiştir. Çin en büyük üretime sahiptir. Geçen yıl Çin 3.500 ton, Meksika 240 ton, Tacikistan 100 ton, Peru 40 ton, Arjantin 30 ton, Kırgızistan ve Norveç 20'şer ton cıva üretti. Bugün dünyanın en büyük cıva rezervleri Alaska'dadır.

ƏDƏBİYYAT

Vəliyev Z.A., Abdullayev İ.A., Bağırbəyova O.C. Kiçik Qafqa-zın mərkəzi hissəsində civə filiz-ləşməsinin (radiogeoxronoloji tədqiqatlar əsasında) yaşına dair. AMEA Xəbərləri,"Yer elmləri" seriyası, 2009, №1, c. 99-101.

Vəliyev Z.A. Mobilizm mövqe-yindən civə yataqlarının forma-laşmasının geoloji-genetik mode-li (Kiçik Qafqazın Azərbaycan hissəsi timsalında). Bakı Dövlət Universitetinin 90 illiyinə həsr olunmuş Beynəlxalq elmi kon-fransın materialları. Bakı: 2010, c. 491-492.

Misin Səmərəli İstehsal Texnologiyasının Araşdırılması
Etkili Bakır Üretim Teknolojisinin Araştırılması
Research of Effective Copper Production Technology

F.E.Həsənzadə, R.K.Həsənli
Azərbaycan Texniki Universiteti, Metallurgiya və materiallar texnologiyası kafedrası, Bakı

XÜLASƏ İşin məqsədi Azərbaycanın mis ehtiyatları, Gədəbəy mis yataqları, onların istismarı, tərkibində mis olan minerallar və çökdürülən mis-sulfid şlamının öyrənilməsidir. Missulfid şlamının utilləşdirilməsi, mis kuporosunun əmələ gəlməsi, mis kuporosunun alınma üsulları araşdırılmışdır.
Açar sözlər: filiz, mis, utilləşdirmə, çökdürmə

ÖZET Çalışmanın amacı, Azerbaycan'ın bakır rezervlerini, Gedebey bakır yatak¬la¬rı¬nı, bunların işletilmesini, bakır içeren mineralleri ve çökelmiş bakır sülfür çamu¬runu incelemektir. Bakır sülfür çamurunun bertarafı, bakır sülfat oluşumu, bakır sül¬fat el¬de etme yöntemleri incelenmiştir.
Anahtar Kelimeler: cevher, bakır, bertaraf, çökeltme

ABSTRACT The purpose of the work is to study the copper reserves of Azerbaijan, Gadabay copper deposits, their exploitation, copper-containing minerals and precipitated copper sulfide sludge. Disposal of copper sulfide sludge, formation of copper sulphate, methods of obtaining copper sulphate were studied.
Key words: ore, copper, disposal, sedimentation

1 AZARBAYCANIN MİS EHTİYATLARI VƏ ONLARIN İSTİSMARI

Respublikamızda tərkibində mis olan fıliz yataqları mövcuddur. Çar Rusiyası zamanı Gədəbəy, Bitdibulaq və Balakən mis yataqlarında istismar və axtarış işləri aparılmış, Al¬man fırması "Siemens" tə-rəfindən Gədəbəy yatağından 56 min ton mis, 12 ton qızıl, 130 tona qədər gümüş Almaniyaya aparılmışdır. Respublikanın mis ehtiyatları əsasən Balakən, Zaqatala, Gədəbəy, Qarabağ və Ordubadda cəmlən-mişdir.

Gədəbəy filiz rayonunda ümumi ehtiya-tı 22000 ton qızıl olan yataqların istismarına başlanmışdır. Burada qızıl, dəmir, mis kolçedan və onların oksidləşmiş for-malarında olur. Onun həll olması üçün NaCN-dən istifadə edilir. Mis və digər metallar sianid kompleksləri əmələ gətirir. Bu elementlər məhluldan absorbsiya etdi-rilir. Absorbentin sorbsiyasını artırmaq üçün məhlulda mis, natrium-sulfidin köməyilə Cu2S kimi çökdürülür [1-3] .

Emal edilmədiyindən bu tullantılar artmaqdadır. O, havanın oksigenilə oksidləşərək CuSO4 duzuna çevrilir ki, o da suda həll olduğundan yağıntılarla ətrafa

yayılır. Ona görə də, tullantının tər-kib və xassələrinin öyrənilməsi əhəmiy-yətlidir. İşin məqsədi Gədəbəy qızıl zavo-dunda filizin aşılanmasından alınan sianid komplekslərindən çökdürülmüş Cu2S əsaslı tullantının istifadə və emal üsullarının araşdırması, tullantının iqtisadi-ekoloji cəhətdən səmərəli emal üsullarının təklif edilməsidir [1-3].

Kiçik Qafqazın mis yataqları əsasən Gədəbəy filiz rayonunda cəmləşmişdir. Burada mis-porfir, mis-kolçedan yataqları mövcuddur

2 MİS-SULFİD ŞLAMININ UTİLLƏŞDİRİLMƏSİ VƏ MİS KUPOROSUNUN ƏMƏLƏ GƏLMƏSİ

2.1 Gədəbəy Yeni Qızıl Zavodunda Aparılan Əməliyyatlar

Gədəbəy yataqlarında kükürd kolçedanının bir hissəsi mis kolçedanı- CuFeS2 şəklindədir.

2009-cu ildə Gədəbəy mədənlərin də yeni zavod işə düşdü. Burada qızılın çıxarılması sianid üsulu ilə həyata keçirilir. Sulfid filizinin konsentratı əvvəlcə yan-dırımaqla oksidləşdirilir. Sianidlə aşılama isə iri həcmli çənlərdə aparılır.

Gədəbəy qızıl zavodunda saatda 150 ton filiz emal edilir. Köhnə zavodda fılizdəki qızılın cəmi 70%-i çıxardı- lırdısa, indi bu rəqəm 85% təşkil edir.

Filiz xırdalandıqdan sonra qaynar qatda yandırma sobalarında yandırılır. Tüstü qaz-larındakı **SO2 qazı** qələvili sudan keçiril-məklə təmizlənir. Tullantı qazlarından SO2-nin daha çox ayrılması üçün WSA (sulfat turşusu üçüı nəm qaz) texnologiyası işlən-mişdir.

Yeni zavodda tətbiq edilən sulfid-

ləşmə-oksidləşmə-dövretmə-çökdürmə (SODÇ) prosesi aşındırma prosesindən qəbul edilən doymuş məhlulun tərkibindəki misin ayrılması üçün istifadə olunur. Tər-kibində qızıl, mis və gümüş olan aşındırıl-mış məhlul saatda 140 m3 sürətlə SODÇ prosesinə daxil olur ki, burada da mis və gü-müş kimyəvi yolla çökdürülür. Məhlulun hər tonunda 1,5 q qızıl qalır ki, həmin məhlul da ADB (adsorbsiya-desorbsiya-bərpa) prosesində ayrılır. Misin çökdürül-məsinə sulfat turşusu əlavə edilməklə nail olunur.

2.2 Mis Şlamının Çökdürülməsi

Cu2S aşağı həllolma qabiliyyətinə malik olduğundan çökdürmə misin tama-milə ayrılması ilə nəticələnir. HCN qazının ətraf mühit temperaturunda əla həllolma qa-biliyyətinə və aşağı buxar təzyiqinə malik olması sulfid çöküntüsünün kənar edilmə-sindən sonra duru məhlulun qalması ilə nəticələnir.

Əhəng və ya kaustik soda ilə emal edildikdən sonra məhlul aşındırma prose-sində yenidən istifadə olunur.

pH-ın aşağı düşməsi HCN-nin ya-ranması ilə nəticələnir ki, həmin qaz da ventilyator vasitəsilə sorularaq, qaztəmiz-ləyiciyə qurğuya verilir.Reaktordan çıxan çöküntü çökmə çəninə ötürülür. Çökmüş məhsul süzgəcdən keçirilir və alınan süzgəc tortasının tərkibində 70% mis və hər tonda 5 kq gümüş olur. Çökmə çənindən çıxan məhlul neytrallaşdırıcı çənə verilir, burada sönmüş əhəng əlavə olunmaqla pH ölçüsü 10-11 arasında saxlanır. pH-ın bu səviyyəsi gipsin çökməsi ilə nəticələnir..

2.3 Mis KuporosunuAlınma Üsulları

Gədədbəy qızıl zavodunda mis şlamı, qızıl çıxartma əməliyyatmın aralıq mərhələsində SODÇ emalı prosesində alınır. Məqsəd aşılanma sianid məhlulundan mis və başqa elementləri absorbsiya mərhələsinə çıxartmaqdır. Alınan Cu2S şlamında 50% nəmlik olur.

Mis kuporosunun alıınma üsulu ilkin götürulən xammaldan asılıdır. Mis kuporosunun alınması üçün əsas xammal sulfat turşusu və misdir. Mis kuporosu almaq üçün H2SO4 istehsalında əmələ gələn kolçedan yanığı xammal ehtiyatıdır. Kolçe-dan yanığında CuSO4, CuSO3, CuO, Cu2S, CuS, CuFeS2 şəklində 1,5%-ə qədər mis olur. Bu tullantılardan mis kuporosu alınıır və mis duzları istehslında istifadə edilir.

2.3.1 Mis lomlarından mis kuporosunun alınması.

Mis, qatı və qaynar H2SO4-də həll olur. Lakin bu metod sərfəli deyil. H2SO4-ə qənaət məqsədilə mis havanın oksigeni ilə oksidləşdirilir. Mis lomu əridilir və alov altında saflaşdırılır.

2.3.2 Mis kuporosunun elektrolizlə alınması

Mis anodlu elektrolit məhlulunu eletroliz etdikdə anod oksidləşir və mis duzları şəklində elektrolitə keçir. Mis duzu katodda yaranan qələvi ilə reaksiyaya girərək mis-hidroksid əmələ gətirir. Katod sahəsində yaranan mis-hidroksid misə qədər reduksiya olunur.

2.3.3 Mis kuporosunun CuO-dən alınması

Əvvəlcə mis lomu sobalarda qızdırılmaqla oksidləşdirilir. Sonra sulfat turşusu ilə təsir etməklə CuSO4 alınır.

2.3.4 Ağ kəf tullantısından mis-oksidinalınması

Ağ kəf misi sulfidlərdən alarkən yaranan sulfidli kütlənin - şteynin emalında yaranır. Şteynə qum qatdıqda və hava ilə üfürdükdə dəmir oksidləşir və silikatlara çevrilir. Posa ayrıldıqdan sonra yerdə mis-sulfidli kütlə əmələ gəlir. Onun tərkibində Cu2S-dən başqa 10% mis və 3% dəmir qalır. Şteyndən təmiz mis almaqda istifadə edilir.

Şteyndən alınan ağ kəfı mis kuporosuna çevirmək üçün xırdalıyır və sobada yandırırlar. Bu zaman sərbəst mis və sulfıdlər mis-oksidə çevrilir. Ağ kəf yan-dırıldıqda CuO yaranır.

Mühitdə Fe2O3-un olması SO2-nin SO3-ə çevrilməsini təmin edir. Əmələ gələn SO3 mis 2-oksidlə reaksiyaya girərək mis kuporosu əmələ gətirir.

2.3.5 Mis oksidin sulfat turşusunda həll edilməsi.

Əmələ gələn yanıq - CuO mexa-niki qarışıqlardan təmizlənir. Sonra H2SO4-ə malik çənə salınır. Məhlul buxarla qızdı-rılır. Qaynayan məhlula yanıq əlavə edilir. CuO sulfat turşusunda həll olur. Yanıqdakı mis və oksidləşməmiş Cu2S həll olmur və şlam əmələ gətirir. Çətin həll olan Cu2O da şlama keçir. Bişirildikdən sonra qaynar məhlul kristallaşma çəninə verilir. Soyu-duqda CuSO4. 5H2O kristalları yaranır.

2.3.6 Mis kuporosunun mis-oksid və kükürd qazından alınması

Üsul mis əritmə zavodlarında sərfəlidir. Çünki burada CuO və SO2 tullantısı olur. Bu üsulda Cu2S-dən istifadə edilir. Yanma zamanı ağ kəfdən mis-oksid və SO2 əmələ gəlir. Yaranan SO2-nin CuO ilə mis kuporosu əmələ gətir-məsi sərfəlidir. Cu2S sulfat turşusu sərf et-mədən SO2-nin hesabına mis kuporosuna çevrilir.

2.3.7 Mis kuporosunun oksidləşmiş mis filizindən alınması

Mis filizinin 15%-i oksidləşmiş olur. Filizdə miqdarı az olduqda misi əritməklə çıxartmaq əlverişlidir. Bu halda fılizdəki misi həlledicidən istifadə etməklə hidrometallurgiya üsulu ilə çıxarırlar. Filizdəki mis-oksid H2SO4-də həll olur. Çirklənmiş məhluldakı mis sementasiya ilə çökdürülür.

2.3.8 Kolçedan yanığından mis kuporosunun alınması

Kolçedan yanığında mis CuSO4, Cu2S, CuO, Cu2O, CuSO3, CuFeS2 şəkilin-də olur. Tərkibdəki CuSO4 və CuSO3 su ilə yuyulur. CuO birləşməsi isə H2SO4 ilə reaksiyaya girir. Kolçedan yanığındakı mis-sulfid suda və H2SO4-də həll olmur. Filizin tərkibindəki xalkopirit dəmir 3-sulfatın tə-siri ilə həll olmur. Onu həll etmək üçün ya-nıq yüksək temperaturda yandırılır.

2.3.9 Elektrolit məhlullarından mis ku porosunun alınması

İlkin mis elektro-kimyəvi üsulla saflaşdırılır. Təmizləmə pro-sesində elektrolitə NiSO4, FeSO4, As2O3, ZnSO4, CaSO4 və s. daxil olur. Elektroliz prosesi davam etdikcə elektrolitdə qarışıq-ların miqdarı artır.

Qarışıqların qatılığı müəyyən həddə çatdıqda onlar sistemdən çıxarılır. Çirkli elektrolik məhlulun sərfəli utilizasiya variantı mis kuporosuna çevrilməsidir.

Elektrolit məhlulundan mis kuporosu almaq üçün mis tərkibli tullantılarla neytrallaşdırılır. Məhlul buxarlandırılır, dəmir və kalsium-sulfatlar qismən çökür. Məhlul soyudulur, mis kuporosu ayrılır, qalan hissədən nikel kuporosu çökdürülür. Elektrolitik saflaşdırmada anoddakı qarı-şıqlar şlama keçir və şlamda çoxlu mis olur. Şlamdakı mis isti H2SO4 ilə həll edilir. Həllolma dövründə misin bir hissəsi həll ol-mur. Prosesi sürətləndirmək üçün məhlula ammonium-nepsulfat qatılır.

2.4 Mis Kuporosunun Müxtəlif Alınma Üsullarının Müqayisəsi və Səmərəli Variantın Seçilməsi

Mis kuporosunun alınma üsullarının çatışmazlığı və üstünlüyü vardır. Ağ mətdən sulfatlaşdırıcı yandırma ilə mis kuporosu alınmasının çatışmazlığı, ağ mət-dəki kükürdün hamısının istifadə edilmə-məsidir. Bu isə sulfat turşusunun çox ışlən-məsinə səbəb olur. Üsulun müsbət cəhəti, oksigen artıqlığı ilə yandırmadan sonra emal etdikdə H2SO4-ün az istifadə edilməsi-dir. Sulfıdli tullantının yandırılması ilə mis kuporosu alınma üsuluna nisbətən az turşu sərf olunur. Kolçedan yanığından mis kupo-rosu almağın mənfı cəhəti kolçedan yanı-ğından misin çıxarılmasının çətinliyidir. Alınan məhlulda dəmir çox olur.

Elektroliz üsulu ilə mis lomlardan mis kuporosu təmiz alınır. Kuporonun qarışıq-lardan təmizlənməsində çox tullantı yaranır ki, onların da əksəriyyəti təkrar emal edilmədən ətrafa atılır.

Elektroliz üsulu ilə misin saflaşdırılma-sında alınan və tərkibində CuSO4 olan elek-trolit məhlulu təmizlənərək yenidən prosesə qaytarılmaqdansa, bir başa mis kuporosu almaq üçün istifa- dəsi daha sərfəlidir.

Beləliklə, yeni qızıl zavodunda alınan mis-sulfıd şlamını mis kuporosuna çevir-mək üçün ən əlverişlisi sulfatlaşdırıcı közərtmə üsuludur.

2.4.1 Mis şlamından sulfatlaşdırıcı közərtmə üsulu ilə mis kuporosunun alınması.

Mis-sul-fıd şlamının nəmliyi yüksək olduğundan közərtmədən öncə şlam qıırudulur. Ayrılan su buxarınm tərkibində zərərli qazlar olur. Ona görə də onlar bir qədər qələvili su çilə-məklə kondensləşdirilir. Alınan məhlul NaCN məhlulunun hazırlandığı çənə verilir. İkinci mərhələdə quru şlam üyüdülür və so-bada 500°C-də közərdilir.

Şlamın hava ilə təmas müddəti çox olduqca mis-oksidin əmələ gəlmə ehtimalı artır. 500°C-də şlam yalnız mis-oksidə çevrilmir, həm də mis-sulfıdin 60%-i CuSO4-ə çevrilir. Misin bir hissəsi sulfat-laşmamış qalır. Bu kütlə mis kuporosu reaktoruna verilir. Soba qazlarında SO2 və H2SO4 anhidridi olur. Onlar WSA qurğu-suna verilir. Burada SO2 tamamilə SO3-ə çevrilir və nəmləndirilir. Yaranan qarışıq reaktora verilir, burada mis kuporosu əmələ gəlir.

Beləliklə, Gədəbəy qızıl zavodu-nun mis-sulfid şlamı, miş kuporosu alınmaqla utilləşdirilir. Burada sulfatlaşdırıcı kö-zərtmə ən əlverişli üsuldur. H2SO4-ə qənaət edilir, mis-sulfıdin yandırılmasından alınan SO2 ətrafa yayılmır.

3 NƏTİCƏ

Hər il Gədəbəy yeni qızıl za-vodunda SODÇ prosesində 50000 t mis-sulfıd şlamı əmələ gəlir. Şlamda mis-sulfid təqribən 45-47% olur.

Mis-sulfid şlamından mis kuporo-sunun istehsalı olduqca əlverişlidir.

ƏDƏBİYYAT

R.İ.Şükürov, M.M. Rəhimov. Metallurgiya. Bakı, Maarif, 2005, 344s.

Абрамова В.Д. и др. Распределение золота в минералах системы Cu-Fe-S (ковеллин, дигенит, нукундамит) / ВЕС ЭМПГ, М., 2013, 345 с.

Епифоров А.В. Низкотемпературное автоклавное окисление упорных сульфидных золото-медных флотоконсентратов. Иркутск, 2014, 295 с.

Cənubi Daşkəsən dəmir filiz yatağında sərbəst kobalt mineralının alınması texnologiyasının işlənməsi

Güney Taşkesen demir cevheri yatağında serbest kobalt minerali üretimi için teknolojinin geliştirilmesi

Development of technology for the production of free cobalt mineral in the South Dashkasan iron ore deposit

İ.S. Elyarzade, T. Ə. Taleh
Azərbaycan Texniki Universiteti, Metallurgiya və materiallar texnologiyası kafedrası, Bakı

XÜLASƏ İşin məqsədi Cənubi Daşkəsən dəmir filiz yatağında sərbəst kobalt mineralının alınmasının metodları, istifadə olunan texnologiyalar,alınan meterialın yuyularaq istehsala verilməsi və işlənməsinin araşdırılaraq ümumi nəticə çıxarmaqdır.İşə nəzər salsaq ütün bu prosedurların yerinə yetirilmə ardıcıllığının və bu aman istifadə olunan metrialların təsnifatı ilə yaxından tanış ola bilərik.
Açar sözlər: kobalt, mineral, filiz, yataq

ÖZET Çalışmanın amacı, Güney Taşkesen demir cevheri yatağında serbest kobalt elde etme yöntemlerini, kullanılan teknolojileri, elde edilen malzemenin yıkanması, üretimi ve işlenmesini incelemek ve genel sonuçlar çıkarmaktır.
Anahtar Kelimeler: kobalt, mineral, cevher, yatak

ABSTRACT The purpose of the work is to study the methods of obtaining free cobalt mineral in the South Dashkesan iron ore deposit, the technologies used, the washing, production and processing of the obtained material and draw general conclusions.
Keywords: cobalt, mineral, ore, channel

1 AZERBAYCAN'DAKİ KOBALT YATAKLARI VE BUNLARIN İŞLETİLMESİ

Azerbaycan'daki kobalt yatakları ve devlet bilançosunda kayıtlı sanayi rezervleri, Taşkesen cevher bölgesi, Balakan-Zagatala cevher bölgesi – Filizçay pirit-polimetalik yatakta yoğunlaşmıştır. Nahçıvan, Ordubad cevher bölgesinde bakır-kobalt oluşumları keşfedilmiştir, bunlardan en ilginci Kotam ve Kilit tezahürleridir. Bakır-kobalt tezahüründe cevher damar dokulu bir dokuya sahiptir, kalkopirit-pirit içerir ve cevherdeki kobalt miktarı %0.06-0.3, nikel-%0.1, bakır-%0.3-1.12 arasındadır. Anahtar bakır-kobalt tezahürü, kobalt, nikel içeren pirit-kalkopirit içeren vasküler içerikli cevher içeren bölgelerden oluşur. Cevher zonları 20 m'den 1000 m'ye kadar 3-8.6 m kalınlıkta izlenmektedir. Elementlerin ortalama içeriği: kobalt-0,028-0,115%, bakır-0,07-0,43%. Taşkesen cevher bölgesindeki üç kobalt cevheri alanı Kuzey sahası, Pirsultan ("Demir") ve Hamamçay kompleks cevheri - Güney Taşkesen demir cevheri yataklarının doğu kesiminde demir cevheri ile temas halinde olan kompakt kobalt cevheri alanları olarak bilinmektedir. Kobalt, Taşkesen cevher bölgesi yataklarında ağırlıklı olarak kobaltin CoAsS, eritrin $Co_3(AsO_4)_8H_2O$, glaucodot (Co, Fe) AsS, kobaltpirit (Fe, Co)S_2 gibi minerallerin

yanı sıra safflorit CoAs2, kobalt kalkantit (Ca, Co) [SO4].5H2O, kobaltadamin (Zn, Co) 2 [AsO4] [OH] içerir. Taşkesen kobaltının temel özelliklerinden biri nikel içermemesi veya çok az nikel içermesidir. Taşkesen cevher yatakları eski zamanlardan beri bilinmektedir. Kuzey kobalt yatağı, 1960'larda Alman şirketi Siemens tarafından sömürüldü ve 1914'e kadar sürdü. Taşkesen kobalt minerali hakkında ilk yazılı bilgi 1867 yılında A. Bernouli tarafından yazılmıştır. 1868'de Gustav Rose, Berlin'deki Taşkesen kobalt yatakları hakkında bilimsel bir makale yayınladı. Bu makale ayrıca St. Petersburg'daki Gorny Magazine'de yayınlandı. İlk kez G. Rose, Taşkesen kobalt yatağının (Kuzey yatağı) jeolojik özelliklerini ve yatağın mineral bileşimini verdi. 1869 gibi erken bir tarihte, mavi bir renk elde etmek için 187,5 pound kobalt cevheri çıkarıldı.

Metallaşdırılmış dənəvər dəmir filizindən legirlənmiş poladların əridilməsi üçün işlədilən ferroərintilər (tərkibində Mn, Si, V, Ti və s.nin miqdarı çox olan ərintilər) alınır. Müxtəlif üsullarla əridilmiş poladlardan çeşidli yayıqların (relslər, tirlər, tirciklər, lentlər məftillər), təbəqələrin, boruların və s. yayılması, həmçinin turbin rotorları üçün böyük kütləli valların, disklərin və s. döymə ilə hazırlanması üçün istifadə olunan polad korputlar (dəmirçi korputları) tökülür.

2 KOBALT ÜRETİMİ VE PERSPEKTİFLİYİ

Bir element olarak bu element doğada yaygın değildir. Yerkabuğu yaklaşık %0,004 (ağırlıkça) içerir. Kural olarak, kobalt, arsenikli bileşiklerde mineraller - kobalt alanı ve kobalt parlaklığı şeklinde oluşur.Kobalt elementlerin periyodik tablosunun 9-cu grubunda yer almıştır. Kobalt sembolü Co, atom numarası 27 olan, gümüşi beyaz, hafif sarımsı, hafif pembe ve mavimsi bir metal (Latin Kobaltyum). Atom kütlesi - 58.93 g / mol. Kobalt, erime noktası 1494 ºC, kaynama noktası 2960 ºC, metal yoğunluğu 8.84 g/cm3. Kobaltın kendi kaya oluşturan mineralleri yoktur. Genellikle kükürt, demir, selenyum ve arsenik minerallerinin bir bileşenidir. Doğal ortamda iki oksidasyon durumunda bulunur - Co2 + ve Co3 + ve ayrıca karmaşık bir anyon Co(OH)3 şeklinde. Topraktaki kobalt miktarı, ana kayanın bileşimine bağlıdır. Ayrıca, bu elementin toprak katmanlarındaki dağılımı, tüm bu çakıltaşlarında kobalt bulunduğundan, toprak profillerindeki fiziksel killerin, tortul fraksiyonların, demir oksitlerin ve organik maddelerin dağılımına bağlıdır. Şu anda, kobalt bir dizi endüstriyel sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Sadece en önemli rolleri listeleyelim:

Boya üretiminde olduğu kadar seramik üretiminde de kobalt bileşiklerinin kullanımı, manyetik malzeme olarak kobalt çeliği ve alaşımlarının kullanılması. Mükemmel manyetik özellikleri, otomasyon, elektrik mühendisliği, radyo mühendisliği, roketçilik ve uzay teknolojisinde kobalt için geniş bir talep yarattı, katı kobalt alaşımları, metal işleme aletlerinin imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır. Güçlü aşınmaya maruz kalan parçaların yüzeylerinin imalatında kullanılırlar. Bu, uçak ve uzay motorlarında artan kobalt talebine katkıda bulunur, kimya endüstrisinde kobaltın özel özellikleri kullanılmaktadır. Belirli işlemler için katalizör olarak ve aside dayanıklı alaşımların üretimi için bir bileşen olarak kullanılır. Kobaltın endüstriyel tüketiminin ana alanı elektronik ve pil üretimidir. Bu aktif büyüyen segmentler, bu metalin fiyatında yakın zamanda bir artışa yol açmıştır. Kobalt ürünleri, borsalarda satılan en popüler sözleşmeler arasında yer almıyor. Bu metal, altın, gümüş, platin, bakır ve alüminyum gibi popüler ürünlerin gölgesinde kalıyor. Aynı zamanda, dünya pazarındaki kobalt fiyatı, son birkaç yılda, metal fiyatlarının dinamiklerinde en belirgin olan önemli değişiklikler geçirdi. Böylece 2016-2018 yıllarında Londra Menkul Kıymetler Borsası'nda bir tonun fiyatı 22,0 bin ABD doları ile 95 bin dolar arasında değişiyordu. Bir ton kobaltın dünya piyasasında kasım-2019 satış fiyatı 35,5 bin ABD doları olarak gerçekleşti.

3 KOBALT MİNERALLERİ

Kobalt mineralleri, her biri çok farklı mineralizasyon örnekleri sergileyen çeşitli ortamlarda ekonomik ekstraksiyonu destekleyecek kadar yüksek konsantrasyonlarda bulunur. En yaygın mineral grupları, sülfitler, sülfalar, arsenitler ve oksitlerdir.

Karolit Cu(Co,Ni)2S4

Linnaeit CoCo2S4

Skutterudit (Co,Ni)As3

Eritirit Co3(AsO4)28H2O

Kobaltit CoAsS

Kobalt, yüzyıllardır masmavi cam, seramik ve fayans oluşturmak için kullanılmıştır. Benzer şekilde, boya pigmentleri yapmak için de kullanılmıştır. Kobaltın temel uygulamaları toplam küresel talebin yaklaşık yarısını oluşturan kimya sektöründedir. Kobalt kimyasalları, şarj edilebilir pillerin katotlarında, petrokimya katalizörlerinde ve seramik pigmentlerinde kullanılır. Kobalt diğer metallerle alaşımlandığında çok güçlü mıknatıslar oluşturur. Kobalt; alüminyum, nikel ve kobalt alaşımı Al-Ni-Co alaşımı ve samaryum-kobalt mıknatısları gibi kalıcı mıknatıslar üretmek için kullanılır. Kobalt içeren süper alaşımlar, jet motorlarının ve enerji üretimi için gaz türbin motorlarının üretiminde kullanılır. Kobaltın sentetik bir izotopu olan Co-60, gama ışınları üretir. Bu, tıbbi malzemelerin ve yiyeceklerin sterilizasyonunda, endüstriyel testlerde ve kanserle mücadelede kullanılır.

Kobalt Sülfat CoSO4.7H2O

Kobalt sülfat yapı olarak susuz, pembe renkli bir mol ve yedi mol sulu olmak üzere farklı yapılarda bulunabilmektedir. Kobalt sülfat, kimya endüstrisinde ve katalizörlerde hammadde, boyar pigment maddesi, alkali veya lityum pillerin katkı maddesi, galvanik endüstrisinde ve seramik pigmentlerinin üretiminde ve elektrokaplama için kurutma maddesi olarak kullanılan diğer kobalt tuzlarını üretmek için kullanılabilmektedir.

4 SONUÇ

Bu metal, altın, gümüş, platin, bakır ve alüminyum gibi popüler ürünlerin gölgesinde kalıyor ve borsalarda satılan en popüler sözleşmeler arasında yer almıyor. Kobalt kimyasalları, şarj edilebilir pillerin katotlarında, petrokimya katalizörlerinde ve seramik pigmentlerinde kullanılır. Kobalt diğer metallerle alaşımlandığında çok güçlü mıknatıslar oluşturur. Kobalt içeren süper alaşımlar, jet motorlarının ve enerji üretimi için gaz türbin motorlarının üretiminde kullanılır. Kobaltın sentetik bir izotopu olan Co-60, gama ışınları üretir. Bu, tıbbi malzemelerin ve yiyeceklerin sterilizasyonunda, endüstriyel testlerde ve kanserle mücadelede kullanılır.Dünyanın en büyük kobalt üreticisi Çin Halk Cumhuriyeti'dir. Ayrıca Kanada, Amerika Birleşik Devletleri, Fransa, Zambiya, Kazakistan ve Rusya'da da zengin yataklara sahiptir. 2018-de ABD 19.000, Çin 110.000, Endoneziya 560.000 ton kobalt üretmişdir. Dünnyada en büyük kobalt rezervleri Demokratik Kongo Cumhuriyetindedir (3 400 000 ton).

ƏDƏBİYYAT

R.İ.Şükürov, M.M. Rəhimov. Metal-lur¬¬giya. Bakı, Maarif, 2005, 344s.

Абрамова В.Д. и др. Распределе-ние зо¬лота в минералах системы Cu-Fe-S (ко¬вел¬лин, дигенит, нукун-д¬а¬мит) / ВЕС ЭМПГ, М., 2013, 345 с.

White, D. T. (2009). Commercial development of magnesia mixed hydroxide process for recovery of nickel and cobalt from laterite leach solutions, Hydrometallurgy of Nickel and Cobalt, Proceedings of the 39th Annual Hydrometallurgy Meeting, CIM, Ontario, Canada, 351-367

Monhemius, J. (1977). Precipitation diagrams for metal hydroxides, sulfides, arsenates and phosphates. Transactions Institution of Mining & Metallurgy.

Daşkəsən Filizsaflaşdırma Kombinatında Alınan Tullantıların Yenidən Emal Texnologiyasının İşlənməsi

Dashkasan Cevher Rafinerisinde Atık Geri Dönüşüm Teknolojisinin Geliştirilmesi

Development of Waste Recycling Technology at Dashkasan Ore Refinery

R.R. Məmmədov, N.Ş. İsmayılov
Azərbaycan Texniki Universiteti, Metallurgiya və materiallar texnologiyası kafedrası, Bakı

XÜLASƏ Görülən işin məqsədi Daşkəsən filizsaflaşdırma tullantılarının yenidən emal etməklə müvafiq sahələrdə istifadə olunması imkanlarını araşdırmaqdır. Bu məqsədlə Daşkəsən yatağının filiz ehtiyatları, saflaşdırma texnoloji prosesləri və ya¬ranan tullantıların xüsusiyyətləri təhlil olunmuşdur. Filizsaflaşdırma prosesində ya¬ra¬nan mineral texnogen tullantıların tərkib və xassələri tədqiq olunmuşdur. Tex¬no¬loji tullantıların kimyəvi və mineral tərkibi, qranulometrik və texnoloji xassələri, ra¬dio-aktivlik xarakteristikaları müəyyən olunmuşdur. Aparılmış kompleks tədqiqatlar əsa¬sın¬da Daşkəsən filizsaflaşdırma tullantılarının təkrar xammal qismində inşaat ma¬terialları və məmulatlarının istehsalında istifadə olunması imkanları təsdiqlənmişdir.
Açar sözlər: filizsaflaşdırma tullantıları, təkrar emal, tərkib və xassələr

ÖZET Bu çalışmanın amacı, Dashkasan cevherinin arıtılmasında atıkların ilgili alanlarda geri dönüşüm yoluyla kullanılması olasılığını incelemektir. Bu amaçla Daşkasan sahasının cevher kaynakları, teknolojik arıtma süreçleri ve oluşan atıkların özellikleri analiz edilmiştir. Cevher arıtma işlemi sırasında oluşan mineral insan yapımı atıkların bileşimi ve özellikleri incelenmiştir. Teknolojik atıkların kimyasal ve mineral bileşimi, granülometrik ve teknolojik özellikleri, radyoaktivite özellikleri belirlendi. Karmaşık araştırmalara dayanarak, Dashkasan cevherinin arıtma atığını inşaat malzemeleri ve ürünlerinin üretiminde geri dönüştürülmüş bir hammadde olarak kullanma olasılığı doğrulandı.
Anahtar Kelimeler: cevher arıtma atığı, geri dönüşüm, bileşim ve özellikler

ABSTRACT The purpose of this work is to investigate the possibility of using Dashkasan ore refining waste in relevant areas by recycling. For this purpose, the ore resources of the Dashkasan field, the technological processes of purification and the characteristics of the generated wastes were analyzed. The composition and properties of mineral man-made wastes generated during the ore refining process were studied. Chemical and mineral composition, granulometric and technological properties, radioactivity characteristics of technological wastes were determined. On the basis of complex research, the possibility of using Dashkasan ore refining waste as a recycled raw material in the production of construction materials and products was confirmed.
Keywords: ore refining, recycling, composition and properties

1 GİRİŞ

Azərbaycanın ərazisi filiz və qeyri-filiz faydalı qazıntı yataqları ilə çox zəngindir. Daha böyük sənaye əhəmiyyətinə Daşkəsən dəmir filizi yatağı malikdir. Yataqda kəşf olunmuş sənaye əhəmiyyətli maqnitetli dəmir filizi ehtiyatları 164 mln.t. qiymətləndirilir (1,2).

Daşkəsən filizində dəmirin orta miqdarı 20...45% təşkil edir, maqnetitin miqdarı isə 90%-ə çatır. Filiz quru və yaş maqnitli separasiya üsulu ilə zənginləşdirilir, tərkibində 60%-dən çox dəmir olan konsentrat alınır (3,4).

Daşkəsən filizsaflaşdırma komp-leksi Azərbaycan dağ-mədən hasilatı sahəsinin flaqmanıdır və mineral ehtiyatların səmərəli təkrar emalı üzrə texnoloji klasterdir. İnkişaf etmiş infra-struktur texnoloji layihələrin reallaşdırılmasını şərtləndirir və böyük texniki-iqtisadi və ekoloji səmərə vəd edir (5,6).

Qeyri-filiz xammalı kimi inşaat material və məmulatları istehsalında istifadə olunması baxımından Daşkəsən texnogen tullantıları perspektivli hesab olunur.

Lakin Daşkəsən filizsaflaşdırma texnogen tullantıları ətraf mühiti korlayır və regionun təbii landşaftını dəyişir. Bu tullantıların tərkibindəki kanserogen və radioaktiv maddələr flora və faunaya da zərərli təsiri şəksizdir.

Hazırda filizlərin saflaşdırılması proseslərindən 90 mln. t.-dan çox tullantı yaranmışdır. Yaş maqnit separasiyasından dağ qumu şəklində tullantılar 25 mln. ton təşkil edir (7,8).

Beləliklə, Daşkəsən filiz saflaşdırma müəssisəsinin texnoloji mineral tullantıları texniki-iqtisadi və ekoloji maraq kəsb edir.

Daşkəsən dəmir filizlərinin zənginləşdirilməsi prosesində yaranan texnoloji-mineral tullantıların (TMT) tərkibində maqnetitlə zəngin qatlar və müxtəlif tərkibli oksidlər müşahidə olunmuşdur.

Daşkəsən yatağında texnoloji-mineral tullantı nümunələrin fiziki-kimyəvi və mineraloji xassələri müasir tədqiqat üsul və vasitələri tətbiq edilməklə öyrənilmişdir (cəd. 1 və 2).

Cədvəl 1 Nümunələrin mineral tərkibi, kütlə,%

Oksid	1/2020	2/2020	3/2020	4/2020
SiO_2	36.52	33.65	40.18	34.76
TiO_2	0.41	0.29	0.39	0.29
Al_2O_3	8.91	6.99	9.71	7.07
FeO	20.91	30.59	16.10	28.07

Cədvəl 2 Nümunələrin kimyəvi tərkibi, kütlə,%

Nümunə və minerallar	1	2	3	4
Qranatlar	57.1	51.2	32.5	52.2
Kalsitlər	7.4	9.5	16.2	7.2
Kvars	5.6	8.7	14.5	8.3
Xlorid	11.5	6.9	8.8	6.5
Plaksioqlaz	4.9	8.1	13.1	5.1
Diopsid	8.5	4.7	7.2	6.1
Maqnetit	3.4	10.9	3.8	6.9

Kütlə-spektrometrik təhlil nəticəsin¬də tullantıların mikroelement tərkibi təyin olunmuş və müəyyən olunmuşdur ki, tərkibdə 23 elementin izləri müşahidə olunur, onlardan dördü nümunə üçün cəd. 3-də verilir.

Cədvəl 3 Tullantıların element tərkibi, kütlə,%

Element	1/2020	2/2020	3/2020	4/2020
Li	2.994	8.247	14.510	6.707
Be	0.375	0.414	0.771	0.430
Y	0.146	3.459	3.497	0.264
Pd	0.0669	0.2650	0.3630	0.1439

Daşkəsən filizsaflaşdırma tullan-tılarının nümunələri radiasiya təhlü-kəliliyi baxımından qiymətləndirilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, radioaktivliyin qiyməti 0,08-0,11mkEv/s həddində yerləşir, bu isə buraxılan normalar həddindədir və radiasiya təhlükəsi yaratmır (cəd. 4).

Beləliklə, radioaktivlik təhlükəli-yinə sınaqların nəticələrinə görə belə qənaətə gəlmək olar ki, tullantıların radiasiya fonu aşağıdır və texnogen tullantıların radiasiya təhlükəsizliyi üz-rə sənaye normalarının tələblərinə cavab verir. Deməli, bu tullantılar təkrar xammal qismində inşaat materialları və məmulatları istehsalında istifadə olunma potensialına malikdir.

Cədvəl 4 Tullantı nümunəsinin radiasiya göstəricisi

Adları	Radioaktivliyin qiymətləndirilməsi, mkEv/s
Nümunələr	
Maqnetit konsentratı	0,09
Qeyri-maqnit konsentratı	0,08
Qeyri-maqnit konsentratının yuyulma quyruqları	0,11

2 NƏTİCƏ

Beləliklə, Daşkəsən filiz-saflaşdırma kombinatı ərazisində top-lanmış texnogen mineral tullantıların fiziki-kimyəvi və mineroloji xassə-lərinin tədqiqatlarının nəticələri tullan-tıların zənginləşdirilməsi, maqnetitlərin ayrılması, habelə təkrar emal texnologiyasının işlənməsi üçün xammal bazası rolunda çıxış edə bilər və bu işləmələr böyük texniki-iqtisadi və ekoloji səmərə vəd edir.

ƏDƏBİYYAT

Геология Азербайджана. Баку: Нафта Пресс, 2003. Том VI. Полезные ископаемые. 576 с.

Geology and Mineral Resources of Azerbaijan. New York: United Nations, 2000, 216 p.

Эфендиева З. Дж. Состояние сыр-ьевой базы черной металлургии Азербайджана и перспективы ее развития. Горный журнал, 2017, № 10, с. 48-52

Кашкай Ч.М., Гейдаров А.А. О возможности выщелачивание ценных металлов из хвостов Дашкесанского железорудного производства. AMEA-nın Xəbər-ləri, Yer elmləri seriyası, № 1-2, 2016, s. 48-52

2012 Minerals Yearbook : Azerbaijan / U.S. Geological Survey, 2015. URL: https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/country/2012/myb3-2012-aj.pdf

URL: http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ECO/

Эфендиева З. Дж. Эффективность рационального использования минерально-сырьевых ресурсов // сб. тр. XIII междунар. конф. М.: Изд-во РУДН, 2014. с. 201-203

Kərmova G.X., İsmayılov N.Ş., Əliyev M.X. Azərbaycanın dağ-mədən sənayesi: potensialı, xarakterik cəhətləri və inkişaf perspektivləri. Bakı, MAKA, Elmi əsərlər, 2020, № 4, c. 50-56

Dəmir filizlərinin pirometallurgiya sənayesində istifadə imkanlarının araşdırılması

Pirometalurji endüstrisinde demir cevherlerinin kullanım olasılığının araştırılması

Investigation of the possibility of using iron ores in the pyrometallurgical industry

A. Mammadov, N. Poladov
Azərbaycan Texniki Universiteti, Metallurgiya və materiallar texnologiyası kafedrası, Bakı

XÜLASƏ İşin məqsədi dəmir filizlərinin pirometallurgiya sənayesində istifadə imkanlarının araşdı-rılmasından ibarətdir. Sənaye filizi elə süxurdur ki, ondan texnikanın mövcud inkişaf səviyyəsində metalların və ya onların birləşmələrinin alınması məqsədəuyğun olur. Hazırda filizlərin tərkibində dəmir, mis və molibdenin miqdarı uyğun olaraq (30-60)% Fe,(3-5)% Cu, (0,005-0,02)% Mo təşkil edən həmin filizlərdən dəmir mis və molibden alınması məqsədəuyğundur. Filizləri tərkibindəki bir və ya bir neçə metalın adı ilə adlandırırlar: məsələn, dəmir, mis filizləri, mis-nikel filizləri və s.
Açar sözlər: dəmir, filiz, pirometallurgiya, sənaye

ÖZET Çalışmanın amacı, pirometalurji endüstrisinde demir cevherlerinin kullanım olasılığını inc-elemektir. Endüstriyel cevher öyle bir kayadır ki, mevcut teknik gelişme seviyesinde metalleri veya bileşiklerini çıkarmak uygun olur. Şu anda, demir içeriğin-de sırasıyla (30-60)% Fe, (3-5)% Cu, (0,005-0,02)% Mo içeren bu cevherlerden de-mir, bakır ve molibden çıkarmak uygundur. , bakır ve molibden. Cevherler, içlerinde-ki bir veya daha fazla metalden sonra adlandırılır: örneğin, demir, bakır cevherleri, bakır-nikel cevherleri vb.
Anahtar kelimeler: demir, cevher, pirometalurji, endüstri

ABSTRACT The purpose of the work is to study the possibility of using iron ores in the pyrometallurgical industry. Industrial ore is such a rock that it is expedient to extract metals or their compounds at the current level of technical development. At present, it is expedient to extract iron, copper and molybdenum from these ores, which contain (30-60)% Fe, (3-5)% Cu, (0.005-0.02)% Mo, respectively, in the content of iron, copper and molybdenum. Ores are named after one or more metals they contain: for example, iron, copper ores, copper-nickel ores, etc.
Key words: iron, ore, pyrometallurgy, industry

1 DƏMİR FİLİZLƏRİ VƏ ONLARIN PİROMETALLURGİYADA TƏTBİQ İMKANLARI

Bildiyimiz kimi metallurgiya is-tehsalatı filizlərin, kokslaşan kömürün və energetika komplekslərinin mövcud olduğu yerlərdə təşkil edilmiş müxtəlif istehsalat sahələrinin mürəkkəb siste-mindən ibrətdir. Bu sistem filiz, daş kö-mür şaxtaları və karxanalarını, filizzən-ginləşdirmə və filizi əritməyə hazırla-yan mədən zənginləşdirmə kombinatlarını, kömürün kokslaşdırılması və ondan yararlı kimyəvi məhsulların ayrılmasını təminedən kokskimya zavodlarını, sıxılmış hava (domna sobalarına verilmək və digər məqsədlər üçün) və oksigen alınması, habelə metallurgiya qazlarının təmizlənməsi üçün enerji

sexlərini, çuqun və ferro-ərintiləri əritmək üçün domna sexlərini, yaxud metallaşdırılmış dənəvər (okatış) dəmir filizi istehsalı sexlərini, ferroərintilər is-tehsalı zavodlarını, poladəritmə sexlərini (konverter, marten, elektrik-polad-əritmə və s.), polad korputların tökülmə və yayılma sexlərini və s. özündə birləşdirir.

Metallaşdırılmış dənəvər dəmir filizindən legirlənmiş poladların əridilməsi üçün işlədilən ferroərintilər (tərkibində Mn, Si, V, Ti və s.nin miqdarı çox olan ərintilər) alınır. Müxtəlif üsullarla əridilmiş poladlardan çeşidli yayıqların (relslər, tirlər, tirciklər, lentlər məftillər), təbəqələrin, boruların və s. yayılması, həmçinin turbin rotorları üçün böyük kütləli valların, disklərin və s. döymə ilə hazırlanması üçün istifadə olunan polad korputlar (dəmirçi korputları) tökülür.

1.1 Sənaye filizi

Elə süxurdur ki, on-dan texnikanın mövcud inkişaf səviyyəsində metalların və ya onların birləşmələrinin alınması məqsədəuyğun olur. Məsələn, hazırda filizlərin tərkibində dəmir, mis və molibdenin miqdarı uy-ğun olaraq (30-60)% Fe, (3-5)% Cu, (0,005-0,02)% Mo təşkil edən həmin filizlərdən dəmir mis və molibden alınması məqsədəuyğundur. Filizləri tərkibindəki bir və ya bir neçə metalın adı ilə adlandırırlar: məsələn, dəmir, mis filizləri, mis-nikel filizləri və s.

1.2 Cılız filizləri

Bir qayda olaraq zənginləşdirirlər, yəni onların tərkibindəki boş süxurların miqdarını azaldırlar. Zəngin filizdən konsentratdan istifadə edildikdə metallurgiya sobalarının işinin texniki-iqtisadi göstəriciləri yaxşılaşır.

1.3 Dəmir filizləri

Dəmir filizlərindəki boş süxurlar silisium, alüminium, maqnezium, kalsium oksidlərindən ibarətdir. Aşağıdakı dəmir filizləri mövcuddur.

1.4 Maqnitli dəmir daşı filizinin

Dəmirli hissəsi Fe_3O_4 və ya $Fe_2O_3 \cdot FeO$-dan ibarətdir. Filizdəki metalın miqdarı (40-70)%, boş süxurun miqdarı isə (60-30) % arasında dəyişir. Fe_3O_4-ün tərkibində 72,4% saf dəmir və 27,6% oksi-gen vardır. Maqnitli dəmirdaşı maqnit xassələrinə və yüksək sıxlığa malikdir. Yüksək sıxlıq, filizdəki dəmirin reduksiya olunmasını çox çətinləşdirir. Maqnitli dəmirdaşı bozumtul, tünd və qara rəngli olur. Qırmızı dəmir daşındakı dəmir Fe_2O_3 şəklindədir. Bunun tərki-bində 69,9 %-dək dəmir və 31,1%-ə qədər oksigen vardır. Filizdəki metalın miqdarı (45-65)%, boş süxurun (SiO_2 və $CaCO_3$) miqdarı isə (55-35) % təşkil edir. Qırmızı dəmirdaşında kükürd, fosfor və s. kimi zərərli aşqarların miqdarı az, dəmirin nisbi miqdarı isə çoxdur. Filiz tünd qırmızı rəngdə olur.

1.5 Kompleks filizlər

Tərkibində dəmir oksidlərindən başqa xrom, vanadium, titan, molibden kimi xüsusi elementlərin oksidləri olan filizlərdir. Bu filizlərdə eyni zamanda bir və ya bir neçə xüsusi elementin oksidləri ola bilər. Tərkibindəki xüsusi elementlərə görə kompleks filizlər aşağıdakı qrup-lara bölünür.

1.5.1 Xromitli filizlərin

Tərkibindəki xüsusi komponent (təşkiledici) başlıca olaraq xrom oksidindən ibarətdir. Xromitli filiz yataqları Saranskda yerləşir. Bu yataqlardan alınan filizdə 37,5 % Cr_2O_3, 22,3% FeO, 16,1% Al_2O_3, 5,3% SiO_2, 1,49% MgO, 0,9% CaO və 0,02% P olur. Xromitli filizdən domna sobasında ferroxrom alınır ki, bundan xüsusi çuqun və poladların istehsalında istifadə edilir.

1.5.2 Xrom-nikelli filizlər

Xrom və nikel oksidlərinə malikdir. Yelizave-tinski, Orsk-Xaliliovsk, Şərqi Komper-sayskidə xrom-nikelli filiz yataqları mövcuddur. Praktiki cəhətdən Xalilovsk yataqları daha əhəmiyyətlidir. Bunlardan çıxarılan filizdə (37-48) % Fe, (0.8-1.6)% Cr

və (0.4-0.7)% Ni vardır. Əslində Xalilovsk filizi qonur dəmirdaş ıilə xrom və nikel oksidlərinin qarışığından ibarət konqlomeratdır. Domna sobasında çuqun istehsal etdikdə filizlərdəki xrom və nikel reduksiya olunaraq çuquna keçir, onun mexaniki, fiziki və s. xassələrinin yaxşılaşmasına səbəb olur.

1.5.3 Dəmir-vanadium-titanlı filizlər.

Bunun tərkibində dəmir ilə yanaşı vanadium və titan filizləri də olur. Dəmir-vanadium-titanlı filizlərin iki əsas yatağı Kusinski və Pervouralsk rayon-larında yerləşir. Kusinski yatağından çıxarılan filizin tərkibində: 47,5% Fe, 0,35% V, (12 14)% TiO2, (3-10)% SiO2 və 0,02% P, Pervouralsk filizinin tərkibində isə 33% Fe, 15% SiO2, 3.2% TiO2 və 0.26% V vardır.

Dəmir filizlərinin əksəriyyətinin tərkibindəki boş süxur turş xassəli olub, silisium 4-oksiddən ibarətdir. Bunu po-salaşdırmaq üçün əsasi xassəli flüs götürülməlidir. Bu halda domna sobasına flüs kimi tərkibində 50 %-dən çox CaO olan əhəngdaşı (CaCO3) verilir. Posalaşdırma prosesinin aktivliyini artırmaq üçün sobaya əhəngdaşı əvəzinə dolomitləşdirilmiş əhəngdaşı daxil edilir.

Bir sıra hallarda dəmir filizlərindəki boş süxur əsasi xassəli oksidlərdən, məsələn, CaO, MgO və Al2O3-dən ibarət olur. Bunları posalaşdırmaq üçün turş xassəli flüs, məsələn, SiO2 əlavə edilməlidir. Flüsün tərkibi çox zaman sobada yandırılan yanacağın kimyəvi tərkibindən asılı olaraq dəyişir. Məsələn, domna sobasında antrasit və ya koks yandırılarsa, sobaya əsasi xassəli flüs verilir. Lakin domna sobası ağac kömürü ilə işləyirsə az miqdarda kül və kükürd alınır. Bu isə əsasi xassəli flüs sərfinin xeyli azaldılmasına imkan verir. Domna sobasına verilən şixtədə aqlomerat, dənəvər filiz olduqda flüs bunların içərisindəki boş süxuru da posalaşdırır.n Polad istehsal etdikdə soba-ya verilən flüs, maye metaldakı zərərli aşqarları, məsələn, sulfidləri (FeS, MnS, AlS) və oksidləri (FeO, MnO, Al2O3, P2O5) posalaşdırır.

2 NƏTİCƏ

Bir sıra hallarda dəmir filizlərindəki boş süxur əsasi xassəli oksidlərdən, məsələn, CaO,MgO və Al2O3-dən ibarət olur. Bunları posalaşdırmaq üçün turş xassəli flüs, məsələn, SiO2 əlavə edilməlidir. Flüsün tərkibi çox zaman sobada yandırılan yanacağın kimyəvi tərkibindən asılı olaraq dəyişir. Bu isə əsasi xassəli flüs sərfinin xeyli azaldılmasına imkan verir. Polad istehsal etdikdə sobaya verilən flüs, maye metal-dakı zərərli aşqarları, məsələn, sulfidlə-ri (FeS, MnS, AlS) və oksidləri (FeO, MnO, Al2O3, P2O5) posalaşdırır.

ƏDƏBİYYAT

V. M. Babazadə, 1988. Azərbaycanın bərk faydalı qazıntı yataqlarının geologiyası. ADNA, Bakı.

Suleymanov S., Mahmudov Ə, 1989. "Faydalı qazıntı yataqlarının geologiyası."."Bakı", "Maarif.

Sülfür cevherlerinden verimli altının çıkarılması için teknolojinin geliştirilmesi

Development of technology for efficient extraction of gold from sulfide ores

A.V. Namazov, S.N. Namazov
Azərbaycan Texniki Universiteti, Metallurgiya və materiallar texnologiyası kafedrası, Bakı

XÜLASƏ Sürdürülebilir ve uzun vadeli bir altın madenciliği endüstrisinin oluşturulması için dünyada büyük fırsatlar vardır. Son yıllarda keşfedilen çok sayıda altın yatağı ve tezahürü (hem özel altın hem de diğer metallerle birlikte) bunu doğrulamaktadır. zira onlar potensial filizli regionlarda proqnozlaşdırılan qızıl filizləşməsinin az bir hissəsini təşkil edir. Çünkü onlar potansiyel olarak cevher içeren bölgelerde öngörülen altın cevherleşmesinin küçük bir bölümünüparçasını oluştururlar. Altın yatak ve tezahürleri iki grupta birleştirilebilir. Birinci grup, doğrudan kayaların oluşumunda bulunan köklü altın yataklarını içerir. İkinci grup ise köklü altın yataklarının aşınması ve tortuların bunlardan farklı mesafelere taşınması sonucu oluşan dağınık altın yataklarıdır. Dağınık altın yataklarının geliştirilmesinde ek bir teknolojik işlem gerektirmediğinden çok ekonomiktir.

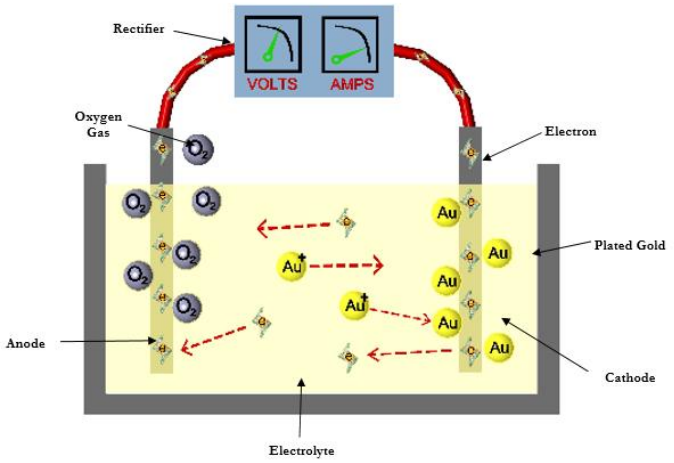
ABSTRACT There are great opportunities for the creation of a sustainable and long-term gold mining industry in the world. Numerous gold deposits and occurrences (in combination with both special gold and other metals) discovered in recent decades confirm this, as they are only a small part of the projected gold mineralization in potentially ore-bearing regions. The golden bed and its manifestations can be combined into two groups. The first group includes deep-rooted gold deposits found directly in the formation of rocks. The second group is eroded gold deposits, scattered gold deposits formed as a result of the transport of sediments at different distances from them. The sowing is very economical as no additional technological processing is required in the development of gold deposits.

1 ARAŞTIRMA

1.1 Altının kökeni ve dağılımı

Hipojenik altın oluşumları hidrotermal kökenlidir. Altın cevheri nesnelerinin çoğu, genetik olarak asit müdahaleci kayalarla ilişkili olan orta ve yüksek sıcaklık plütonojenik yataklara aittir. Parajenetik olarak volkanitlerle ilişkili olan orta ve düşük sıcaklık volkanik al-tın yatakları da bilinmektedir. Cevherler ayrı-ca, görünür altına ek olarak, çoğunlukla pirit ve kalkopirit olmak üzere çeşitli sülfitlerde in-ce bir şekilde dağınık halde dağılmış "bağlı" altın içerir [1]. Eksojen mineral oluşumları esas olarak tortullarda bulunur. Onlar cevher yataklarının oksidasyon bölgelerinde, bazen siyah kumlarda gözlenirler. Serbest altın metamorfik kayalarda da bulunmuştur. Onların nadir buluntuları demir göktaşlarında kaydedilmiştir [2]. Azerbaycan'da altının hem ana, hem de dağıtım tesisleri var. Ana tesisleri saf altın cevheri (Gosha, Gizilbulağ, Dağkesemen, Vejnali, bölgesinin esas kısmı Azerbay-can'ın Kelbecer bölgesinde bulunan

Zod yata-ğı) ve altın pirit, bakır ve molibden porfir, ba-rit polimetal, kobalt (Gedebey, Çırağdere, To-ğanali, Çovdar, Başgişlağ, Kuzey Taşkesen, Filizçay, Katsdağ vb.) yatakları ile temsil edilmektedir. Altın ayrıca skarnlarda ve siyah şistlerde küçük miktarlarda bulunmaktadır. Mineralin saçılma belirtilerinin çoğu alüvyon tipine aittir. Bir çok nehir havzasında (Tar-tarchay, Goshgarchay, Shamkirchay, Agsta-fachay, Asrikchay, Kurekchay, Alinjachay, Bashkendchay, vb.) bulunan sayısız (yaklaşık 40) saçılma arasında, endüstriye yararlı saçıl-malar henüz tespit edilmemiştir.



Şekil 1. Altın işleme şeması

1.2 Altın Üretim Yöntemleri

Altının üretim yönteminin belirlenmesi jeolo-jik, mineralojik, metalürjik, çevresel, coğrafi, ekonomik ve siyasi etmenlere bağlı olarak de-ğişebilmektedir [2]. Altın cevherleri metalür-jik açıdan genellikle serbest altın içeren, kom-pleks ve refrakter olmak üzere 3 ana grupta sı-nıflandırılırlar. Serbest altın içeren cevherler-den (%80 <75µm) siyanür liçiyle Au >% 90 verimle kazanılabilmektedir. Yüksek siyanür ve oksijen tüketimine karşın, kabul edilebilir altın kazanımı elde edilen cevherlere ise kom-pleks altın cevherleri olarak değerlendiril-mektedir. Aşırı miktarda reaktifle dahi kaza-nılamayan ve ekonomik olmayan cevherlere de refrakter cevherler denilmektedir.

Kimyasal sabitliği nedeniyle altın, diğer elementlerle kolayca birleşerek mineral oluş-turmaz. Genellikle toprakta ve kayalarda altın tozu şeklinde dağılmış halde bulunur. Bu tozlar yalnızca mikroskop altında görülebilir. Altın ayrıca külçe veya levha şeklinde de bulu-nur. Altın nadiren diğer elementlerle birleşse de, diğer cisimlerle birlikte bulunabilir. Altın içeren mineraller genellikle çinko sülfat ve demir disülfat içerir. Bu tür minerallere sahte altın denir. Bunun nedeni, renklerin sarı olması ve bazen altınla karıştırılmasıdır. Kolorado ve Batı Avustralya'da altın, tellür ile kombinasyon halinde bulunur. Bu bileşiklere altın tellür denir. Altın bazı yerlerde kuvars kayalarında damlacıklar halinde bulunur. Altın damarlar içeren bu kayalar, atmosfere maruz kalan yerlerde yağmur ve rüzgarla aşınarak çakıl ve kuma dönüşür. Kum yağmur suyunda akar ve sel yatağında birikir. Küçük altın külçeleri ve altın tozu da kumda birikir. Sel yatağında kumdaki altını kumdan ayırarak el-de etmek çok kolaydır.

1.3 Altına Hücum

Geçen yüzyılda keşfedilen yeni altın yatakları, "altına hücum" göçlerine yol açtı. İlk büyük altına hücum 1849'da Kaliforniya'da meydana geldi. Küçük San Francisco şehri, bu göçlerin sonucunda üç yılda beklenmedik bir şekilde büyüdü. Dünyanın her yerinden buraya insan akını oldu. Ancak gelenlerin çok az kısmı hayallerine ulaştı, birçoğu öldü veya eli boş geri döndü. Amerika'da altına son hücum 1897'de Alaska'daki Klondike Nehri'ndeki altın yataklarında gerçekleşti. Altın avcıları dondurucu soğuğa ve korkunç koşullara dayanmak zorunda kaldılar. 1852 ve 1859'da Avustralya'da da altın yataklarına ilgi vardı. Avustralya'nın nüfusu bu nedenle sekiz yılda ikiye katlandı. Burada sonuç Amerika'dakinden daha iyiydi. Amerika'daki altın avcılarının toz altın veya küçük külçeler bul-ma olasılığı daha yüksekti. Avustralya'da ise daha büyük külçeler bulundu. Bulunan en büyük külçe, 270 kg ağırlığındaki Holtermann külçesidir. Külçe, 1872'de Avustralya, Yeni Güney Galler'de yerin birkaç santimetre altındaki altın bir damardan çıkarıldı. O sırada Avustralya'da başka büyük külçeler bulundu. Bunlardan biri Welcom Stranger külçesidir. Bu külçe karışık halde 70 kg, saf altın olarak 65 kg ağırlığındaydı. Okyanus tabanından ve nehir yataklarından altın çıkarmak için özel cihazlar kullanılır. Kuvars kayalarda altın

çok küçük parçacıklarda bulunur. Bazen 10 gram altın elde etmek için bir tonluk kayayı kırmak gerekir. Bunun için kaya bir sarnıçta küçük parçalara bölünür. Daha sonra bu kısımların üzerine suda çözünür sodyum veya potasyum siyanür dökülür. Böylece altın bir çözelti elde edilir. Bu çözelti ayrıca çinko ile reaksiyona girer ve altın elde edilir.

2 ALTININ ELDE EDİLMESİ

2.1 Altın elde edilmesinde kullanılan teknolojiler. Altın minerallerinin Liçlenebilirliği

Altın minerallerinden sadece doğal altın, elektrum ve aurikuprit, kolaylıkla siyanürle çözünebilmektedir. Silvanit [AuAgTe4], kalaverit [AuTe2] ve maldonitin [Au2Bi], normal liçleme koşulları altında doğrudan siyanürlemeye dirençli olması sebebiyle, altın içe-riğinin tamamını veya bir kısmını kazanabil-mek için daha agresif ve işleme uygun hale getirilmiş özel koşullar gerekmektedir [3]. Ayrıca aurostibnit [AuSb2], bazik çözeltile-rinde altın kazanımına imkân vermeyen AuSbO3'e dönüşmektedir. Framboyidel konfigürasyonda demir hidroksioksitler içeren kolloidal altın, genellikle zayıf çözünme kinetiği gösteren liç tesislerinin atıklarından zenginleştirilmektedir. Altının düşük etkinliğe sahip. Elektron açgözlülüğü nedeniyle en asil metaldir. Altın, yüksek sıcaklıklarda bile oksijen, hidrojen, nitrojen ve karbon ile temas etmez. Kimyasal bileşiklerde altın tek değer-likli ve üç değerliklidir. Bununla birlikte, altın bileşikleri güçlü değildir ve kolayca metale dönüştürülebilir. Altın alkalilerde, organik ve inorganik asitlerde çözünmez. Kimyasal özel-liklerinden dolayı altın inerttir, oksijen ve kü-kürt ile reaksiyona girmez. Ancak halojenler-le çok kolay reaksıyona girer. Altın, oksijen veya diğer oksidanların varlığında siyanür çözeltilerinde çözünür [4].

2.2 Altın geri kazanım reaksiyonları

Altının indirgeme reaksiyonunu gerçekleştirmek için düşük konsantrasyonda AuCl solüsyonu, yani% 0.1-0.05 kullanmak uygundur. Restoratif olarak FeSO, hidrosin, hidrojen sülfür, sülfür anhidrit, bir gliserin ve soda karışımı, klorlu kalay kurşun, sülfür, fosfor formalin, arsenik, karbon, çinko ve diğerleri gibi klorlu bileşikler rejeneratör olarak kullanılabilir. Bu durumda, ayrılan altın tortusu koloidal parçacıklardan oluşur.

2.2.1 FeSO çözümü ile altının azaltılması

$AuCl_3$ solüsyonuna birkaç damla yeni hazırlanmış % 1 $FeSO_4$ solüsyonu eklemek lazım. Bu durumda altın tortusu ayrılır:

$$AuCl_3+3FeSO_4=Au+FeCl_3+Fe_2(SO_4)_3$$

2.2.2 Hidrolizle altının azaltılması

$AuCl_3$ solüsyonuna birkaç damla% 10 hidrosin solüsyonu eklemek lazım. Bu durumda altın ince bir süspansiyon şeklinde ayrılır:

$$AuCl_3+3(NH_2)_2\cdot HCl=4Au+15HCl+3N_2$$

Bu durumda, reaksiyon ürünleri indirgenmiş altını atmaz.

2.2.3 Altının $H_2C_2O_4$ asit ile indirgenmesi

$AuCl_3$ çözeltisine az miktarda% 1 $H_2C_2O_4$ çözeltisi ekleyin ve kaynama noktasına kadar ısıtmak lazım. Bu durumda altın tortusu ayrılır.

$$2AuCl_3+H_2C_2O_4=2Au+6HCl+6CO_2$$

2.3 Altının siyanür bileşikleri

Altın, iki basit siyanür bileşiği oluşturur. Sırasıyla tek değerlikli ve üç değerlikli. Üç değerlikli altın siyanür düşük stabiliteye sahiptir ve pratikte nadiren rastlanır. Altın metalurjisinde sadece tek değerlikli MeAu (CN) kompleksi siyanür büyük pratik öneme sahiptir. Burada Me potasyum, sodyum, kalsiyum, gümüş, çinko ve diğerleri olabilir.

2.4 Birleştirme yöntemiyle altın elde etmek

Birleştirme işlemi, değerli metal partiküllerini ıslatarak cıva ile katı çözeltilerin ve kimyasal bileşiklerin oluşumuna dayanır. Elde edilen değerli metal alaşımlarına amalgam denir. Amalgam, başlı başına heterojen bir sistemdir ve iki aşamadan oluşur. Bu aşamalardan biri cıva içeren bir kimyasal bileşikten oluşur ve diğer aşama, %0.15-0.17 altın çözeltisine sahip sıvı cıvadan oluşur. Cıva, altın ve gümüşün bileşmesi sürecinde

bir toplayıcı rolünü oynar. Böylece, bu işlemde cıva, bir agrega-amalgam oluşturmak için değerli metal parçacıkları toplar. Asil metal bileşiminin oluşumu, yüzeylerinin cıva ile ıslatılmasına dayanır. En iyi altın işlenir. Gümüş ve özellikle platin kademeli olarak bileşime maruz bırakılır. Oksitlenmemiş ve yüzey tabakası olmayan metal partiküller daha iyi bir birleştirme sürecinden geçer. Altın oksit tabakasının kalınlığı ihmal edilebilir düzeydedir. Platin yüzeyindeki oksit tabakası daha yoğundur ve ıslanıp kaynaşması için bu tabakanın kaldırılması gerekir. Cıva ve altın parçacıklarının ıslanma oranını belirleyen ana faktörler, altın ve cıvanın bileşimi, yüzeylerinin durumu, sıcaklık, reaksiyon ortamı ve diğerleridir. Saf altının ıslatma özelliği daha yüksektir.~% 0,1 altın ve gümüş içeren cıva, kimyasal olarak saf cıvadan daha iyi altını emer. % 0,1'den az kurşun ve bakır içeren cıva altını daha iyidir. Çinko, yalnızca asidik solüsyonda ıslatmayı iyileştirir. Diğer faktörler de birleşme sürecini etkiler. Cıva üzerine belli bir miktar bakır ve demir düşerse, bu işlem verimsizdir. Bakır doğrudan kötü birleşmeye maruz kalır. Bununla birlikte, yeni geri kazanılan ve oksitlenen bakır çok kolay bir şekilde birleştirilir. Birleştirme cihazına giren suda bakır iyonları varsa, metalik demir ile kolayca geri kazanılır, bu da Cu2++Fe=Fe2+Cu reaksiyonuna neden olur ve ortaya çıkan bakır cıva ile çok kolay muamele edilir, amalgama ve kırılgan hale gelir. Bakır iyonlarının bu olumsuz etkisinden kurtulmak için karışıma kireç ilave edilir. Bu, hidrat formunda bakırı çökeltir. Değerli metal cevherleri ve konsantreleri amalgamasyona tabi tutulur. Birleştirme süreci basit ve düşük fiyatlı bir işleme yöntemidir. Süreç çabuk biter.

3 SONUÇLAR

Altının oksit bileşikleri çok kararsızdır ve dolaylı olarak elde edilir. Altın elde etme süreçleri arasında birleştirme yöntemi, hızlı ve düşük fiyatlı olması nedeniyle daha geniş bir uygulama alanı bulmuştur.

TEŞEKKÜRLER

Bu bilimsel makalenin danışmanlığı ve oluşturulması için Bilimsel Danışmanım Prof.Dr., t.b.a. S.N.Namazov-a teşekkür ederim.

EDEBİYAT

[1] V.N.Nağıyev, İ.Ə.Məmmədov, Naxçıvan Muxtar Respublikasının faydalı qazıntıları. Bakı: “Elm”, 2010. – 240 səh.

[2] Sarkan Sarıkaya. “Bir altın cevherlerində başlıca işlem parametrelerinin liç verimine etkilenmesi” Hacettepe Üniversitesi, 2018

[3] L. R. P. de Andrade Lima, D. Hodouin, Simulation Study of the Optimal disribution of Cyanide in a Gold Leaching Circuit, Minerals Engineering, 19, 1319-1327, 2006.

[4] L.R.P. de Andrade Lima, D. Hodouin, Optimisation of Reactor Volumes for Gold Cyanidation, Minerals Engineering, 18, 671-679, 2005.

[5] Ellis, S., Senanayake G., The Effects of Dissolved Oxygen and Cyanide Dosage on Gold Extraction from a Pyrrhotite-rich Ore, Perth, 2001.

[6] И.Н. Масленицкий, Л.Б. Чугаев “Металлургия благородных металлов”. Металлур-гия. Москва 1972.

[7] И.Н. Масленицкий и др. “Металлургия благородных металлов”. Металлургия. Москва 1987.

[8] М.А. Меретуков и др. “Металлургия благородных металлов”. Металлургия. Москва 1991.

MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Bitirme Tasarım Projeleri Bildirileri

Küre Bakır Yeraltı Madeninde Kaya Mekaniği Parametrelerine Göre Tahkimat Seçimi

Support System Selection According to Rock Mechanics Parameters in Küre Copper Underground Mine

C. Uçar*, H. Tunçdemir*, G. Şans**
**İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

***İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

ÖZET Eti Bakır Küre A.Ş. Bakibaba yeraltı bakır madeninin Blok-4 kesiminde açılacak üretim açıklığı için tahkimat tasarımına etken kaya mekaniği parametreleri değerlendirilmiştir. Çalışmada, yan kayacı bazalt olan bir açıklık incelenmiştir. Bu kademenin çevresinde cevher arama amaçlı yapılmış B-131 sondajından ve jeomekanik sonuçlardan faydalanılmıştır. Elde edilen kavramsal model için tahkimata etken jeomekanik parametrelerin seçiminde, yenilme sonrası dayanımlar hesaplanmış ve in-situ koşullara yönelik kestirimlerde bulunulmuştur. Çalışılan açıklık için en zayıf, ortalama ve en sağlam durumları yansıtan kaya mekaniği parametreleri, sonlu elemanlar yöntemiyle Rocscience RS2 yazılımı kullanılarak incelenmiştir. Sonuçta, tahkimat sistemlerinin özellikle dayanım açısından zayıf hatlarda devamlılığının takip edilmesi gerektiği görülmüştür. Küre Bakibaba Yeraltı Ocağı Blok-4 için tahkimatsız durum ve seçilen tahkimat sistemlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre her model için tahkimat sistemleri uygulanarak, arazi üzerindeki etki incelenmiş ve tahkimat sistemlerinin uzun vadede nasıl etkileneceği tespit edilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Kaya mekaniği, kaya sınıflama, tahkimat

ABSTRACT Rock mechanics parameters were evaluated in order to design support systems of a production stope in Block-4 of Eti Bakır A.Ş. Bakibaba underground copper mine. Aim of study is to investigate an opening whose hanging wall is basalt. B-131 drilling and geomechanical results were used. Conceptual model that is created for the design of support systems, obtained from post-failure strengths and in-situ conditions. Rock mechanics parameters determined the weakest, average and strongest states for the opening by using finite element method on Rocscience RS2 software. As a result, continuity of the support systems should be observed, especially on the weakest state. For Block-4, the unsupported situation and the effect of selected support systems were compared. According to results of the analysis, the effect on the land was examined by applying the support systems for each model and it was determined how the support systems would be affected in the long term.
Keywords: Rock mechanics, rock classification, support.

1 GİRİŞ

1.1 Çalışma Yöntemi

Bakibaba yeraltı bakır işletmesi Kastamonu ilinin Küre ilçesinde bulunmaktadır. Ara katlı, dolgulu, göçertmeli üretim yöntemi kullanılan küre bakır madeninde ilerleme patlatma ile sağlanmakta olup, her bir patlatmada 4 m ilerleme ile üretim yapılmaktadır. Çalışma kapsamında madenin 4. Bloğunda açılan bir açıklık, B-131 sondajının verilerine göre değerlendirilmiş ve kaya kütle sınıflama sistemlerine göre sınıflandırılmıştır. Bu sondaj verileri kendi aralarında dayanım açısından en sağlam, ortalama ve en zayıf olacak şekilde üç grupta değerlendirilmiş ve RocScience RS2 sonlu elemanlar yazılımı ile en sağlam, ortalama ve en zayıf olarak üç model oluşturulup hesaplanmıştır.

1.2 Genel Jeoloji

Küre bakır yatakları, pirit ve kalkopiritten oluşan masif ve saçınımlı sülfid maden yataklarındandır ve ağırlıklı olarak ultramafik kayaçlardan oluşmaktadır. Çalışma alanı bazalt yan kayacında olup, maden yatağında bazaltlara, ayrışmış bazaltlara ve siyah şeyllere rastlanılmaktadır. Maden ocağında ayrışmalar cevherli bölgelerde görülmekte olup kalsit ve kuvars dolgusu bulunmaktadır.

B-131 sondajı çalışma alanı için temel alınan sondajdır. Sondajın RQD verilerine göre maden ocağı ortalama %31, blok 4 ortalama %37 RQD değerine sahiptir. B-131 sondajından, tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, kohezyon, içsel sürtünme açısı ve elastisite modülü (EM) verileri elde edilmiş ve kavramsal model oluşturmak için kullanılmıştır.

2 SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZLER

Çalışma alanının Rocscience programı RS2 modülünde modellenebilmesi adına çalışma alanı B-131 sondajında elde edilen verilere göre incelenmiş ve kaya kütleme sınıflama sistemleri ile en sağlam, ortalama ve en zayıf olmak üzere üç durumda analiz edilmiştir.

RS2 modülünde model sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanmıştır ve açıklık tasarımı at nalı şeklinde 5 m uzunluğunda ve genişliğinde yapılmıştır. Bu doğrultuda her üç durum için Hoek-Brown Genelleştirilmiş Yenilme Kriteri 2006 kullanılmış ve plastik ortam analizi yapılmıştır. Dayanım parametrelerinin artık (residual) değerleri hesaplanmış ve plastik analiz yapabilmek için modelde kullanılmıştır.

Çalışma alanı patlatma ile açılmadan önce hakim olan gerilmeleri doğal gerilmeler oluşturduğu için gerilme analizi için yer çekimi (gravity) yöntemi seçilmiş ve patlatma sonrası oluşan etkiyi analiz edebilmek için uyarılmış (induced) yük uygulanmıştır.

2.1 Kaya Kütle Sınıflama Sistemleri

En sağlam, ortalama ve en zayıf durumun oluşturulmasında RMR, Q ve GSI sınıflama sistemleri kullanılmıştır. Bu sınıflama sistemleri, Bakibaba tahkimat raporundan ve B-131 sondaj verilerinden elde edilmiştir ve Çizelge 1'de gösterilmektedir.

Çizelge 1. Kaya Kütle Sınıflama Sistemi Puanları

D	RMR	Q	GSI
ES	69	8.8	64
O	45	1.63	40
EZ	35	0.71	30

D: Durum, ES: En Sağlam, O: Ortalama EZ: En Zayıf

Bieniawski'nin (1989) kaya sınıflaması için sunduğu çizelgeye göre RMR puanı seçimi ile hesaplanan ayakta kalma süresi, en sağlam durum için 2 yıl 2 ay, ortalama durum için 2 gün 8 saat ve en zayıf durum için 4 saat olarak belirlenmiştir. En zayıf durumun çökme sınırına çok yakın olduğu da görülmüştür.

3 TAHKİMAT UYGULAMASI

3.1 Uygulanan Tahkimat Sistemleri

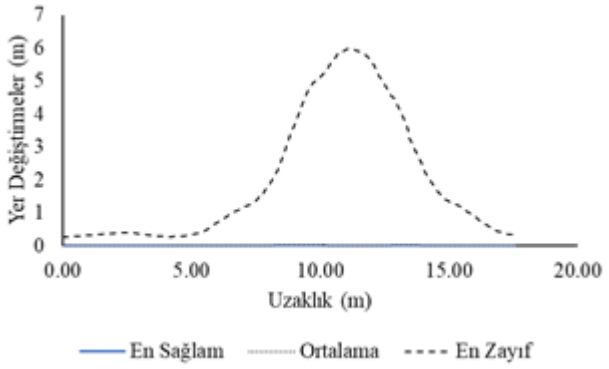
Çalışma alanı için seçilen tahkimat sistemlerini kaya bulonları olarak split setler,

püskürtme beton ve çelik hasır oluşturmaktadır. Uygulanan tahkimat elemanları Bienawski tarafından önerilen tahkimat sistemlerine göre seçilmiştir.

En sağlam durumda kaya bulonları 3 m uzunluğunda, 2.5 m aralıklarla; püskürtme beton 50 mm kalınlığında; çelik hasır 15x15 cm göz aralıklarıyla uygulanmıştır. Ortalama durumda kaya bulonları 4 m uzunluğunda, 1.5 m aralıklarla; püskürtme beton 100 mm kalınlığında; çelik hasır 30x30 cm göz aralıklarıyla uygulanmıştır. En zayıf durumda kaya bulonları 4.5 m uzunluğunda, 1 m aralıklarla; püskürtme beton 150 mm kalınlığında; çelik hasır 30x30 cm göz aralıklarıyla uygulanmıştır.

3.1.1 Tahkimat Uygulamasının Etkisi

Analiz edilen her üç durum için de tahkimat uygulamasıyla yer değiştirmelerde yaşanılacak değişimler incelenmiştir. Bu doğrultuda tahkimat uygulanmadığı takdirde oluşacak yer değiştirme sonuçları Şekil 1'de gösterilmektedir. En zayıf durumda tahkimat uygulanmadığı takdirde 6 m'ye yakın total maksimum yer değiştirme görülürken, en sağlam ve ortalama durumda büyük oranda yer değiştirme görülmemektedir.

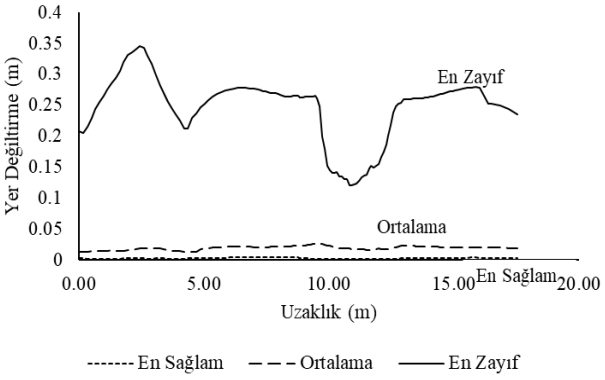


Şekil 1. Tahkimat Uygulamasından Önceki Yer Değiştirmeler

4 SONUÇLAR

En sağlam, ortalama ve en zayıf modellerin tahkimat uygulanmadığı takdirde oluşacak yer değiştirmelere bakıldığında, en sağlam ve ortalama durumun stabil olduğu fakat en zayıf durumda belirlenen ayakta kalma süresince tahkimat uygulanmaması koşulunda çökme yaşanacağı görülmektedir.

Tahkimat uygulamasıyla yer değiştirmelerde yaşanacak değişim Şekil 2'de gösterilmektedir. En zayıf durumdaki toplam yer değiştirmeler tahkimat uygulamasıyla düşük seviyelere çekilmiş ve ortamın stabilitesi açıklığın ilk açılma aşaması için sağlanmıştır.



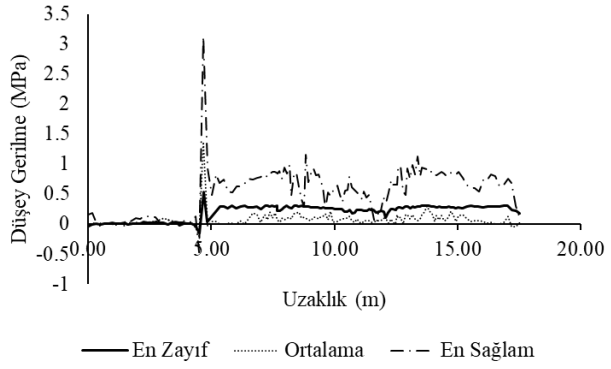
Şekil 2. Tahkimat Uygulamasından Sonra Yer Değiştirmeler

Oluşan yer değiştirmeler ve deformasyonlar en sağlam durumdan en zayıf duruma gidildikçe artmaktadır. Kaya dayanımının en yüksek olduğu durum olan en sağlam modelde, güçlü kaya ortamı deformasyonların önüne geçebilmişken ortalama ve en zayıf durumlarda ortam deformasyonların önüne geçememiştir.

En zayıf durumda oluşan deformasyon ve yer değiştirmeler, en sağlam ve ortalama durumlara göre çok fazla olup ortam stabil bir halde değildir. Yer değiştirme ve deformasyonların çok yüksek olması sonucu, düşey gerilme seviyeleri de en düşük seviyededir. Deformasyonların çok hızlı oluşması ve tavanda ilk aşamalardan itibaren yüksek seviyelerde ve hızlı bir şekilde açığa çıkan yer değiştirmeler, belirlenen açıkta kalma süresince tahkimat uygulanmadığı takdirde ani bir çökme yaşanacağını işaret etmektedir. Üretim devam ettikçe takip eden yönde de düşey gerilmeler tekrar artacağından ve patlatma etkisi ile kaya kütlesi dayanımı daha da azalacağından en zayıf durum için uygulanan tahkimat elemanlarına büyük bir yük aktarılacaktır. Bu durumda üretimin ilerlemesiyle tahkimat elemanlarının arttırılma ve yenilenme ihtiyacı ihtimali bulunmaktadır.

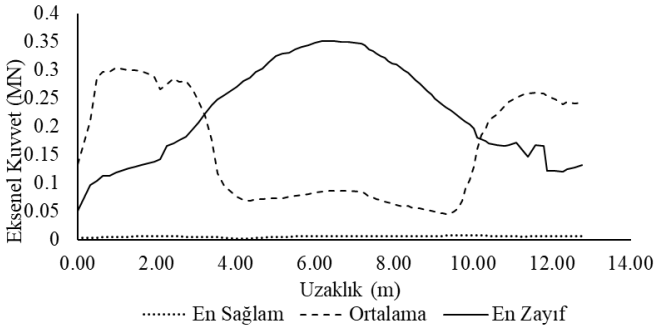
RS2'de modellenen üç durumun düşey gerilmeler açısından analiz sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 3'te gösterilmektedir. En sağlam durum iyi kaya kütlesi sınıfında bulunuyor oluşundan, düşey gerilmeler en yüksek değerlerindedir. Ortalama ve en zayıf durumlarda daha düşük seviyelerdeki kaya

kütlesi bulunması sebebiyle, düşey gerilmeler, yer değiştirmeler cinsinden çalışma alanını etkilemiş ve düşük değerlerde bulunma durumunu meydana getirmiştir.



Şekil 3. Tahkimat Uygulamasından Sonra Düşey Gerilmeler

En sağlam, ortalama ve en zayıf durumlarda uygulanan püskürtme betona etki eden eksenel kuvvetlerin karşılaştırılması Şekil 4'te gösterilmektedir. Zayıf bir kaya kütlesinin bulunduğu en zayıf durumda, kaya kütlesinin etki eden yükü taşıyabilme özelliği görece olarak daha az olduğundan püskürtme betona en çok eksenel yük en zayıf durumda etki etmiştir. Ortalama ve en sağlam durumda püskürtme betona etki eden eksenel yük, en zayıf duruma göre çok daha düşük seviyededir. En sağlam durumda bulunan güçlü kaya kütlesi, açıklığa etki eden yükü taşıyabilir durumdadır, öyle ki püskürtme betona etki eden yük her uzaklıkta neredeyse sıfırdır.



Şekil 4. Püskürtme Betona Etki Eden Eksenel Yüklerin Karşılaştırılması

TEŞEKKÜR

Bitirme çalışmam için benimle kendi çalışmalarını paylaşan Prof. Dr. Mahir Vardar'a teşekkür ediyor, kendisini sonsuz sevgi ve saygıyla anıyorum.

Çalışmamı destekleyen Eti Bakır A.Ş'ye teşekkürlerimi sunuyorum.

KAYNAKLAR

Bieniawski, Z.T., 1989. "Engineering Rock Mass Classifications." (Wiley), New York.

Cai, M., Kaiser, P.K., Tasaka Y. ve Minami, M., 2007. Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 44, p. 247-265.

Demir, D., 2012. "Etibakır Küre İşletmesi Yeni Maden Sahasının Jelojik ve Jeomekanik Yer Altı Modellemesi", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 1-185.

Dereci, N., 2017. "Eti Bakır A.Ş. Bakibaba Yeraltı İşletmesi Tahkimat Tasarımı Çalışması", Eti Bakır Rapor, s. 1-25.

Hoek, E., Brown, E, 2019. The Hoek–Brown failure criterion and GSI – 2018 edition. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol. 11, p. 445-463.

TKİ-GLİ Ömerler Yeraltı Kömür Madeninde Çalışan Kesici-Yükleyicinin Kazı Performansının Tahmin Edilmesi

Estimation of Excavation Performance of the Shearer-Loader used in the TKI-GLI Omerler Underground Coal Mine

S. Bozdoğan, H. Çopur, A. Shaterpour-Mamaghani
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu çalışmanın amacı, TKİ GLİ Ömerler Yeraltı Ocağı'nda bulunan kesici-yükleyicinin kazı performansının İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü'nde yakın zamanda geliştirilmiş olan taşınabilir doğrusal kesme (kazı) deney cihazı ile yapılan deney sonuçları kullanılarak deterministik olarak tahmin edilmesidir. Öncelikle saha ziyaret edilerek, kesici-yükleyicinin kazı/üretim performansı incelenmiş, kaydedilmiş ve arından kömür numuneleri alınmıştır. Kesme deneylerine dayanılarak net kazı hızı, kesici tambur gücü (torku) ve çekme kuvveti değerleri tahmin edilmiştir. Uygulanan tahmin yönteminin doğruluğunu belirlemek için sahada ölçülen değerler ile tahmin edilen değerler karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, tahmin edilen ve sahada gerçekleşen performans değerlerinin oldukça uyumlu / yakın olduğu görülmüştür. Bu çalışmaya farklı kömürler ile devam edilerek, taşınabilir doğrusal kesme deneyleri ile yapılan tahminlerin güvenilirlikleri daha belirgin olarak ortaya konulmalıdır.
Anahtar Kelimeler: Kesici-yükleyici, Taşınabilir doğrusal kesme deneyi, Performans tahmini.

ABSTRACT The aim of this graduation project is to deterministically predict the excavation performance of the shearer-loader used in the TKI GLI Omerler Underground Coal Mine based on the experiments performed by the recently developed portable linear rock cutting device in ITU Mining Engineering Department. Firstly, the site is visited, excavation performance of the shearer-loader is analyzed and recorded, and coal samples are collected from the coal face. Net cutting rate, drum power (torque) and pulling force values are predicted based on the cutting experiments. The predicted and the realized (field) performance are compared to validate the applied prediction method. The results indicate that the predicted and realized performance values are close to each other. This study should be continued with different coals to determine accurately the reliability of the prediction method.
Keywords: Shearer-loader, Portable linear cutting test, Performance prediction.

1 GİRİŞ

Günümüzde kazı makinelerinin kullanımı giderek artmaktadır ve modern uzun ayak kömür madenciliğinin vazgeçilmezi olan kesici-yükleyicilerin ilk yatırım maliyetleri oldukça yüksektir. Bu nedenle, kömür yataklarının mekanizasyona yatkınlığı araştırılmalı, kazı performansını / üretim hızını etkileyen faktörler daha iyi bilinmeli, kömür numuneleri üzerinde kesme deneyleri yapılmalı ve bu doğrultuda uygun kesici-yükleyici seçilmeli ve tasarlanmalıdır.

Bu çalışmada, 24.08.2020 ile 09.10.2020 tarihleri arasında TKİ Tunçbilek Ömerler Yeraltı Kömür Ocağı A-6 panoda çalışan kesici-yükleyicinin kazı performansı yerinde incelenmiş, kazı arınından alınan kömür numunelerinde İTÜ Maden Mühendisliği

Bölümü laboratuvarlarında yakın zamanda geliştirilen taşınabilir doğrusal kesme cihazı ile deneyler yapılarak net kazı hızı, kesici tambur gücü (torku) ve çekme kuvveti değerleri tahmin edilmiş ve sahada kaydedilen performans değerleri ile tahmin yönteminin doğrulaması yapılmıştır.

2 ÖMERLER YERALTI OCAĞI

TKİ Garp Linyitleri İşletmesi Ömerler Yeraltı Ocağı, günümüzde doğrudan devlet eliyle işletilen tek yeraltı linyit madeni olup, Kütahya iline bağlı Tunçbilek beldesinde yer almaktadır. Geri dönümlü, arkadan blok göçertmeli tam mekanize uzun ayak yöntemi ile üretim yapılan ocakta, saha çalışmalarının gerçekleştirildiği tarihlerde A-6 ve A-2 pano olmak üzere toplamda iki panoda üretim yapılmaktadır. Çalışmaya konu olan kesici-yükleyici ise A-6 panoda çalışmakta olup; pano uzunluğu 320 m, ayak uzunluğu ise 91 m'dir. Damar kalınlığı ise tektonizmaya bağlı olarak 5-12 metre arasında değişmekle beraber ortalama 8 metredir ve damar içerisinde marn karakterli, kalınlığı 15-30 cm arasında değişen dört adet ara kesme bulunmaktadır. Kömür damarının 3 metrelik bölümü kesici-yükleyici ile kazılarak, geriye kalan 5 metrelik bölümü ise ayak arkasından göçertilerek üretilmektedir.

A-6 panoda kullanılan L tipi çift tamburlu Eickhoff SL-300 kesici-yükleyici, tek eksenli basınç dayanımı 12-35 MPa arasında olan ara kesmeli linyit kömürünü ve 60-70 MPa civarında olan taban taşını kesebilmektedir. Kesici-yükleyicinin teknik özellikleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Eickhoff SL-300 kesici-yükleyicinin teknik özellikleri

Özellik	Değer
Tip	Çift tamburlu
Kesici motor gücü	2 x 300 kW
Yürüyüş motoru gücü	2 x 80 kW
Hidrolik motoru gücü	2 x 9 kW
Toplam kurulu güç	778 kW
Maksimum yürüyüş hızı	15,3 m/dk
Maks. çekme kuvveti	566 kN
Toplam ağırlık	560 kN
Tambur çapı	2 m
Tambur genişliği	0,8 m
Tambur dönüş hızı	0-27 devir/dk
Sarım sayısı	2 sarım/tambur
Keski tipi	Konik keski
Keski erişimi	6 cm
Keskiler arası mesafe	22 mm
Spiral keski sayısı	36 keski/tambur
Arın plakasında köşe kesme yapan keski sayısı	24 keski/tambur
Arın plakasındaki arına dik keski sayısı	8 keski/tambur
Kesme hattındaki keski sayısı	1 keski/hat

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tam boyutlu doğrusal kazı deney setinin çalışma prensibi esas alınarak tasarlanan taşınabilir doğrusal kesme deney seti, İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü bünyesinde tasarlanmış ve yurt içinde imal ettirilmiştir (Balci ve diğ., 2021). Taşınabilir doğrusal kesme / kazı cihazı ile tam boyutlu doğrusal kazı deneylerine kıyasla, daha küçük boyutlu numuneler üzerinde, daha az iş gücü ile daha düşük maliyetle deneyler yapılabilmektedir.

A-6 panoda çalışan kesici-yükleyicinin kazı performansını tahmin etmek için, kazı arınından alınan ve yaklaşık 15x15x10 cm^3 boyutlarında olacak şekilde ebatlandırılan 4 adet kömür bloğu üzerinde keskiler arası mesafe sabit tutularak (s_L = 20 mm), farklı kesme derinliklerinde (d_r = 5, 8, 12 mm), bir konik keski kullanılarak tek spiralli düzende etkileşimli olarak kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler, Balci ve diğ. (2021)'de belirtilen prosedürlere göre yapılmıştır. Deneyler esnasında, kömür numunelerinin dayanım özelliklerinin farklı olduğu anlaşılmış, numuneler "sert kömür" ve "yumuşak kömür" olarak sınıflanmıştır. Yapılan nokta yük dayanım deneyleri ile sert kömürün dayanımının 5-10 MPa arasında değiştiği ve yumuşak kömürün ise 5 MPa'ın altında olduğu görülmüştür.

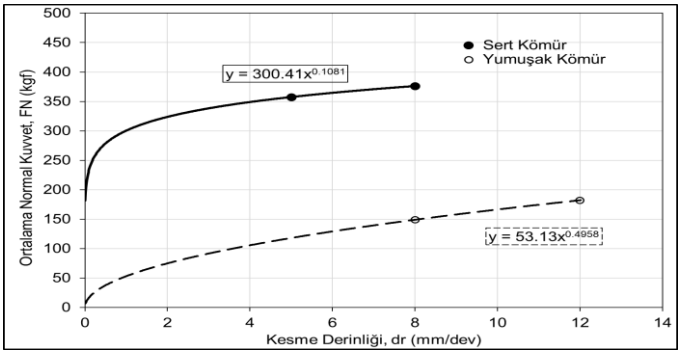
Kesme deneyleri sonucunda her iki numune için optimum keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ($\leq$ 1,7) olarak; optimum spesifik enerji sert kömür numunesi için ($\leq$ 7,0 kWh/m^3), yumuşak kömür numunesi için ise ($\leq$ 2,0 kWh/m^3) olarak bulunmuştur. Deneylerde sınırlı

sayıda kömür bloğu kullanıldığından, optimum kesme koşulları teorik eğilimler göz önüne alınarak ve yaklaşık olarak belirlenmiştir. Kesme deneylerinin sonuçları Çizelge 2'de, keskilere etki eden kuvvetler ile kesme derinliği arasındaki ilişkiler Şekil 1 ve Şekil 2'de, keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişkiyi gösteren grafik ise Şekil 3'te sunulmuştur.

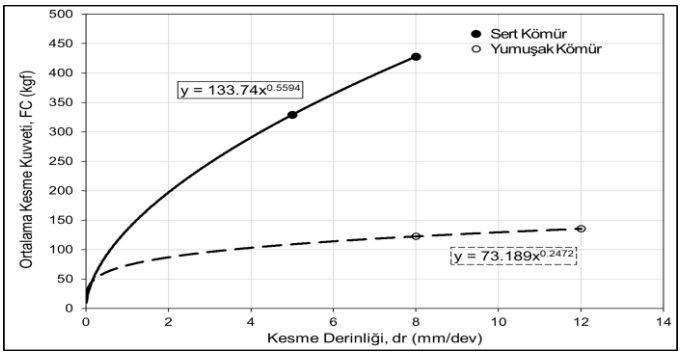
Çizelge 2. Taşınabilir doğrusal kesme deneylerinin sonuçları

Numune	s_L (mm)	d_r (mm/rev)	s_L/d_r	FN (kgf)	F'N (kgf)	FC (kgf)	F'C (kgf)	SE (kWh/m^3)	CI
Sert Kömür	20	5	4,0	358	645	329	675	6,94	625
	20	8	2,5	376	689	428	1015	6,69	626
Yumuşak Kömür	20	8	2,5	149	316	122	452	2,17	569
	20	12	1,7	182	355	135	392	1,87	626

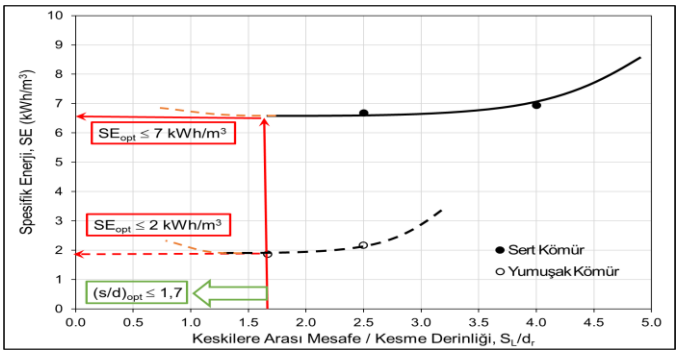
s_L keskiler arası mesafe, d_r kesme derinliği, *FN* ortalama normal kuvvet, *F'N* maksimum normal kuvvet, *FC* ortalama kesme kuvveti, *F'C* maksimum kesme kuvveti, *SE* spesifik enerji, *CI* pasa irilik katsayısı



Şekil 1. Ortalama normal kuvvet ile kesme derinliği ilişkisi



Şekil 2. Ortalama kesme kuvveti ile kesme derinliği ilişkisi



Şekil 3. Keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki

4 PERFORMANS TAHMİNİ

Keskiye etkiyen kuvvetlerin belirlenmesinin ardından, saha verilerine dayanarak, kazı arınının %70 yumuşak kömür ve %30 sert kömür içerdiği varsayılmış, kesici-yükleyicilerin performans tahmini konusunda literatürdeki örnekler incelenmiş ve kinematiğin temel kuralları ile Eickhoff SL-300 kesici-yükleyicinin teknik özellikleri kullanılarak, detayları Bilgin ve diğ. (2014, 2019)'da anlatılan deterministik performans tahmin yöntemi uygulanmıştır. Tahmin edilen performans değerleri Çizelge 3'te özetlenmiştir.

Çizelge 3. Performans tahmini

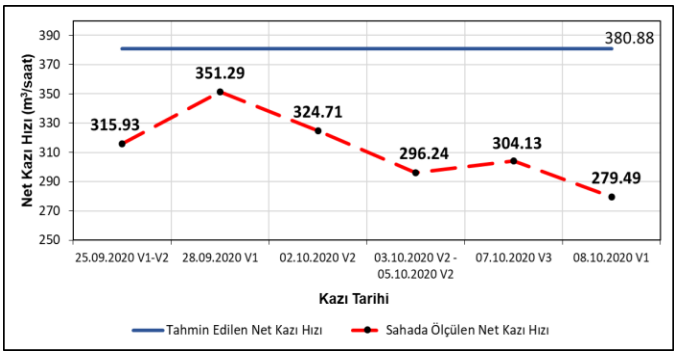
Net kazı hızı	381 m^3/saat
Günlük ilerleme	4,8 m/gün
Aylık ilerleme	137 m/ay
Makine kullanım oranı	%15,6
A-6 tamamlanma süresi	70 gün
Net güç tüketimi	255 kW
Tork gereksinimi	90 kNm
Çekme kuvveti ihtiyacı	240 kN
Günlük üretim miktarı	5242 ton/gün
Yıllık üretim miktarı	1502592 ton/yıl

5 DOĞRULAMA / VALİDASYON

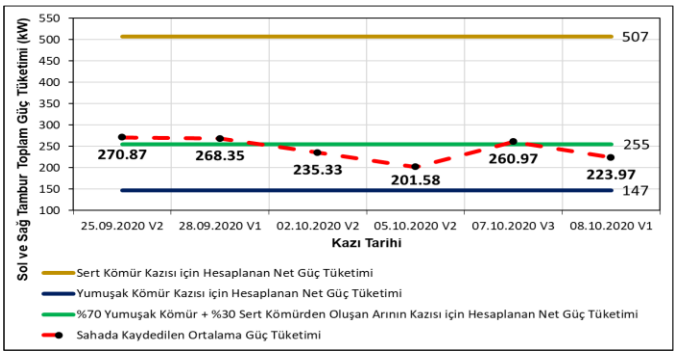
Sahada ölçülen ortalama net kazı hızı 312 m^3/saat olmakla beraber, tahmin edilen net kazı hızı (381 m^3/saat) ile arasındaki farkın görülebileceği grafik Şekil 4'te sunulmuştur.

Sahada kaydedilen, tamburların ortalama güç tüketimi 247 kW olmakla beraber, tahmin edilen net güç tüketimi (255 kW) ile aralarındaki farkın görülebileceği grafik Şekil 5'te sunulmuştur. Tork ile güç doğrusal olarak ilişkili olduğundan, tambur torku için de benzer sonuç elde edilmiştir.

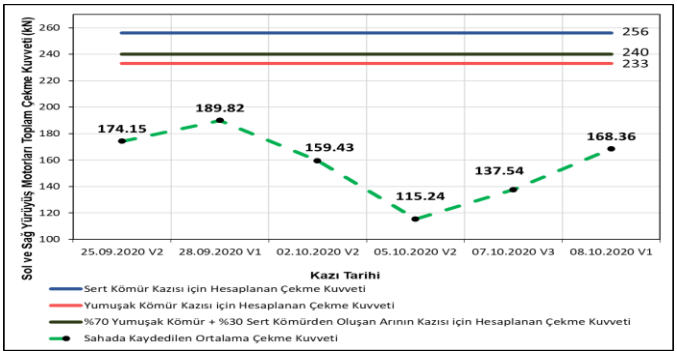
Sahada kaydedilen kazı esnasında yürüyüş motorlarının uyguladığı ortalama çekme kuvveti 163 kN olup, tahmin edilen çekme kuvveti (240 kN) ile arasındaki farkın görülebileceği grafik ise Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 4. Tahmin edilen ile sahada ölçülen net kazı hızlarının karşılaştırılması



Şekil 5. Tahmin edilen ile sahada kaydedilen güç tüketimlerinin karşılaştırılması



Şekil 6. Tahmin edilen ile sahada kaydedilen çekme kuvvetinin karşılaştırılması

6 SONUÇLAR

Taşınabilir doğrusal kesme cihazı ile yapılan deneylere dayanılarak deterministik olarak tahmin edilen net kazı hızı ve kesici tambur gücü (ve torku) ile sahada ölçülen değerlerin oldukça uyumlu / yakın olduğu görülmüştür. Tahmin edilen ve sahada ölçülen çekme kuvvetleri arasındaki farkın ise hesaplamada kullanılan sürtünme katsayısının, yeni tür kesici-yükleyicilerde oluşan sürtünme katsayısı değerinden daha büyük olması nedeniyle olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışma ile taşınabilir doğrusal kesme deney cihazı kullanılarak kesici-yükleyici kazı makinelerinin performanslarının (üretim miktarlarının) güvenilir bir şekilde tahmin edilebileceği, buna bağlı olarak üretim planlaması yapılabileceği, güç (tork) ve çekme kuvveti gibi tasarım parametrelerinin belirlenebileceği ortaya konulmuştur.

Bu çalışmaya farklı sahalar ve farklı kömürler ile devam edilerek, taşınabilir doğrusal kesme cihazı deneyleri ile yapılan tahminlerin güvenilirlikleri daha belirgin olarak ortaya konulmalıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada desteklerini esirgemeyen TKİ GLİ yöneticileri ile Hazırlık Başmühendisi Ahmet SANCAK ve ekip arkadaşlarına teşekkür etmeyi bir borç biliriz.

KAYNAKLAR

Balci, C., Comakli, R., Copur, H., Tumac, D., 2021. Experimental Studies Using a New Portable Linear Rock Cutting Machine and Verification for Disc Cutters. *Tunneling and Underground Space Technology* 108 (2021, February) 103702

Bilgin, N., Çopur, H., Balcı, C., 2014. *Mechanical excavation in mining and civil industries,* CRC Press, (s. 318-322).

Bilgin, N., Çopur, H., Balcı, C., Tumaç, D., 2019. *Strength, cuttability, and workability of coal,* CRC Press, (s. 211-215).

Tüprag Efemçukuru Yeraltı Madeninde Delme-Patlatma İşlerinin Etüdü

Investigation of Drilling-Blasting Works at Tüprag Efemçukuru Underground Mine

İ. Toprak, T. Hüdaverdi, Ö. Akyıldız

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

ÖZET Bu bitirme projesinde, Tüprag Efemçukuru Altın Madeni'nde bulunan yeraltı maden işletmesinin üretim yöntemi ve delme-patlatma işlemleri, kullanılan delici makinelerin ve patlayıcıların teknik özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. İşletme hakkında genel bilgiler verilmiş, çalışma alanı tanıtılmış ve jeolojik yapı özellikleri ele alınmıştır. Cevherin yapısı, rezerv durumu ve maden üretim yönteminden bahsedilmiştir. İşletmede kullanılan delici makineler, katlar arası deliklerin delinmesi için kullanılan ekipmanlar, bu makinelerin kullandığı delici uçlar ve işletmede uygulanan delme patenleri hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Delici makinelerin delme sürelerinin kronometre ile nasıl takip edildiği açıklanmış olup cevher ve pasa aynalarında gerçekleştirilmiş kronometraj işlemlerine örnekler verilmiştir. İşletmede kullanılan patlayıcılar ve ateşleme sistemleri hakkında detaylı bilgiler verilmiş olup, patlayıcıların teknik özellikleri incelenmiştir. Uygulanan patlatma dizaynları ele alınmış, işletmede gerçekleştirilen galeri atımları örnekler üzerinden ayrıntılı açıklanmıştır. Özgül şarj hesaplamaları yapılmıştır. İşletmede patlatma kaynaklı çevresel etkilerin ölçülmesi için yapılan bir ölçüm kaydı yorumlanmıştır.
Anahtar Kelimeler: Delme, Patlatma, Patlatma Dizaynı.

ABSTRACT In this graduation project, the production method and drilling-blasting processes of the underground mining operation in the Tüprag Efemçukuru Gold Mine, the technical characteristics of the drilling machines and explosives used were examined in detail. General information about the enterprise is given, the study area is introduced and the geological structure features are discussed. The structure of the ore, its reserve status and the mining method are mentioned. Detailed information is given about the drilling machines used in the mining operations, the equipment used for drilling the holes between the levels, the drilling bits used by these machines and the drilling pattern applied in the mining operations. It has been explained how the drilling times of the drilling machines are followed with a chronometer, and examples of the chronometrage processes performed in ore and waste faces are given. Detailed information about the explosives and initiation systems was given, and the technical characteristics of the explosives were examined. The applied blasting designs are discussed, and the underground drift blasts carried out in the operation are explained in detail through examples. Specific charge was calculated. A blast-induced ground vibration record was evaluated and interpreted.
Keywords: Drilling, Blasting, Blast Design.

1 TÜPRAG EFEMÇUKURU ALTIN MADENİ

1.1 İşletme Hakkında Genel Bilgiler

Tarihi dönemlerde Batı Anadolu'da işletilen maden yataklarını araştıran Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), İzmir, Efemçukuru cevherleşmesini keşfetmiş, daha sonra Kanadalı madencilik firması olan Eldorado Gold'un Türkiye uzantısı Tüprag Metal Madencilik San. ve Tic. A.Ş. tarafından 1997 yılında hakları alınan saha, 2011 yılından beri yeraltı madencilik yöntemleri ile işletilmektedir (Karadağ, 2020).

1.2 Çalışma Alanının Yeri

Efemçukuru Altın Madeni Faaliyet Alanı, Ege Bölgesi, İzmir iline yaklaşık 20 km ve Menderes ilçesine 14 km uzaklıkta yer almaktadır. İzmir Adnan Menderes Havaalanı'na yaklaşık 30 km uzaklıktadır. İşletme sahasına en yakın yerleşim alanı Efemçukuru köyüdür ve kuş uçuşu uzaklık 1,5 km'dir (Karadağ, 2020).

Şekil 1: Çalışma alanı yerbulduru haritası (Karadağ, 2020).

1.3 Cevherleşme

Madenin ana cevheri altın; nadiren tek başına bulunurken yanı sıra çoklu fazlarda, pirit ve diğer metallerle birlikte bulunmaktadır. Gang mineralleri ise spilit, kalsit, rodokrozit, sfalerit, galen, sülfit, rodonit ve kuvarstır.

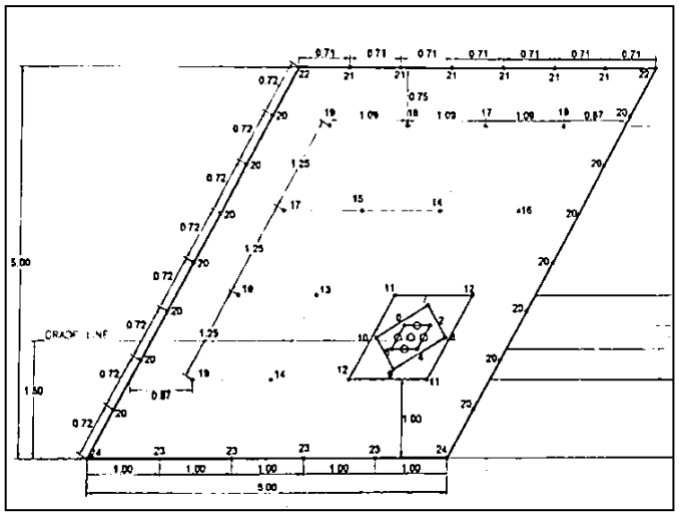
1.4 Rezerv Durumu ve Üretim Yöntemi

Çıkarılacak cevherin gerçekleştirilen güncel rezerv geliştirme çalışmalarına bakılarak toplamda 8,5 milyon ton ve yıllık ortalama üretimin yaklaşık 600 bin ton olması beklenmektedir. Tüprag Efemçukuru Altın Madeni üretim metodu, yeraltı maden işletmeciliği olarak belirlenmiştir, ara katlı kazı sistemiyle çalışılmaktadır. Katlar arası uzun delgi ve kör delgi işlemleri yapılmaktadır. Cevher üretimi için delme ve patlatma işlemleri uygulanmaktadır.

2 DELME İŞLEMLERİ

Ayna delmesi için, cevher aynası ve pasa aynası olmak üzere iki farklı delme işlemi yapılmaktadır.

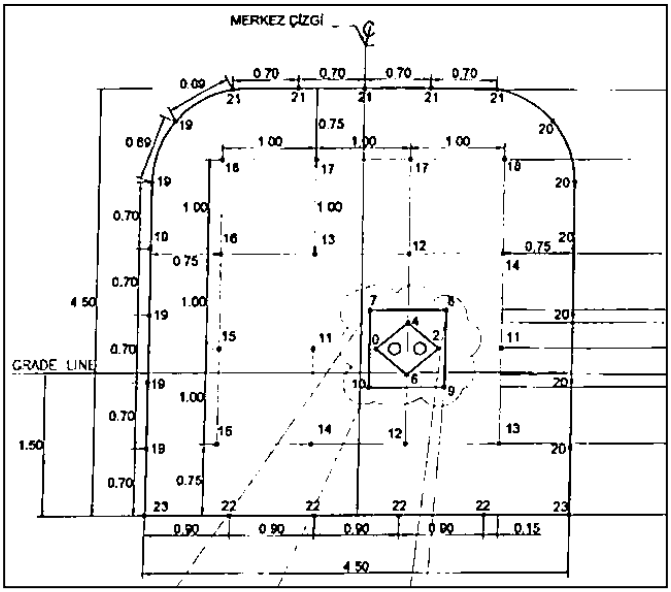
Cevher aynaları 5 m (genişlik) x 5 m (yükseklik) boyutlarında tasarlanmıştır. Sağa veya sola yatık paralelkenar şeklindedir. 52 adet şarj deliği ve serbest yüzey oluşturmak için 5 adet çürütme deliği olmak üzere toplam 52+5 delik delinmektedir. Göbek delikleri yukarı 3°, taban delikleri aşağı 2°, yardımcı delikler ve çevre delikleri ise yukarı 2° açı ile delinmektedir. Delikler 4 m uzunluğundadır. Ayna üretim delikleri 51 mm button bitle delinirken, çürütme delikleri 102 mm reaming (raybalama) biti ile delinmektedir.



Şekil 2: Cevher aynası için delme paterni.

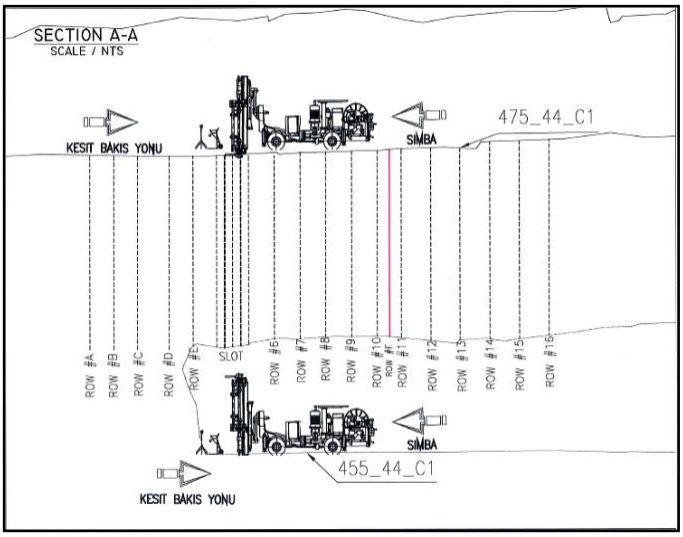
Pasa aynaları 4,5 m (genişlik) x 4,5 m (yükseklik) boyutlarında tasarlanmıştır. Tasarım at nalı şeklindedir. 46 adet şarj deliği ve 2 adet çürütme deliği olmak üzere toplam 46+2 delik delinmektedir. Göbek delikleri yukarı 3°, taban delikleri aşağı 2°, yardımcı delikler ve çevre delikleri ise yukarı 2° açı ile delinmektedir. Delikler 4 m

uzunluğundadır. Şarj delikleri 48 mm button bitle delinirken, çürütme delikleri 127 mm reaming (raybalama) bit ile delinmektedir.



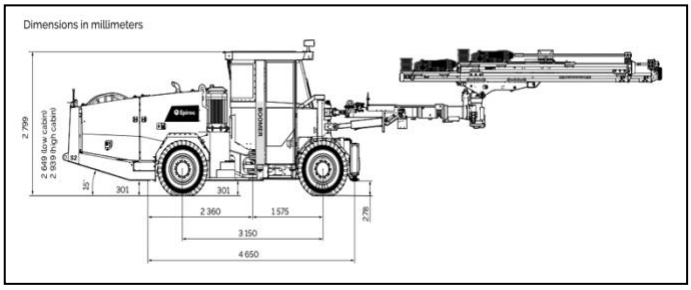
Şekil 3: Pasa aynası için delme paterni.

Katlar arası delme işlemleri için Simba operatörüne teknik ofis çalışanları tarafından hazırlanmış delme paterni verilmektedir. Delikler bu paterne uygun olarak delinmektedir. Üretim delikleri 76 mm button bitle, çürütme delikleri ise 152 mm bitle delinmektedir. 6 adet çürütme deliği bulunmaktadır. Delik uzunlukları 9-10 m arasında değişmektedir.

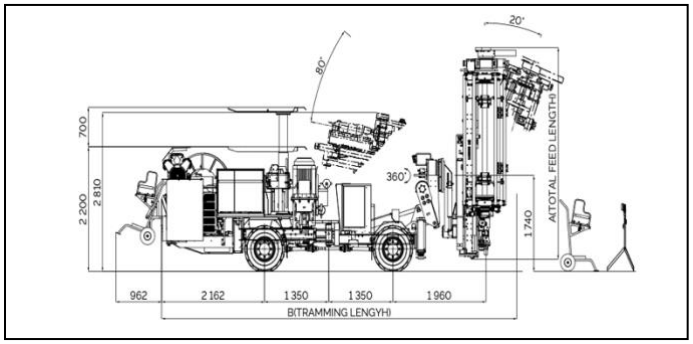


Şekil 4: Katlar arası uzun deliklerle delme işlemi kesit görünümü.

Ayna delme işlemleri için Epiroc Boomer S2 Jumbo delici makinesi ve katlar arası delme işlemi için Epiroc Simba 1254 delici makinesi kullanılmaktadır.



Şekil 5: Epiroc Boomer S2 (Katalog).



Şekil 6: Epiroc Simba 1254 (Katalog).

2.1 Kronometraj Ölçüm Sonuçları

Yeraltı madenlerinde, delici makinelerin delme işlemi sırasında, delik delme ve manevra sürelerini hesaplamak için kronometraj işlemi uygulanmaktadır (RDBE, n.d.).

Tablo 1: Cevher aynası kronometraj ölçümü.

DELİK NO	DELME SÜRESİ (sn)	MANEVRA SÜRESİ (sn)
1	123	8
2	106	9
3	99	16
4	114	14
5	122	12
6	132	11
7	110	12
8	112	15
9	103	8
10	96	-

Yapılan cevher aynası kronometraj işlemi sonucu, bir üretim deliğinin delinme süresi ortalama 111,7 saniye ve manevra süresi ortalama 11,86 saniye olarak ölçülmüştür. Bir üretim deliğinin boyu 4 metredir ve 111,7 saniyede delinmektedir. Bu ölçüm için net delme hızı 2,15 metre/dakika olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2: Pasa aynası kronometraj ölçümü.

DELİK NO	DELME SÜRESİ (sn)	MANEVRA SÜRESİ (sn)
1	165	22
2	139	9
3	112	11
4	142	27
5	102	36
6	190	21
7	111	27
8 (genişletme)	930 sn	33
9 (genişletme)	911 sn	37
10	168	17
11	136	21
12	141	24

Yapılan pasa aynası kronometraj işlemi sonucu, bir üretim deliğinin delinme süresi ortalama 140,6 saniye, genişletilmiş delikler için ortalama 920,5 saniye ve manevra süresi ortalama 23,75 saniye olarak ölçülmüştür. Bir üretim deliğinin boyu 4 metredir ve 140,6 saniyede delinmektedir. Bu ölçüm için net delme hızı, üretim delikleri için 1,71 metre/dakika ve genişletme delikleri için 0,26 metre/dakika olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3: Katlar arası kronometraj ölçümü.

DELİK NO	DELME SÜRESİ (sn)	MANEVRA SÜRESİ (sn)
1	639	230
2	597	242
3	720	291
4	688	264
5	759	275
6	790	264
7	700	249
8	675	252
9	716	225

Yapılan kronometraj işlemi sonucu, bir deliğin delinme süresi ortalama 698,22 saniye, ortalama manevra süresi ise 254,66 saniye ölçülmüştür. Manevra süresi eklendiğinde bir deliğin ortalama 15,88 dakikada delindiği görülmektedir. Katlar arası delmede kullanılan tij uzunluğu 1800 mm ve her bir delik için 9 adet tij kullanıldığına göre; bir deliğin uzunluğu 16,2 m olarak hesaplanmıştır. Bu durumda bu aynada yapılan delme işlemine ait net delme hızı, 1,02 metre/dakika olarak hesaplanmıştır.

3 PATLATMA İŞLEMLERİ

İşletmede kullanılan patlayıcılar; Nitromak ANFONIT, bulk emülsiyon, Nitromak Powermite (27 mm, 32 mm ve 50 mm) kapsüle duyarlı emülsiyon patlayıcılardır. Ateşleme sistemleri için ise; Nonel kapsül (DynoNobel Nonel LP), elektronik starter kapsül (DynoNobel DriftShot Starter) ve infilaklı fitil (NitroMak İnfilaklı Fitil) kullanılmaktadır. İşletmede ateşleme için BlastWeb elektronik ateşleme sistemi kullanılmaktadır.

3.1 Cevher Aynası Patlatma İşlemleri

5m x 5m sola ve sağa yatık paralelkenar cevher aynaları için hazırlanan patlatma dizaynında delikler patlama sırasına göre numaralandırılmıştır. Her iki ayna tipinde de bağlantı için 20 metre 5 gr/m'lik infilaklı fitil ve 1 adet elektronik kapsül kullanılmaktadır. Her delikte yemleme için 32 mm paket emülsiyon patlayıcı kullanımı tercih edilmektedir. Şarj işlemi için toplam 265 kg bulk emülsiyon kullanılmaktadır. Özgül şarj, parçalanan m3 kayaç başına kullanılan patlayıcı miktarıdır.

İşletmedeki bir cevher aynası için özgül şarj hesabı yapılırsa;
Özgül Şarj = Patlayıcı Miktarı (kg) / Kırılan Hacim (m3) = 265 kg / (5m x 5m) x 4m (ilerleme) = 2,65 kg/m3 olarak bulunur.

3.2 Pasa Aynası Patlatma İşlemleri

4.5m x 4.5m pasa aynası için hazırlanan patlatma dizaynında delikler patlama sırasına göre numaralandırılmıştır. Bağlantı için 20 metre 5 gr/m'lik infilaklı fitil ve 1 adet elektronik kapsül kullanılmaktadır. Tüm deliklerde yemleme için 32 mm paket emülsiyon patlayıcı kullanılmaktadır. Şarj işlemi için toplamda 200 kg bulk emülsiyon kullanılmaktadır.

İşletmedeki bir pasa aynası için özgül şarj hesabı yapılırsa;
Özgül Şarj = Patlayıcı Miktarı (kg) / Kırılan Hacim (m^3) = 200 kg / (4,5m x 4,5m) x 4m(ilerleme) = 2,47 kg/m^3 olarak bulunur.

3.3 Katlar arası Patlatma İşlemleri

Bu çalışma kapsamında 25 adet patlatma delikli bir şarj planı incelenmiştir. Tüm

delikler alttan 50 cm, üstten 100 cm sıkılanmaktadır. Deliklerin şarjında toplamda 875 kg bulk emülsiyon kullanılmaktadır. Her bir delik için 35 kg bulk emülsiyon ve 2 adet 50 mm paket emülsiyon kullanılmaktadır, toplamda 50 adet paket emülsiyon kullanılmaktadır.

4 PATLATMA KAYNAKLI ÇEVRESEL ETKİLER

Yeraltı işletmelerindeki patlatma işlerinde önemli faktörlerden biri titreşimdir. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi Yönetmeliği göz önüne alındığında; zemin titreşim seviyesi Tablo 4'te verilen sınır değerleri aşmamalıdır.

Tablo 4: Titreşim sınır değerleri. (T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi).

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

Tüprag Efemçukuru Altın Madeni'nde patlatma kaynaklı çevresel etkilerin ölçülmesi için Instantel Minimate Plus cihazı kullanılmaktadır. İşletmede 18.01.2017 tarihinde titreşim ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Yapılan ölçüm sonucunda maksimum titreşim değeri 7,957 mm/sn olarak ölçülmüştür. Hava şoku 0,5 Pascal olarak ölçülmüştür. Bu değerin desibel biriminde karşılığı 87,95 dB'dir. Ölçüm sonuçlarının sınır değerlerin altında olduğu görülmektedir.

5 SONUÇLAR

Bu bildiride Tüprag Efemçukuru yeraltı işletmesinin delme ve patlatma faaliyetleri incelenmiştir. Birinci bölümde çalışma alanının konumu, madenin kısa bir tarihi, cevherleşme, maden üretim yöntemi ve rezerv durumu anlatılmıştır.

İkinci bölümde delme faaliyetleri incelenmiştir. Cevher, pasa aynası ve ara kat delme paternleri ve yapılan kronometraj ölçümleri paylaşılmıştır. Ölçüm sonuçları ele alınarak net delme hızı hesaplamaları yapılmıştır.

Üçüncü bölümde patlatma faaliyetleri incelenmiştir. Işletmede kullanılan patlayıcılar tespit edilmiştir. Cevher, pasa aynası ve ara kat patlatmaları hakkında bilgiler verilmiştir. Özgül şarj hesaplamaları yapılmıştır.

Son olarak dördüncü bölümde patlatma kaynaklı çevresel etkiler ele alınmıştır. İşletmede yapılmış titreşim kaynaklı ölçüm sonuçları verilmiştir. Ölçüm sonuçlarının sınır değerlerin altında olduğu gözlemlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Üniversite öğrenimim süresince yanımda olan ve üzerimden desteğini esirgemeyen herkese sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

Karadağ, B., 2020. "Efemçukuru Altın Cevherleşmesinin Mineralojik Özellikleri, Epitermal Çözeltilerin Fizyokimyası ve İlişkili Yapısal Kontrol", *Yüksek Lisans Tezi,* Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği, İzmir, s. 1-32.

Epiroc Boomer S2 Ürün Kataloğu. (n.d.). Epiroc. Erişildi: 8 Aralık 2020, Adres: https://www.epiroc.com/tr-tr/products/drill-rigs/face-drill-rigs/boomers2

Epiroc Simba 1254 Ürün Kataloğu. (n.d.). Epiroc. Erişildi: 9 Aralık 2020, Adres: https://www.epiroc.com/tr-tr/products/drill-rigs/production-drill-rigs/simba-1254

RDBE Yönetim İş Etüdü PDF. (n.d.). Erişildi: 13 Aralık 2020, Adres: http://rdbe.com.tr/e-yonetisim/yonetisim/is_etudu.pdf

T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği. (2010). Erişildi: 19 Aralık 2020, Adres: https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=14012&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5

Koza Altın İşletmeleri Çukuralan Altın Madeni Tahkimat Sistemi İncelemesi

Koza Gold Company Çukuralan Gold Mine Support System Investigation

H. Bolat, H. Tunçdemir
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu bitirme çalışmasının amacı; yer altı madenlerinde uygulanan tahkimat sistemlerinin, Koza Altın İşletmeleri Çukuralan Altın Madeni'nde üretim çalışmaları sırasında takip edilen döngünün ve uygulanan mevcut tahkimat sisteminin ayrıntılı olarak incelenmesidir. Çalışmada önce Koza Altın İşletmeleri Çukuralan Altın Madeni genel olarak tanıtılmış, bölgenin jeolojik yapısı ve ocak hakkında bilgiler verilmiştir. Madende Güneybatı-1 portalı tahkimat sistemi incelenmiş, uygulanan tahkimat yöntemleri gözlemlenmiş, üretimle ilgili plana ve hedefe bağlı kalarak tahkimat işlerinin en verimli süre ve en ekonomik şekilde nasıl ilerleyebileceği üzerinde çalışılmıştır. Yer altında tahkimat için uygun bulunan yöntemlere bağlı olarak ve güvenli bir şekilde günlük cevher hedefine, planlanan süreç içerisinde ulaşılmak istenmektedir. Tahkimat ve kaya mekaniği için kullanılan Phase ve Dips programları vasıtasıyla elde edilen ocak planı sanal ortamda oluşturulmuştur. Günlük, aylık ve yıllık hedeflere göre belirlenmiş olan tahkimat yöntemi incelemesi yapılmıştır. Tahkimat sistemi için kullanılan yöntemler tanıtılmış, tahkimat süresi hesaplanmış ve iş-zaman etüdü kayıt edilmiştir. Çalışmada yer alan veriler 10.08.2020-04.09.2020 tarihleri arasında edinilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Kaya Mekaniği, Tahkimat, Çukuralan.

ABSTRACT The aim of this graduation project is; it is a detailed examination of the fortification systems applied in underground mines, the cycle followed during production work at the Koza Gold Operation Çukuralan Gold Mine and the existing ground support system applied. In the study, Koza Gold Operation Çukuralan Gold Mine was generally introduced and information about the geological structure of the region and the quarries were given. The underground pit plan obtained through Phase and Dips programs used for support and rock mechanics was created in a virtual environment. A review of the ground support method determined according to daily, monthly and annual targets has been carried out. The methods used for the ground support system were introduced, the duration of the support was calculated and the work-time trial was recorded. The data in the study were obtained between 10.08.2020-04.09.2020.
Keywords: Support, Geological Structure, Çukuralan.

1 GİRİŞ

Bu çalışma Koza Altın İşletmeleri bünyesinde, İzmir ilinin kuzeyinde Ayvalık ve Dikili ilçeleri arasında kalan Çukuralan bölgesinde yer alan Çukuralan Altın Madeni'nde, 10.08.2020 ve 04.09.2020 tarihleri arasında yapılmıştır. Çalışmanın amacı; yer altı madenlerinde uygulanan tahkimat sistemlerinin, üretim çalışmaları sırasında takip edilen döngünün ve uygulanan mevcut tahkimat sisteminin ayrıntılı olarak incelenmesidir.

Yer altı üretimi kes-doldur yöntemi ile yapılmaktadır. Tahkimat, püskürtme beton ve kaya saplaması ile sağlanmaktadır. Ocak planı tahkimat ve kaya mekaniği için kullanılan Phase ve Dips programları vasıtasıyla elde edilmiştir.

Çalışmada dünyada ve Türkiye'de altın madenciliği, Koza Altın İşletmeleri Çukuralan Altın Madeni ile ilgili genel bilgiler, işletmede uygulanan tahkimat yöntemleri, iş-zaman etüdü ve numerik analiz konu alınmıştır.

2 ÇUKURALAN ALTIN MADENİ İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

2.1 Coğrafi Konum ve Arama Faaliyetleri

Çukuralan Altın Madeni, İzmir ilinin kuzeyinde Ayvalık ve Dikili ilçeleri arasında kalan Çukuralan bölgesinde yer almaktadır. Koza Altın İşletmeleri altın üretiminin en büyük bölümünü Çukuralan İşletmesi'nde barındırır. Yer altında yapılan arama faaliyetleri RC adı verilen aynaya dik, üretim galerisinin yan duvarlarından ve jeoloji bölümünün belirlemiş olduğu noktalardan sondajlar yapılır. Alınan numuneler numaralandırılmış çuvallara örnek alınarak analize gönderilir. Sondaj yapılan alanlar üretime elverişli ise jeoloji bölümünün belirlediği yönde üretim yapılmaktadır.

2.2 Jeolojik Yapı

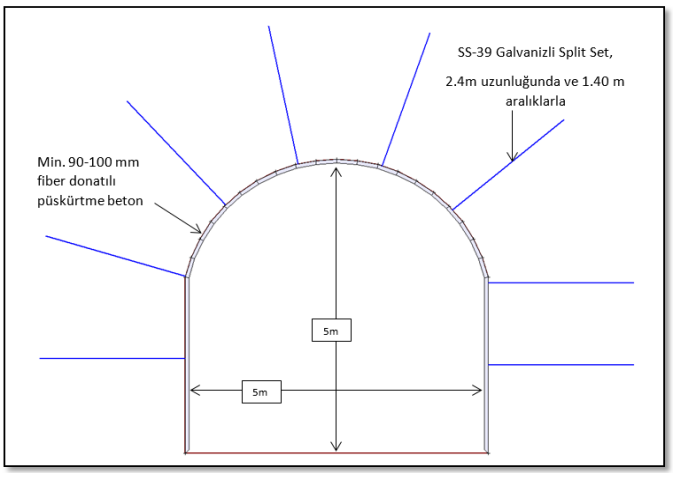
Potidler, Anatolidler, Torosalr ve Kenar Kıvrımları bölgesi olmak üzere dört farklı tektonik birliğe ayrılmış olan Anadolu Levhası'nda Batı Anadolu bölgesi bu tektonik birlikler dışında kuzeyden güneye doğru Sakarya Kıtası; Çukuralan Altın Madeni'ni de içine alan İzmir-Ankara Zonu; Karaburun Kuşağı; Menderes Masifi; Likya Napları ve Beydağları Otoktonu olmak üzere farklı tektonik zonlara ayrılmıştır. Çukuralan ve çevresindeki cevherleşmenin kökenini oluşturan bu magmatic etkinlik Batı Anadolu'da açılma tektoniğinin başlamasıyla ilişkili olarak gelişmiştir.

3 ÇUKURALAN ALTIN MADENİ TAHKİMAT UYGULAMASI

Tahkimat uygulamaları olarak kaya saplaması, çelik hasır ve beton püskütme kullanılmaktadır. İşletmede kaya saplaması çelik split setlerle yapılmakta ve tahkimat sırasıyla; beton püskürtme, çelik hasır ve çelik split set şeklindedir. İşletmede su gelirinin yüksek olduğu yerlerde korozyonu önlemek amacıyla galvanizli kaya saplaması uygulanmaktadır.

3.1 Kaya Saplaması Uygulaması

Çelik hasırlarının sabitlenmesi amacıyla kullanılan uzun split setlerin boyu 2.4 metre, kısa split setlerin boyu 1.2 metredir. Ayna yüzeyinin kaya saplamasında kısa split setler tercih edilir sebebi ise kısa split setlerin aynada yeterli bulunmasıdır. İşletmenin standartlarına göre, kullanılan split setlerin çakılma aralıkları 1.4 metredir. Split setlerin çapları 39 bit, split setler çakılması için delikleri açan manşon ise 35 bit'tir. Split set kırılma kapasitesi ortalama 12.7 ton iken, bu değer minimum 9.1 ton'dur.



Şekil 1. İşletme Tahkimat Planı

3.2 Beton Püskürtme Uygulaması

Beton püskürtme uygulanmaya başlamadan önce, ayna, yan yüzeyler ve tavan için tarama işlemi yapılmaktadır. Tahkimatsız alana yaklaşılmamalıdır. Tarama işlemi bittiğinde kepçe, kamyon ile malzeme taşınır ve tahkimat yapılacak alan, beton püskürtmeye hazır haldedir. Çizelge 1'de beton karot değerlerinin dayanım test sonuçları verilmiştir.

Çizelge 1. Basınç Dayanım Testi Sonucu Karot Değerleri

ÖN	K	B	Z
1	51	26	377,42
2	48,2	24,5	363,04
3	50,4	25,2	371,34
4	754,6	42,7	74,49
5	776,4	43,9	75,73
6	320,8	18,2	299,36

ÖN: Örnek no, K: Kuvvet (kN), B: Basınç (MPa), Z: Zaman (s)

4 İŞ-ZAMAN ETÜDÜ

İşletmede bulunulan tarihler arasında yapılan işl zaman etüdleri sonucu, yapılan işler listelenmiş ve ortalama kaplasıkları süreler Çizelge 2'de listelenmiştir.

Çizelge 2. İş-Zaman Etüdü

İN	Yİ	S
1	Püskürtme Beton Makinası Geliş Süresi ve Ayna Yıkanması	15 dk
2	Püskürtme Beton Uygulama	20 dk 47 s
3	Saplama-Delici Makinası Bekleme	16 dk
4	Tavan ve Yan Yüzeylerde Delik Delme	26 dk
5	Açılan Deliklere Çelik Saplama Yerleştirilmesi	24 dk 54 s
6	Çelik Hasır Bağlanması	15 dk 56 sn
7	İşaretleme-Ayna Çizimi	8 dk 22 sn
8	Ayna Yüzeyinde Delik Delme	51 dk
9	Sıkılama	22 dk 37 sn

İN: İş no, Yİ: Yapılan İş, S: Süre (dk)

5 SONUÇLAR

Bitirme çalışması ile Koza Altın İşletmeleri Çukuralan Altın Madeni yer altı ocağının 2020 yılına kadar olan tahkimat uygulamaları incelenmiş ve gelecekte de uygulanmaya devam edilmesi planlanan tahkimat sistemleri planlaması yapılmıştır. Programa veri olarak öncelikle işletme tarafından hazırlanan üretim planı girilmiş ve plana göre günlük, aylık ve yıllık süreç için ayrı ayrı tahkimat planları oluşturulmuştur.

TEŞEKKÜR

Bitirme çalışmamın ortaya çıkarılması sırasında desteklerini esirgemeyen danışmanım Doç.Dr. Hakan TUNÇDEMİR'e ve lisans hayatım boyunca bilgi ve deneyimlerini paylaşan tüm bölüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım. Bu günlere gelebilmem için hiçbir şeyi esirgemeyen aileme varlıkları ve kattıkları değer için teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Akbay, D., Altındağ, R., 2014. Antalya-Kemer-Tekirova Güzergahında Açılan Altan Ayağ Tüneli (T3 Tüneli) Kaya Saplaması Uygulaması Delik Delme Performans Analizi, *Tünelcilik ve Yeraltı Teknolojileri Dergisi*, *7*, 62.

AMD, Madencilik Sektörü ve Altın Madenciliği Raporu, 2017.

AME report, 2002, Western World Gold-Producing Countries <http://ame.com.au/guest/au/cost.htm> (2003, November.)

Arıoğlu, E., Yüksel, A., Yılmaz, A.O., 2008, Püskürtme beton bilgi föyleri-Çözümlü problemler, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İstanbul, s. 296.

Avcı, D. (2008). *Political economy of the environment in Turkey: gold mining conflict in Ida Mountain*, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, (40 s.).

Aksoy, C., Kömürlü, E., (2017). *Temel madencilik bilgileri* (s. 89), H.E. Yaman (Ed.). Ankara: Mayeb.

Başaran, C. (2006). İda'nın (Kazdağı) Altınları [Gold of Ida]. Kazdağları II. Ulusal Sempozyumu, (249-266 s).

Engineering and Mining Journal. (2008, Vol. 209, No. 2). Mining in Turkey: Digging for the Future. *Energy and Mining Journal*, 209, 2, 62-73.

Jackson, R., Gorski, B., Gyenge, M., 1995. Geotechnical Properties of Rock: A Data Base of Physical Properties of Canadian Rock Including Both Intact and Residual Strengths, ISBN: 660159252, s.15-91.

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

Kömürlü, E., Kesimal, A., 2012a, New engineering materials for underground constructions, 16. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi (IMMC 2012) bildiriler kitabı, s. 307- 319, İstanbul, Türkiye.

Kömürlü, E., Kesimal, A., 2015. Improved Performance of Rock Bolts using Sprayed Polyurea Coating. Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol. 48, s. 2179-2182

Lama, R.D., Vutukiri, V.S., 1978. Handbook on Mechanical Properties of Rocks: Testing Techniques and Results, Volume 2.

Menase, M. (2009). *Altın Piyasası ve Türkiye'de Altın Fiyatlarını Etkileyen Faktörlerin Analizi,* Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Bankacılık ve Sigortacılık Enstitüsü, İstanbul, (20 s.).

Mielenz, R.C., 1984. History of chemical admixtures of concrete, Concrete International, 6: 40-53.

Özdoğan, E. (2008). *Altın ve Altın Fonları,* Yüksek Lisans Tezi, Kadir Has Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, (31-32 s.).

Pratt, H.R., Black, A.D., Brown, W.S., Brace, W.F., 1972. The effect of specimen size on the mechanical properties of unjointed diorite, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences,* Volume. 9, s. 513-529.

Uz, E. (2005). *Gold market in Turkey and Istanbul gold exchange,* Yüksek Lisans Tezi, Yeditepe Üniversitesi, İstanbul, (23-25 s.).

T.T.K Üzülmez T.İ.M Yeraltı Kömür Madenciliğinde Kullanılan Tahkimat Sistemlerinin Etüdü

Investigation into Support Systems Used in T.T.K Üzülmez Asma-Dilaver Underground Coal Mine

B. Kuş, H. Tunçdemir
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu bitirme çalışmasında amaç Türkiye Taşkömürü Kurumu Üzülmez TİM Asma-Dilaver İşletmesinde yeraltı kömür madenciliğinde kullanılan tahkimat sistemlerini her yönden incelemek. Tahkimatın kurulması, ilerletilmesi sırasında gerçekleşen gecikmelerin nedenlerini belirlemek ve bunlara çözüm önerileri sunmaktır. Türkiye Taşkömürü Kurumu genel olarak tanıtılmış, Üzülmez Taşkömürü İşletme Müessesesi'nin bulunduğu bölge hakkında bilgiler verilmiştir. Öncelikle üretimde kullanılan yöntemler ve tahkimat sistemleri çalışmalarının literatür taramaları yapılmıştır daha sonra işletmede ayaklarda kullanılan tahkimat yöntemleri yerinde incelenmiş, gecikmeler, gecikme süreleri listelenmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur.
Anahtar Kelimeler: Taşkömürü, Tahkimat, Üzülmez.

ABSTRACT The aim of this graduation project is to examine the support systems used in underground coal mine in TTK Uzulmez Asma - Dilaver. Turkish Hard Coal Institution was introduced in general, then some information was given about the region where Üzülmez Hard Coal Enterprise is located on. First of all, the literature review of the methods used in production and support systems was studied, then the support methods used in longwall were examined on-site, delays, delay times. At last, some recommendations about solutions were listed.
Keywords: Coal, Support System, Uzulmez .

1 GİRİŞ

Ereğli Kömürleri İşletmesi 1940 yılında Etibank'a bağlı olarak kurulmuştur. 1957 yılında Türkiye Kömür İşletmelerinin kurulması ile buraya devredilmiştir ve 1983 yılında bugün bilinen adıyla Türkiye Taşkömürü Kurumu adını almıştır. Beş ana üretim bölgesinde taşkömürü üretimi yapılmaktadır. Bunlar: Kozlu, Üzülmez, Karadon, Armutçuk ve Amasra müesseseleridir. Kozlu, Üzülmez, Karadon, Armutçuk müesseseleri Zonguldak, Amasra müessesi ise Bartın sınırları içerisindedir. Hesaplanan toplam rezerv 1,3 milyar tondur.

1.1 Coğrafi Konum

Zonguldak Batı Karadeniz Bölgesi'nde, Karadeniz'e batıdan ve kuzeyden kıyısı olan bir ildir. Yüz ölçümü 3310 km^2'dir. Merkezi de dahil olmak üzere 8 ilçeden oluşmaktadır. Düzce, Bolu, Karabük ve Bartın illeriyle sınır komşusudur. TTK Üzülmez TİM Zonguldak taşkömürü havzasında, Karadon Bölgesi'nin Güney ve güneybatısında, Zonguldak merkezine 7 km uzaklıkta Asma Mahallesi'nde bulunmaktadır (Şekil 1). Tam koordinatları 41°26'58.0" N - 31°49'44.0" dir.

Şekil 1. Yer bulduru haritası (Apple Maps, 2020)

1.2 Jeolojik Yapı

Zonguldak taşkömürü havzası Mesozoik ve Senozoik (palaojen- neojen devirler) zamanları arasında, Tetis Okyanusunun bulunduğu alanda orojenez ile oluşan Alp orojenik kuşağının Alpin kıvrımlarının devamı olan Kuzey Anadolu Dağları'nın (Pontidler) batısında yer alır. Bölgenin jeolojisi üzerinde bulunduğu sıradağlardaki faylanma ve kıvrımlanmalardan dolayı karmaşıklık gösterir (Gök, 1962).

Zonguldak Formasyonu kireçtaşı, çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, killi kireçtaşı ve kiltaşı içerir. Karadon Formasyonuyla arasındaki uyumsuzluk ise Mesozoyik zamanın başında meydana gelen Alpin Orojenezinin başlamasıyla blok hareketleri ve volkanik faaliyetlerle hareketli hale gelmesidir. Bu yüzden karışık bir sedimentasyona sahiptir. Karadon (Kka) Formasyonunun yaşı Westfaliyen BCD'dir. Formasyon Karadon, Kozlu ve Üzülmez bölgesinde mostra vermektedir. Çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı ve kömür içerisinde yer alır (Kanaf ve diğ., 2019). Kömür damarı sayısı ve kalınlığı Kozlu Formasyonuna göre çok çok azdır fakat işletilmeye en müsait seridir.

2 YERALTI TAŞKÖMÜRÜ ÜRETİM VE TAHKİMAT YÖNTEMLERİ

Dönümlü göçertmeli uzunayak, yarı mekanize ayak ve tumba yöntemleri son yıllarda kullanılan üretim yöntemleridir (Kuzu, 2018). Taşkömürü üretimi için açılan her türlü yeraltı açıklığında ise ahşap, beton ve çelik tahkimatlar nihai, geçici, ana ya da yardımcı tahkimat olarak kullanılabilmektedir.

2.1 TTK' da Yeraltı Açıklıklarında Kullanılan Tahkimat Yöntemleri

Püskürtme beton tahkimat, ahşap tahkimat, yarı mekanize tahkimat, mekanize tahkimat, çelik saplama tahkimat, çelik sarma ve hidrolik direk tahkimat sistemleri, TTK işletmelerinde galeriler, lağımlar, damar içi sürülen yollar, kavşaklar gibi açıklıkları tahkim etmekte kullanılmaktadır.

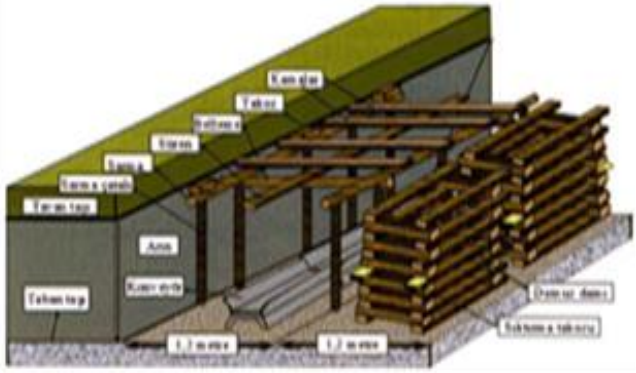
2.2 Üzülmez T.İ.M. Üretim Yapılan Ayaklarda Tahkimat Sistemleri Etüdü

Üzülmez T.İ.M Asma- Dilaver İşletmesinde taşkömürü 3 vardiya halinde 1.ocakta Nasifoğlu damarı, 2.ocakta Tabanacılık damarı, 3.ocakta Çay damarına bağlı uzunayak panolarda insan gücü ve delme-patlatma çalışmalarıyla üretilmektedir. İşletmenin bulunduğu bölgenin jeolojisi faylanma ve kıvrımlanmalardan dolayı çok karmaşıktır bu yüzden tam mekanize yerine yarı mekanize olarak çalışılmaktadır.1. ve 2. ocakta günlük ortalama kömür üretimi 400 ile 500 ton, 3.ocakta ise 600 ile 650 ton arasında değişmektedir. 1.ocakta ortalama damar kalınlığı 3,2 metre, 2.ocakta 1,8 metre, 3. ocakta 6 metredir ve bu damarda çelik hasırlarla üçer metrelik iki kat halinde çalışılmaktadır.

2.2.1 Ayaklarda Ahşap Tahkimat

Ağaç ya da ahşap tahkimat 4 metrelik 1 adet sarma, 3 metrelik 3 adet direkten ve sarmaların üzerine konulan kamalardan oluşmaktadır (Şekil 2). Bunlar genellikle sarıçam ağacından elde edilmektedirler. Maden kanunlarında belirtilen açıklık maksimum 3.6 m.'dir. Buna göre çalışılan havenin boyu 1.2 m., meşe veya kayın ağacından elde edilen domuzdamı boyu 1.2 m., makine havesi 1.2 m. olarak ayarlanmıştır. Çift her sarmaya 2 belleme tahkimat yapılır. Bu tahkimat ilave tahkimat olarak da geçmektedir. İki sarma arasına

yatay ve dik olarak yapılmaktadır. Çift zincirli konveyör burada arının hemen yanından geçmektedir. Direkler ve sarmalar birbirlerine bağlanırken direklerin başlarında kurtağzı denilen oyuk şekil verilir sarmaların ağırlığı tek bir noktadan direklere verip direkleri çatlatmaması için bu yöntem uygulanır. Sarmalar arına paralel olarak konulur. Eğimi yüksek ayaklarda yanal yükler için her sarmaya ayıbacağı denilen yana yatık iki direk vurulur. Sarmaların arkasında domuzdamları her sarma için iki tane olacak şekilde yerleştirilir ve onların arkasında da göçük bulunur. Domuzdamları arka göçerken bağların basılmaması için kullanılır. Arında gerçekleşen maksimum 1.2 m. ilerlemeden sonra her birim bir öne taşınır yani arına sıfır olarak yeniden paralel şekilde 1 sarma ve 3 direk çakılır. Kamalar yerleştirilir ve belleme tahkimat yapılır. Gerideki zincirli konveyör arına yakınlaştırılır. Domuzdamları arına doğru taşınır ve arka göçertilir.



Şekil 2. Ayaklarda Ahşap Tahkimat

2.2.2 Ayaklarda Yarı Mekanize Tahkimat

Yarı mekanize tahkimat olarak zincir çekişli ve kirişli sistemler kullanılmaktadır. Zincirli sistem ve kirişli sistem olarak adlandırılmasının nedeni birinde şiltler arası bağlantının zincirlerle diğerinde ise kiriş denilen bölgelerden yapılmasıdır. Kirişli yarı mekanize tahkimatın tavan plakaları kiriş ekseni arası 740 mm olan 2 kirişle birbirlerine bağlanır. Bir takım zincirli yarı mekanize tahkimat 2 adet 2G ve 1 adet 0G tavan plakasından oluşmaktadır (Şekil 3). Kömür üretimi martopikör ile insan gücü kullanılarak yapılan sistemde birbirine bağlı tavan plakaları ve bu plakaların her birine monte edilmiş dört hidrolikten oluşmuş ayak içi tahkimat sistemidir.

Şekil 3. Yarı Mekanize Ayak

2.2.3 Ayaklarda Esnek Yarı Mekanize Tahkimat

Esnek yarı mekanize tahkimat sistemi 30 derece ve üzeri ayaklarda kullanılır. Burada da tavan tablaları arası bağlantı zincir çekişli de olduğu gibi zincirlerle sağlanır. 1 takım 3 adet piston ve tavan tablasından oluşur (Şekil 4). Takım genişliği toplam 1 m.'dir. Bu tahkimat sisteminde kömürün nakliyatında çift zincirli konveyörler yerine kaydırma olukları kullanılır. Esnek yarı mekanize tahkimat sisteminde tahkimat altındaki kömür kazıldıkça tahkimat elemanı kendiliğinden aşağıya doğru hareket eder. Sadece tahkimat takılıp, sıkışıp hareket etmiyorsa bir ya da iki tahkimat elemanının pistonları hareket ettirilerek, daraltılıp yükseltilerek aşağıya doğru tekrar hareket ettirilir. Tahkimat elemanının taban taşına oturması ve sonrasında piston açılarak tavan taşına sıkıştırılması sağlanır.

Şekil 4. Esnek Yarı Mekanize Tahkimat

3 SONUÇLAR

Üzülmez T.İ.M Asma- Dilaver İşletmesinde 15 iş günü içinde tahkimat ve üretim vardiyaları arasında gerçekleşen arızalar, gecikmeler gözlemlenmiştir. Gecikmelerin nedenleri ve yaklaşık gecikme süreleri tutulmuştur.

Üç farklı tahkimat sisteminde de çeşitli nedenlerden dolayı gecikmeler yaşanmaktadır. Tahkimat sistemlerinin çalışma prensiplerini öğrenmek, bu sistemlerde kurulum veya öteleme sırasında yaşanan gecikmelerin nedenleri belirlemek ve çözüm önerebilmek için Asma- Dilaver İşletmesinde 15 iş günü boyunca tahkimat ve kazı işleri gözlemlenmiştir. Ocak mühendislerinden işletmede karşılaştıkları

İşletmede özellikle kış aylarında yağmur ve kar yağışları nedeniyle gerçekleşen ve işletmenin bütün üretim çalışmalarının durmasına neden olan elektrik kesintisi yaşanmış, üretim 1 vardiyası boyunca üretim yapılamamıştır. İşletmenin elinde bulunan jeneratör ile havalandırma sisteminin çalışması sağlanmıştır. Günlük taşkömürü üretiminin yaklaşık %40'ı sağlanamamıştır. Kesintilerin sonbahar ve kış aylarında sıklıkla yaşandığı öğrenilmiştir. Bu kadar uzun süre elektrik kesintisine neden olan problemin araştırılması ve önlenebiliyor ise önlenmesi gerekmektedir. Uzun süreli elektrik kesintilerinde üretim çalışmalarında kullanılmak üzere jeneratörler de alınabilir.

Ahşap tahkimatta yaşanan gecikme, işi çok iyi bilmeyen ustaların hızlı hareket etmemesinden kaynaklanmaktadır ve son yıllarda işletmede bu tahkimat sistemini kuracak yeterli usta ve işçi bulunmamaktadır. Bu iş için nitelikli usta ve ona yardımcı takım yetiştirilmelidir.

Yarı mekanize tahkimat sistemlerinde yaşanan gecikmelerin nedenleri genellikle yanlış kullanım ve tasarımdan kaynaklanmaktadır. Alınan zincirli ve kirişli tahkimatın tasarımında tahkimat ve üretim işlerini uzun süreler durdurabilecek büyük eksikler bulunmaktadır. Daha önce Çin'den ithal edilen tahkimat sistemleri şu an yerli firmalar tarafından üretilmektedir. Mühendisler ve mekanizasyon ekibi bu tasarımsal eksiklikleri belirlemeli ve listelemelidir. Daha sonra üretici yerli firmaya eksiklikler belirtilmelidir. İşletmenin mekanizasyon bölümü bu eksiklere karşı çeşitli önleyici yöntemler geliştirmiştir fakat yeterli gelmemektedir. Bunlar: Ön sürgülerin ileri geri hareketi sırasında arından kopan çeşitli büyüklükteki yantaş ve kömür parçaları sürgünün içine dolmaktadır. Bir süre sonra ön sürgü hareket ettirilemez hale gelmektedir. Birikme sorunu için birikinti parçaların boşaltılabileceği büyüklükte pencereler açılmalıdır. Aynı birikme ve sıkışma olayı mandallar için de geçerlidir. Mandalların yanmaz maddeden yapılacak koruyucu bir tabakaya ihtiyacı vardır. Aynı şekilde hidrolik hortumların patlatma işleminden sonra etrafa saçılan kömür ve yantaş parçalarından dolayı patlaması da sıkça gecikme yaşanmasına neden olmaktadır. Hidrolik hortumları korumak için işletme yanmaz bant parçalarını sisteme eklemiştir fakat bu sorunu tamamen ortadan kaldıramamıştır. Hidrolik hortumların da gelecek yantaş veya kömür parçalarından korunması gerekmektedir.

Delme- patlatma çalışmaları sırasında da gecikmeler yaşanmaktadır. Bunlardan en sık yaşananı patlatma telinin elektrik kablolarına temasıyla meydana gelen elektrik kesintisidir. Patlatma çalışmaları daha hesaplı ve düzenli bir şekilde yapılmalıdır. Elektrik kablolarının bulunduğu bölgelerde yapılan patlatma çalışmaları daha kontrollü olarak gerçekleştirilebilir.

TEŞEKKÜR

Bitirme çalışmamda desteklerini esirgemeyen değerli hocam ve danışmanım Doç. Dr Hakan TUNÇDEMİR'e ve lisans eğitimimde benimle bilgi, deneyimlerini paylaşan hocalarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

KAYNAKLAR

Apple Maps, 2020.

Gök, M.Ş., 1962. "Kuzey Anadolu Taşkömür Havzası" Dünya kömür madenciliği, Sayı 9,s.586.

Kanaf, F., Kandemir, Ö., Çakır, K., Usta, D., Çobankaya, M. ve Atıcı, G., 2019. "Batı Karadeniz Taşkömürü Havzasının Jeolojisi", MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, Sayı 28, s. 33.

Kuzu, C., 2018. "Yeraltı Maden İşletmeciliği", Maden Mühendisliği Bölümü, Maden Fakültesi, s. 14-57.

Türkiye Taşkömürü Kurumu Üzülmez Müessesesi Cevher Numuneleri Üzerinde Kazı Deneyleri ile Mekanize Kazı Makinesi Performans Tahmini

Mechanized Excavation Machine Performance Estimation by Excavation Tests on Ore Sample in Turkish Brown Coal Enterprises Üzülmez District

S. KARAMAN
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu çalışma kapsamında Zonguldak Türkiye Taşkömürü Kurumu Üzülmez Müessesesinden alınan kömür ve yan kayaç olan kireçtaşı numuneleri üzerinde kama uçlu yardımsız 5 mm kesme derinliğine sahip taşınabilir küçük boyutlu deney setinde kesme deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda her bir kesme için normal, kesme ve yanal kuvvet grafiği çizilmiştir ve her bir kesme için spesifik enerji değeri belirlenmiştir. Hazırlanan grafikler kazı mekaniği temel esaslarına göre yorumlanmıştır ve işletmenin mekanize kazı yapabilmesi için en uygun öneride bulunulmuştur.
Anahtar kelimeler: kama uçlu keski, yardımsız kesme, mekanize kazı, spesifik enerji

ABSTRACT In this study, cutting tests were carried out on the coal and limestone samples taken from the Zonguldak Turkish Hard Coal Institution Üzülmez Institution in a portable small-sized test set with a wedge-tipped unrelieved 5 mm cutting depth. As a result of these experiments, normal, cutting, and side force graphs were drawn for each cutting line. The specific energy value was determined for each cutting. The graphics prepared were interpreted according to the basic principles of excavation mechanics. The most appropriate suggestion was made to the TTK Üzülmez to carry out mechanized excavation.
Keywords: wedge chisel, unrelieved cutting, mechanized excavation, specific energy

1 . TTK ÜZÜLMEZ YERALTI OCAĞI İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü bünyesinde bulunan Üzülmez Taşkömürü İşletme Müessesesi Şekil 1.1.'de imtiyaz alanı gösterilen Zonguldak ili sınırları içerisindedir ve Zonguldak'a 7 km uzaklıktadır. Doğusunda Karadon Taşkömürü İşletmesi, batısında Kozlu Taşkömürü İşletmesi, kuzeyinde Karadeniz ve güneyinde ise Midi Fayı bulunmaktadır. Türkiye Taşkömürü Kurumu Zonguldak İşletmesi imtiyaz alanı 6.885 km^2 olup, bunun 28 km^2 'lik alanı Üzülmez Müessesesi'ne aittir.

Türkiye Taşkömürü Kurumu Üzülmez Müessesesi karayolu ile İstanbul'a 330 km, Bolu'ya 155 km ve Bartın'a 80 km mesafede bir maden şehridir. İşletmenin bulunduğu bölgede Karadeniz iklimi hüküm sürmektedir. İşletme toplam 2,10 ve 3,20 metre arasında değişen kalınlıklarda 3 damarda çalışmaktadır ve farklı kotlarda üretim faaliyetlerini sürdürmektedir.

Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) Üzülmez Müessesesinin rezerv bilgileri Çizelge 1.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1 Rezerv Bilgileri (TTK, 2018)

	Üzülmez
Hazır (ton)	327.943
Görünür (ton)	133177529
Muhtemel (ton)	94.342.000
Mümkün (ton)	74.020.000
Toplam (ton)	301.867.472

1.1 Jeolojik Yapı

Kuzey Anadolu Taşkömürü Havzasının birçok jeolojik dönemden geçmesi ve aşınma ve fayların kırılmalar yaşaması yüzünden böyle karmaşık bir yapıya sahip olmasına neden olmuştur. Oluşan bu jeolojik yapı yüzünden maden sahalarında kömürün teknolojik çıkarımı çok zorlaşmaktadır. Bu zorluklar maliyet artışına sebep olup kar oranını azaltmaktadır.
Asma Dilaver İşletmesi genel olarak bir senklinal oluşturur. Senklinalin kuzeyi eğik, güneyi ise diktir. Senklinal doğuda tamamen muhafaza olup Karadon serisine normal gelmişken, batı kısımda ise çok aşınmıştır. Asma Dilaver İşletmesi sahasında 701, Taşbaca ve Dilaver olmak üzere 3 fay vardır. Bu faylar 70° ve güney batıya meyillidir.

1.2 Üretim Yöntemi

Türkiye Taşkömürü Kurumu Üzülmez İşletmesinin damar kalınlığı 2,10 metre ve 3,20 metre arasında değişmektedir. Kuzey Anadolu Taşkömürü Havzası çok karmaşık bir yapıya sahip olduğu için bu arazide üretim yeraltı işletme yöntemiyle gerçekleştirilmektedir.

2 . KÖMÜR VE YANTAŞIN ÖZELLİKLERİ

2.1 Kömürün Özellikleri

TTK Üzülmez Müessesesindeki taşkömürü çıkmaktadır ve rezervlerinin koklaşma özelliği vardır. Zonguldak havzasındaki kömürlerin ortalama kalorifik değeri 6200 kcal/kg ve 7200 kcal/kg arasındadır. Üzülmez Müessesesinde ise kül oranı %11 ile %13 arasındadır. Nem oranı %2 ile %14 arasındadır. Uçucu madde oranı %25 ve %27 arasındadır. Kömürdeki sabit karbon miktarı ise %52 ile %57 arasında değişmektedir.

2.2 Yantaşın Özellikleri

Kuzey Anadolu Taşkömürü Havzasında yantaş olarak kireçtaşı, kumtaşı, kil taşı ve konglomera bulunmaktadır. Ayrıca havzada olan kil taşı, silttaşı, volkanik ve metamorfik kayaçların varlığı suyun yerin altına inmesini engelleyerek sel ve taşkın oluşumuna sebep olabilmektedir.

3 . KAZI MAKİNELERİ

3.1 Kollu Galeri Açma Makineleri

Madencilik alanında önemli bir yere sahip olan kollu galeri açma makineleri kısmi kazı yapan makineler sınıfına dahildir. Kollu galeri açma makineleri, makinenin sabit bir halde durarak, kesme kafasının kazı yüzeyinde bir yerden bir yere hareket ederek çalışmaktadır. Çok yumuşak ve yumuşak formasyonların kazısında çok yüksek performanslara ulaşılabilir. Ancak, orta sert formasyonlarda performans düşmektedir.

3.2 Tam Cepheli Tünel Açma Makineleri

Tam cepheli tünel açma makinelerinin ilk yatırım maliyetinin fazla olmasına rağmen hızlı çalışması ve bir defada kazabilmesi sayesinde çok tercih edilir. Kurulumu ve taşıma maliyeti de çok yüksektir. Dev köstebek olarak da bilinir. Yumuşak ve sert kadar her türlü malzemede kullanılabilirler.

3.3 Darbeli Kırıcılar

Darbeli kırıcılar çoğunlukla tünel açma işlerinde yumuşak ve orta sert kayaçlarda tercih edilir.

3.4 Mikro Tünel Açma Makineleri

Mikro tünel açma makineleri şehirlerde boru hatları, kanalizasyon hatları, kablo döşemesi gibi birçok alanda hayatı aksatmadan kazı yapma işlemine yardımcı olur. Diğer tünel

açma makinelerine göre boyutları daha küçük ve çapları 3,5 metrenin altındadır.

3.5 Sürekli Yeraltı Kazıyıcısı

Sadece madencilik alanında mekanize kazı yapabilmesi için geliştirilmiş makinelerdir. Amacı en verimli şekilde toz ve ses sorunlarını engelleyebilmektir.

3.6 Yumuşak Zemin Tünel Açma Makineleri

Arazi basıncını dengeleme makineleri 1960-1970 yıllarında Japonya'da kullanılmaya başlanmıştır. Yumuşak zeminlerde kendini dengede tutamayan kayaçlarda tercih edilir. Arazi basıncını dengeleme makineleri çok yumuşak kayaçlardan, çok sert olanlara kadar birçok farklı malzemede kullanılabilir.

4. PERFORMANS TAHMİN YÖNTEMLERİ

Performans tahminlerinin yöntemlerinin amacı belirli bir alanda kullanılacak olan mekanize kazı makinelerinin seçimi ve ekonomikliğinin belirlenmesidir. Kazı performansı tahmininde tam boyutlu doğrusal kazı seti, küçük boyutlu kazı seti, ampirik yaklaşımlar, yarı ampirik yaklaşımlar ve gerçek bir makine ile yerinde kazı yöntemi olarak birçok değişik metot kullanılmaktadır. TTK Üzülmez Müessesinden alınan numunede taşınabilir küçük boyutlu tam kazı seti kullanılacaktır.

5 . TAŞINABİLİR KÜÇÜK BOYUTLU TAM KAZI DENEYİ DENEYSEL ÇALIŞMALAR

İTÜ Maden Fakültesi Maden Kazı ve Teknolojileri laboratuvarında bulunan taşınabilir küçük boyutlu kesme deney setinde Türkiye Taşkömürü Kurumu Üzülmez Müessesinden alınan kömür ve yan kayaç numuneleri deney seti için hazırlanıp ardından deney yapılacaktır.

5.1 Deneyde Kullanılacak Numunenin Hazırlanması

Deneyde kullanılması için Türkiye Taşkömürü kurumundan alınan 1,70 g/cm3 yoğunluğa sahip kömür ve 2,50 g/cm3 yoğunluğa sahip kireçtaşı yan kayacının her biri kesme makinesinde istenilen 10×10×20 cm boyutlarına getirilmiştir. Hazırlanan kömür numunesi Şekil1.1'de gösterilmiştir.

Şekil5.1 Hazırlanan Kömür Numunesi

5.2 Deney Prosedürleri

Deneyde -5° kesme açısına (α) sahip ve 5° temizleme açısına (β) sahip 5 mm kesme derinliğine (d) sahip kama uçlu keski ile kesme işlemleri yapılmıştır. Testler yapılmadan önce numune kabında kömür ve yan kayaç yüzeyine ulaşılması için keserek cevher yüzeyine ulaşılmıştır ve dinamometre ile kesme işlemi sonucunda normal, kesme ve yanal kuvvet ölçümleri bilgisayara aktarılmıştır. Her bir kesme için SE değerleri hesaplanacaktır.

5.3 Elek Analizi Deneyi

Makine ve kazı işlemlerinde verimliliği etkileyen önemli nedenlerden biri de kazı sırasında ortaya çıkan pasanın parça boyutudur. Optimum koşullarda çalışan bir mekanize kazı makinesinde tane boyutları büyük ve spesifik enerjinin düşük olması beklenir.

5.4 Kazı Deneyinde Kullanılacak Değişkenler

Kazı deneyinde kullanılacak değişkenler normal kuvvet, kesme kuvveti, yanal kuvvet, pasa hacmi ve spesifik enerji değeridir.

6. TAŞINABİLİR KÜÇÜK BOYUTLU TAM KAZI DENEYİ SONUÇLARI

Deneyde yardımsız kesme yöntemi kullanılmıştır, tek bir keski bağımsız bir şekilde çalışmaktadır. Spesifik enerjinin hesaplanması ve elek analizinden pasa irilik katsayısının bulunması ile uygun kazıcı önerisi yapılacaktır.

6.1 Taşınabilir Küçük Boyutlu Kesme Deneyi Spesifik Enerji (SE) Sonuçları

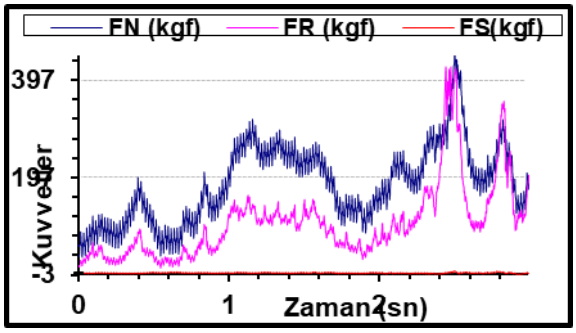
Kömür ve yan kayaç olan kireçtaşı numunesinin SE sonuçları Çizelge 6.1 ve 6.2'deki gibidir. Kömür için ortalama SE 14 MJ/m3, kireçtaşı için 26,9 MJ/m3'dir. Kömür kat:1 kesme:1 için Normal, kesme ve yanal kuvvet grafiği Şekil 6.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 Kömür SE değerleri

Örnek	Kat	Kesme	FC	SE
-	-	No	kgf	MJ/m^3
		1	119.21	15.29
Kömür	1 Kat	2	148.21	16.93
Yoğunluk		3	185.10	17.64
1.7 g/cm^3		1	132.06	13.94
	2 Kat	2	89.99	7.47
		3	103.87	9.84

Çizelge 6.2 Kireçtaşı SE sonuçları

Örnek	Kat	Kesme	FC	SE
-	-	No	kgf	MJ/m^3
		1	304.81	22.97
Yankayaç	1 Kat	2	425.59	31.78
Yoğunluk		3	408.28	29.65
2.5 g/cm3		1	334.77	26.10
	2 Kat	2	423.92	28.88
		3	340.15	16.04



Şekil 6.1 Kömür Kat:1 Kesme:1 Kuvvet Zaman Grafiği

6.2 Taşınabilir Küçük Boyutlu Kesme Deneyi Elek Analizi Sonuçları

Elek serilerinden geçen paşalarda kömür için pasa irilik değeri 488, kireçtaşı için 621.775'tir.

7 UYGUN MEKANİZE KAZI MAKİNESİ SEÇİMİ

Sonuç olarak 14 MJ/m3 spesifik enerji değerine sahip kömür için orta ağırlıkta kademeli kollu galeri açma makinesi seçilecekse düşük bir kesme verimine sahip olacaktır ve keski uçları çok fazla aşınıp kırılabilecektir. Ağır kademeli kollu galeri açma makinesi seçilecekse kesme ilerleme hızı yüksek olup kesme verimi orta ve yüksek arasında değişecektir. Bu yüzden ağır kademeli kollu galeri açma makinesi kömür için uygundur. 26,9 MJ/m3 spesifik enerji değerine sahip kireçtaşı için orta ağırlıkta kademeli kollu açma makinesi uygun değildir, ağır kademeli kollu galeri açma makinesi kullanılması durumunda kesme verimi düşük olacaktır ve kalem uçlu keski kullanılması uygun olacaktır. Spesifik enerji ile kademeli kollu galeri açma makinelerinin ilerleme hızı grafiği ile kömür numunesi için orta ağır makine günlük ortalama 7 m3/h ilerleme hızına, ağır makineler için günlük ortalama 15 m3/h ilerleme hızına sahip olabileceğine varılabilir. Kireçtaşı numunesi için orta ağır makine günlük ortalama 3 m3/h ilerleme hızına, ağır makineler için günlük ortalama 7 m3/h ilerleme hızına sahip olabileceğine varılabilir.

KAYNAKLAR

Ersoy, C., 2012. "Kollu Galeri Açma Makinelerinin Seçim Kriterleri Ve Zonguldak Havzasına Uygulanması", İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Yüksek Lisans Tezi.

Polat, C., 2015. Roadheader Performance Prediction Using Portable Linear Cutting Machine (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Sarıhan, G., 2018. "TTK Üzülmez Bölgesinde Üretim Yapılan Kömür Damarlarının Yıkanabilirlik Özellikleri Ve Kullanım Açısından Değerlendirilmesi", Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi.

Comakli, R., Balci, C., Copur, H., & Tumac, D., 2021. Experimental studies using a new portable linear rock cutting machine and verification for disc cutters. Tunnelling and Underground Space Technology, 108, 103702.

Tahkimat Tasarımı için Yeraltı Madenciliğinde Jeoteknik Analizler

Geotechnical Analysis in Underground Mining for Support System Design

B.Ç. Demiralın, C. A. Öztürk
İstanbul Technical University, Mining Engineering Department, İstanbul

ÖZET Bu bitirme çalışması, bir maden işletmesinin jeoteknik ayna verileri kullanılarak tahkimat sistemini istatistiksel yöntemlerle açıklamaktadır. Çalışma kapsamında işletmede bulunan jeoteknik verilere göre bölgedeki maden sahasında bulunan önemli bulunan litolojiler incelenmiş ve daha sonra bu litolojilere ait veriler istatistiksel methotlarla grafik ve histogramlar yardımıyla raporlanmıştır. Çalışmanın son kısmında elde edilen istatistiksel sonuçlara göre işletme için uygulanacak olan tahkimat sistemi tasarımı için gerekli tahkimat sınıfları belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Çalışmada kullanılan önemli iki tahkimat sistemi Q ve RMR sistemlerinin önce gerekli prosedürleri açıklanmış; ardından bu sistemler kullanılarak gerekli veriler yardımıyla kaya tahkimat sınıfı süreci hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Bu bitirme çalışmasında kullanılan veriler Esan-Balya işletmesine ait olup verilerin herhangi suretle kullanımı yasaktır.
Anahtar Kelimeler: Jeoteknik, Tahkimat, RMR, Q,

ABSTRACT This thesis explains the fortification system of a mining enterprise using geotechnical mirror data with statistical methods. Within the scope of the study, the important lithologies found in the mining area in the region were analyzed according to the geotechnical data in the operation and then the data belonging to these lithologies were reported with the help of graphics and histograms by statistical methods. According to the statistical results obtained in the last part of the study, it is aimed to determine the required support classes for the design of the support system to be applied for the enterprise.

The necessary procedures for the Q and RMR systems, the two important support systems used in the study, were explained; Then, using these systems, detailed information was given about the rock fortification class process with the help of necessary data.
Keywords: Geotechnic, Support, RMR, Q

1 GİRİŞ

1.1 Yeraltı Açıklıklarının Tahkimatında Analitik Yöntemler

Yeraltı madenlerinde tahkimat ve sağlamlaştırma işlemlerini birincil amacı, işletmede çalışan personelin güvenliğini sağlamaktır. Bu birinci amaç yerine getirildikten sonra ise tahkimat işlemlerin kullanılacak ekipman ve yöntemlerin ekonomikliği ; aynı zamanda yöntemlerin karşılaştırmalı olarak avantaj ve dezavantajları değerlendirilmekte ve oluşan çıktılara göre yöntem seçilmektedir. Bu aynı zamanda madencilikte yüksek mertebelerde olan yatırımın korunması açısından da oldukça önemlidir.

Yeraltı madencilik açıklıklarının mühendislik tasarım yaklaşımları üç ana gruba ayrılabilir. Bunlar; deneysel, sayısal ve analitik yaklaşımlardır. Bu yaklaşımlar neticesinde işletmede uygulanması gereken tahkimat şekli belirlenmektedir. Her bir yöntemin kendine has avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Analitik

yöntemler ile yapılacak olan tahkimat tasarımında galeri açıklık boyutu, yeraltındaki gerilmeler, tek eksenli basınç dayanımı, Hoek-Brown parametreleri, poisson oranı, jeolojik dayanım indeksi (GSI), kaya kütlesinin birim hacim ağırlığı gibi birçok parametre hesaba katılmaktadır. Bu hesaplamalar sonucunda uygulanması gereken tahkimat özellikleri, oluşabilecek deformasyon miktarları, oluşacak gerilme değişimleri hesaplanabilmektedir.

2 KAYA KÜTLELERİNİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

Kaya kütleleri, çeşitli jeolojik süreksizlikler (eklem, fay, tabakalanma şistozite vb) tarafından ayrılmış sağlam kaya bloklarının birlikteliğinden oluşurlar. Kaya kütlesindeki süreksizliklerin aralığı veya sıklığı, farklı süreksizlik setlerinin sayısı ve planlanan mühendislik kazısının boyutları, incelenen kayacın davranış türü hakkında karar verilmesinde önemli rol oynayan faktörlerdir.

Bir işletmede yapılan jeolojik çalışmalar ve bu çalışmalardan elde edilen verilerin genellikle istatistiksel olarak incelenmesi sonucuna göre belli başlı kaya sınıflama sistemleri geliştirilmiştir. Kaya sınıflama sistemlerinin değerlendirilmesinde iki mekanik özellik ele alınmaktadır. Bunlardan ilki basınç dayanımıdır. İkincisi ise elastisite modülüdür.Kaya sınıflandırılmasının en temel amacı ise kayaların birbirine göre ne kadar sağlam olduğunun anlaşılarak deformasyon özelliklerinin karşılaştırılmasıdır.

2.1 Kayaç Malzemesi Sınıflaması

Yapılan araştırmalar ve deneyler sonucunda genel olarak kayaç malzemesinin sınıflandırılmasına ilişkin sistemler, kayaçların tek eksenli basınç dayanımlarına göre yapılmaktadır.

2.2 Kaya Kütle Sınıflama Sistemleri

Maden veya tünel işletmelerinde arazi araştırması ve bu araştırma ışığından arazinin jeoteknik yapısı hakkında veriler elde etmek oldukça önemli bir iştir. Bir yeraltı ocağında veya tünelde yapının tahkimatsız ne kadar ayakta kalacağı, optimum delme patlatmanın belirlenmesi gibi mühendislik faaliyetleri için gelişen yıllardan kaya sınıflama sistemleri bulunmuştur. Bu sistemlerle maden tasarımlarının yapımı ve hedefleri sahanın jeolojisi dikkate alınarak yapılmaktadır.

Kaya kütlesi sınıflama sistemlerinin kullanılmasındaki başlıca amaçlar,

- Kaya kütlesinin davranışını etkileyen en önemli parametreleri tayin etmek,
- Kaya kütlelerini kendi içlerinde benzer özellikler gösteren bölgelere ayırarak değişik kaya kütlesi sınıflarını belirlemek,
- Her kaya kütlesi sınıfının karakteristiklerini anlamak amacıyla bir esas oluşturmak,
- Bir sahadaki kaya koşullarıyla ilgili kazanılan deneyimi diğer sahalarda karşılaşılan koşullarla karşılaştırıp ilişki kurmak,
- Mühendislik tasarımı için sayısal veri ve bir kılavuz elde etmek,
- Mühendisler arasında ortak bir temele dayalı bilimsel ve teknik anlamda iletişim sağlamak

2.2.1 Q Sınıflama Sistemi

Barton ve arkadaşlarının 1973 yılında yaptıkları çalışmalara göre tünel tahkimatı yapılması amacıyla yapılmış bir sınıflama sistemidir. Kaya kütlesinin 6 temel özelliğine göre yapılan değerlendirmeler sonucunda ilgili kayanın sınıfı tespit edilmektedir.

Bu eşitlikte kullanılan parametreler ise şu şekildedir:

- RQD: Kaya kalitesi,
- J_n: Eklem takım sayısı,
- J_r: Eklem pürüzlülük sayısı,
- J_a: Eklem alterasyon sayısı,
- J_w: eklem suyu indirgeme sayısı,

- SRF: Gerilme indirgeme faktörüdür.

2.2.2 RMR Sınıflama Sistemi

İlk kez 1973'te önerilen sistemde aşağıda belirtilen 8 parametre esas alınmakta ve sınıflama bu parametrelere verilen puanlara göre yapılmaktaydı . Bu parametreler;

- Kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı
- RQD (Kaya kalite göstergesi)
- Bozunmanın derecesi
- Süreksizlik aralığı
- Süreksizlik açıklığı
- Süreksizliklerin devamlılığı
- Yeraltı suyu akışı
- Süreksizlik yönelimi' dir.

3 KAYA KÜTLE SINIFLAMALARINA GÖRE TAHKİMAT TASARIMI

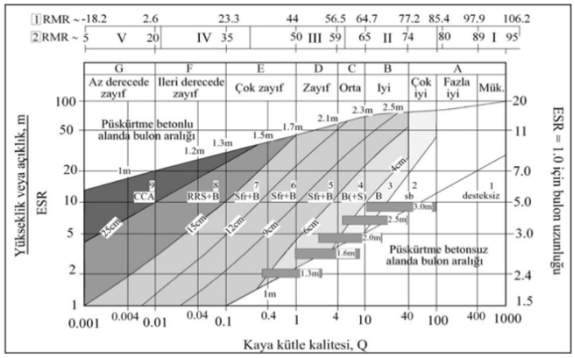
Tahkimat tasarımları, açıklığın geometrisi ve kullanım amacına, ortamın jeoteknik özelliklerine ve ortamdaki gerilmelere uygun olarak belirlenmelidir. Yapılan sondaj çalışmaları sonucu elde edilen jeoteknik veriler, tasarımda kullanacağımız yöntemler için gerekli verileri oluşturmaktadır. Tahkimat tasarımları için kaya kütle sınıflamalarından yararlanılmaktadır.

3.1 Q Sistemine Göre Tahkimat Tasarımı

Bölüm 2.2.1'de Q sistemine göre yapılacak olan tahkimat tasarımı için geçerli olan parametreler detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bu parametreler ışığında elde kaya sınıfına göre tahkimat tasarımları yapılmaktadır.

Q sistemindeki en önemli verilerden biri olan kaya destek oranı (ESR) değeri, yeraltı açıklarının sağlam kalabilmesi için gerekli olan güvenlik katsayısıdır. Açıklık yüksekliğinin kazı destek oranına bölünmesiyle birlikte $D_{e\ değeri}$ bulunmaktadır.

Elde edilen verilere göre Şekil 3.1'de tahkimat tasarımı için kullanılması gereken eş değer boyut ve Q değerlerine bağlı tahkimat abağı görülmektedir.



Şekil 3.1 Q sistemi ile tahkimat tasarımı

3.2 RMR Sistemine Göre Tahkimat Tasarımı

Yeraltı açıklıklarının tahkimat tasarımlarına karar verme ihtiyacının artmasıyla ortaya çıkan kaya sınıflama sistemlerinden kaya kütle puanı (RMR) sistemi Bienawski tarafından 1973 – 1989 yılları arasında başlıca tüneller olmak üzere çeşitli projelerde kullanılan veriler toplanılarak geliştirilmiştir.

Çizelge 3.1 RMR Sınıflama Sistemi

Parametre			Değer Aralıkları						
1	Sağlam kayanın mukave-meti (MPa)	Nokta yük indeksi	> 8	4-8	2-4	1-2	Tek eksenli basınç deneyini kullan		
		Tek eksenli basınç mukavemeti	> 200	100-200	50-100	25-50	10-25	3-10	1-3
	Derecelendirme		15	12	7	4	2	1	0
2	Sondaj karot kalitesi RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	< 25		
	Derecelendirme		20	17	13	8	3		
3	Eklemleri sıklığı (m)		> 3	1-3	0.1-1	0.05-0.3	<0.05		
	Derecelendirme		30	25	20	10	5		
4	Eklemleri durumu		*	**	***	****	*****		
	Derecelendirme		25	20	12	6	0		
5	Yeraltı suyu	Tünelin ilk 10m. kısmından gelen su lt/dk	Yok	<25	25-125		> 125		
		Oran: Eklemdeki su basıncı / Ana asal gerilme	0	0.0-0.2	0.2-0.5	>0.5			
		Genel koşullar	Tamamen kuru		Yalnızca Nemli	Orta basınç altında su	Önemli su problemleri		
	Derecelendirme		10		7	4	0		

Not * Çok kaba yüzler sürekli değil ayrılma yok eklemeli sert kaya
** Az kaba yüzeyler <1mm açıklıklı eklemli sert kaya
*** Az kaba yüzler <1 mm açıklıklı eklemli yumuşak kaya
**** Sürtünme izli yüzeyler veya fay kili <5mm veya 1-5mm açık eklemler sürekli eklemler
*****Yumuşak fay kili > 5 mm. kalınlık veya açık eklemler > 5mm. sürekli eklemler

4 YERALTI MADENİ VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

İşletmeden alanın verilere göre işletme sahasındaki önemli litolojik veriler ışığında işletmenin Q ve RMR değerleri ve bu değerlerin beraberinde getirdiği parametreler istatiksel yollarla değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre maden sahasının

%80'ni barındıran litolojilere ait istatiksel değerlendirilmeler raporlanmıştır.

4.1 Q Verilerinin Değerlendirilmesi

Q verilerinin istatiksel değerlendirme sonuçları çizelge 4.1'de belli başlı litolojiler için gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 Q verilerinin değerlendirilmesi

Ayna Litolojisi	Ayna Sayısı	Oran	Max Q	Ortalama Q	Min Q
Andezit+ Skarn	234	2,45%	18,666	0,845	0,082
Kireçtaşı	625	6,55%	1,375	0,759	0,055
Kireçtaşı+Skarn	352	3,69%	25,333	0,821	0,032
Mermer	1835	19,24%	0,469	0,154	0,042
Mermer+Skarn	216	2,27%	4,500	0,423	0,036
Metasedimanter	411	4,31%	20,000	0,779	0,053
Metasedimanter+Skarn	384	4,03%	16,000	0,555	0,017
Skarn	1934	20,28%	0,469	0,208	0,109
Skarn+Kireçtaşı	528	5,54%	16,000	0,721	0,046
Skarn+Metasedimanter	559	5,86%	17,000	0,608	0,045
Diğer	2458	25,78%	14,667	0,244	0,033
Toplam	**9.536**	**100,00%**			

4.2 RMR Verilerinin Değerlendirilmesi

Q verilerinin istatiksel değerlendirme sonuçları çizelge 4.1'de belli başlı litolojiler için gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. RMR verilerinin değerlendirilmesi

Ayna Litolojisi	Ayna Sayısı	Oran	Max RMR	Ortalama RMR	Min RMR
Andezit+ Skarn	234	2,45%	59,000	42,571	22,000
Kireçtaşı	625	6,55%	77,000	40,327	16,000
Kireçtaşı+Skarn	352	3,69%	72,000	41,637	26,000
Mermer	1835	19,24%	66,000	38,520	14,000
Mermer+Skarn	216	2,27%	64,000	39,874	20,333
Metasedimanter	411	4,31%	62,000	38,989	16,000
Metasedimanter+Skarn	384	4,03%	65,000	38,187	16,333
Skarn	1934	20,28%	83,000	43,826	19,667
Skarn+Kireçtaşı	528	5,54%	77,000	41,634	23,000
Skarn+Metasedimanter	559	5,86%	63,000	39,659	18,333
Diğer	2458	25,78%	49,333	36,730	23,500
Toplam	9.536	100,00%			

5 SONUÇLAR

Bu çalışmada bir maden sahasına ait jeoteknik veriler kullanılarak istatistiksel methotlar ile Q sınıflama sistemi kullanılarak kaya sınıfı kestirimi yapılması amaçlanmıştır. Sahaya hakim olan litolojilerinin %80'ininin "Andezit+Skarn" , "Kireçtaşı" , "Kireçtaşı+Skarn" , "Mermer" , "Mermer+Skarn" , "Metasedimanter", "Metasedimanter+Skarn", "Skarn", "Skarn+Kireçtaşı"ve"Skarn+Metasedimanter olduğu tespit edilmiştir

Tahkimat sınıfı belirlerken açıklık değeri 6 m ve ESR değeri 1,3 olarak ele alınmıştır. Yapılan Q kaya sınıflama sistemi sonuçlarında sahada bulunan kayaç grubunun genel olarak "E sınıfı – Çok Zayıf Kaya" ve "F Sınıfı – İleri Derecede Zayıf Kaya" olarak tespit edilmiştir. Bu kayaç gruplarına ait gerekli ayna tahkimat sistemi seçiminde genel olarak 12-15 cm kalınlığında fiber püskürtme beton; 1,5 m aralıklarla yerleştirilmek üzere 2,4 m uzunluğunda kaya saplamaları ve 6mm çapında çelik hasır kullanılması güvenli bölgede kalınması açısından önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bitirme çalışmasının ortaya çıkış aşamasından sonuna kadarki süreçte benden hiçbir desteğini esirgemeyen bitirme projesi danışmanım Doç. Dr. Cüneyt Atilla Öztürk'e ve eğitim hayatım boyunca eğitimim konusunda bana yardımcı tüm hocalarıma teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Bieniawski, Z.T.(1989). Engineering rock mass classifications. New York: Wiley.

Karpuz, C., Hindistan, M. A. (2006). Kaya Mekaniği İlkeleri, Uygulamaları, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara.

Hudson J. A., (1989) Rock Mechanics Principles in Rock Engineering Practice, Butterworths, p. 72.

Bilfer Madencilik ve Turizm A.Ş. Ayazmant Demir Cevheri Zenginleştirme Tesisinin Kurulması ile Ayazmant Açık Ocak İşletmesinin Ekonomiklilik Analizi

Economical Analaysis of Ayazmant Open Pit Mine After Bilfer Madencilik Turzim A.Ş. Investment of Ayazmant Enrichment Facility

C. M. Koçulu, C. A. Öztürk
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Türkiye'de demir madenciliği sektöründe önemli bir üretim payına sahip olan Bilfer Madencilik ve Turizm Anonim Şirketi, Ege bölgesinde yer alan Balikesir ili sınırları içerisinde bulunan Ayvalık ilçesine bağlı Ayazmant bölgesinde demir içerikli bir maden ocağı işletmektedir. Firma tarafından 2010 yılında işletilmekte olan ocaktan çıkan cevherin zenginleştirilmesi için bir tesis yatırımı yapılmıştır. Bu tez çalışmasında zenginleştirme tesisinin üretime başlamasından sonra işletmenin ekonomikliği araştırılmış ve 5 yıllık fizibilite çalışması yapılmıştır. Açık ocak işletmesi ve zenginleştirme tesisinde bulunulan zamanlarda üretim yöntemi, çalışma verimi ve koşulları incelenmiştir. Üretilen ürünlerin nitelikleri ve pazarları araştırılmıştır. Elde edinilen veriler ile firmanın üretim, maliyet, gelir, gider ve kar hesaplamaları yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda madenin işletilebilir ömrü hesaplanmış ve 2021-2025 zaman dilimindeki faaliyetleri planlanmıştır.

ABSTRACT Bilfer Madencilik ve Turizm Anonim Şirketi has an important production amount in the iron mining industry of Turkey. The company operates an iron containing mine with open pit mining production method in Ayazmant region of Ayvalık district within the borders of Balıkesir province.A facility investment was made by the company to enrich the ore extracted from the open pit in 2010. In this thesis study, after the enrichment plant started production, the economics of the enterprise was researched and a 5-year feasibility study was conducted. Production method, working efficiency and conditions were monitored during the working periods of open pit mine and enrichment facility. The qualities and current markets of the products were researched. The company's production, cost, income, expense and profit calculations were made with the data obtained. As a result of the studies, the operable life of the mine was calculated and its activities in the 2021-2025 time period were planned.

1 GİRİŞ

Balıkesir ili Ayvalık ilçesi içerisinde yer alan, Bilfer Madencilik ve Turizm A. Ş.'nin ruhsat sınırlarında bulunan demir bakır sahasında açık ocak yöntemi ile üretim yapılmaktadır. 2010 yılında firma tarafından ocaktan çıkan ürünleri zenginleştirme amacıyla bir tesis yatırımı yapılmıştır. Açık ocağın 3 km uzaklığındaki tesisten nihai ürün olarak sinterlik demir ve mikronize peletlik demir elde edilmektedir. Ara ürün zenginleştirmesinden ise bakır konsantresi

üretilmektedir. Açık ocağın firma tarafından işletilmeye başlandığı dönemde elde edilen ürünler Ereğli Demir Çelik fabrikalarına satılmaktaydı, lakin son 11 yıllık süreçte yurtiçine ürün satışı nerdeyse yapılmayıp, Romanya ve İsveç ülkelerine ihracat yapılmaktadır. Madendeki cevher rezervi 2010 yılı itibariyle yaklaşık 5.500.000 t, yıllık üretim hedefi 280.000, t olarak bilinmektedir. Madenin işletilme ömrü 2030 yılında son bulacağı planlanmaktadır.

2 ÜRÜNLER VE PAZARLARI

2.1 Demir

Demir cevheri, sanayi üretimlerinde kullanılan metaller arasında dünyada en çok tercih edilen elementtir. Demir ve çelikten yapılmış ürünler birçok farklı iş ve üretim sektöründe kullanılmaktadır, ayrıca günlük hayatta her alanda kullanımı olan bir malzemedir. Ayazmant Açık Ocak İşletmesi'nde çoğunlukla manyetit mineralinden, tüvenan demir cevheri üretilmektedir. Ayazmant Demir Cevheri Zenginleştirme Tesisi'nde işlenilen cevher, 2 mm - 25 mm boyut aralığındaki sinterlik demir konsantiresi ve 75 μm tane boyutu altında peletlik mikronize demir konsantresi olarak çıkmaktadır. Sinterlik ve peletlik demirin her ikisininde demir içeriği en az %65, bünyesinde taşıdığı nem en fazla %13 oranındadır. Cevherin içindeki diğer elementlerin oranlarıda analiz edildiğinde demir çelik endüstrisinde talebi olan bir ürün olduğu bilinmektedir (İçyüz, t.y.).

Tablo 2.1 Demir Çelik Endüstrisi için Demir Cevheri Alım Şartları

İçerik	Yerli Üretim Cevher için Nihai Sınır	İthal Ürün için Nihai Sınır
Fe	%50 min.	%63 min.
SiO_2	%17 max.	%3,5 max.
Al_2O	%3 max.	%1,5 max.
S	%2,5 max.	%0,02 max.
As	%0,60 max.	%0,05 max.
P	%1 max.	%0,05 max.

2.2 Bakır

Endüstride bakırın fazla tercih edilmesinin nedeni, çok çeşitli özelliklere sahip olmasıdır. Bakırın en önemli özellikleri arasında yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, aşınmaya karşı direnci, çekilebilme, dövülebilme özelliği ve antikorozid özelliği sayılabilir. Ayrıca alaşımları çok çeşitli olup, endüstride değişik amaçlı kullanılmaktadır. Sunulan kullanım koşulları nedeniyle bakır değerli ve birim fiyatı yüksek bir metal durumundadır. Ayazmant Demir Cevheri Zenginleştirme Tesisi'nde işlenilen cevherden yan ürün olarak asgari %25 Cu tenörlü bakır konsantresi elde edilmektedir. Cevher izabe tesise girmeden satışı gerçekleşebilmektedir. Türkiye'de bakır cevheri ve bakır türevleri talebi doğrultusunda dışa bağımlı bir ülkedir; gelişmiş sanayi endüstrisine sahip ülkelerde de bakıra ihtiyaç duyulmaktadır. Ülkemizde ve sanayisi gelişmiş ülkelerde bakır ve türevlerinin ithalat miktarı, ihracat miktarından fazla olmaktadır (MTA,2019).

3 MALİYETLER

3.1 Yatırım Maliyetleri

Üretimde bir ürün elde edilinceye kadar harcanan değerlerin hepsinin toplamı maliyetleri oluşturmaktadır. Üretim ortamının oluşturulması ve sürekliliği için ilk olarak üretim başlamadan yapılan harcamalar yatırım başlığı altında anlatılacaktır. Bilfer Madencilik Turizm A.Ş.'ne ait olan Ayazmant Demir Cevheri Zenginleştirme Tesisinin açıldığı tarihinden itibaren, işletmenin ekonomik analizinin yapılması nedeniyle yatırım ücretleri tesis için geçerli 4 kalem başlıktan oluşmaktadır. Bu başlıklar sırasıyla arazi ödenen ücretler, yol ve bina inşa sürecinde harcanan ücretler, makine yatırım ücretleri ve projelendirme ücretinden oluşmaktadır.

3.2 Üretim Maliyetleri

Ayazmant Açık Ocak İşletmesi'nde sahadaki cevherin çıkartılıp işlenmek üzere tesise beslenmesi sürecindeki maliyetler maden sahasındaki üretim maliyetlerini oluşturmaktadır. Sahadaki üretim sürecinde ana maliyetler, patlayıcı ve kapsül ücretleri, yakıt tüketimi, araç bakım onarım ücretleri ve çalışan personel ücretleri olarak 4 adet başlıktan oluşmaktadır. Ayazmant Demir Cevheri Zenginleştirme Tesisi'ne beslenen tüvenan cevherin satışa hazır konsantre cevher haline geldiği süreçteki maliyetler tesisin üretim maliyetlerini oluşturmaktadır. Zenginleştirme prosesleri sürecindeki ana maliyetler, elektrik gideri, su gideri, bakım onarım ücretleri ve çalışan personel ücretleri olarak yine 4 adet başlıktan oluşmaktadır. Satışa hazır durumdaki bir cevherin ocak üretim ve tesis zenginleştirilme süreçlerindeki harcamalarının toplamı operasyon ücretini oluşturmaktadır.

4 SATIŞ VE BEKLENEN PAZARLAMA

2010 senesinden günümüze kadar olan zaman diliminde dünya piyasalarındaki ortalama demir cevheri birim fiyatı 103,5 $/ton (Garside, 2020); ortalama bakır cevheri birim fiyatı 6715, $/ton (LME, 2021) değerinde hesaplanmıştır. Firmanın bu dönemde yaptığı satışlar analiz edildiğinde demir cevheri için ortalamının 1 $/ton altında, bakır cevheri için ortalamının 28 $/ton altında bir rakamdan satışlarının gerçekleştiği sunulmaktadır. Bu doğrultuda demir cevheri için beklenen pazarlamanın yapılabildiği lakin bu durumun bakır cevheri için gerçekleştirilemediği söylenebilmektedir.

5 EKONOMİKLİLİK ANALİZİ

Firmanın geçmiş yıllarda 1 ton cevheri üretim maliyeti ortalama 9,3 $/ton, zenginleştirme maliyeti ortalama 7,6 $/ton olarak analiz edilmektedir. Zenginleştirme işlemi sonucunda elde edilen atık maliyeti ile beraber 1 ton konsantre cevherin toplam operasyon maliyeti ortalama 19 $ olarak gözükmektedir. Planlanan 5 yıllık dönem için bu rakamın ortalama 15,5 $ civarında olacağı hesaplanmaktadır. Yatırım maliyetleri, vergiler ve bütün giderler hesaba katıldığında 1 ton cevherin firmaya maliyeti ortalama 60 $, planlanan 5 yıllık dönemde ise 59 $/ton olarak hesaplanmıştır. Senelik güncel değerdeki gelir incelendiğinde, 1 ton konsantre cevherin satışından ortalama 140 $ net kâr elde edildiği, planlanan 5 yıllık dönem için ortalama 103 $/ton kâr beklentisinin olduğu hesaplanmıştır. Yan üründen zenginleştirme sonucu elde edilen bakır içerikli konsantrenin, satış birim fiyat ortalamasını artırdığı ve net kârı olumlu yönde etkilediği analiz edilmektedir.

6 SONUÇ

Bilfer Madenciliğin 2020 yılında Ayazmant bölgesindeki üretim faaliyetleri sonucunda 3 farklı kalem ürün elde edilmiş ve satışı gerçekleşmiştir. Mikronize peletlik demir cevheri, sinterlik demir cevheri ve bakır içerikli cevherlerin satışından elde edilen gelir ile firmanın kâr marjı %68,1 ve kâr oranı 2,22 olarak hesaplanmıştır. Gelecek beş yıl içinde ortalama kâr oranı azalarak 1,75 seviyesine; kâr marjı %55 oranına düşeceği planlanmıştır. Bu azalmaların nedeni üretimde cevher miktarı sabit kalırken pasa miktarının artması olarak ve demir cevheri birim fiyatlarındaki potansiyel azalma riski olarak ön görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bitirme projeme danışmanlık yapan Sn. Doç. Dr. Cüneyt Atilla Öztürk'e, staj sürecinde ve sonrasındaki görüşmelerimde çalışmalarım için her türlü yardımı esirgemeyen Bilfer Madencilik ve Turizm A.Ş. çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

Garside, M., (2020). Iron ore prices 2003-2019. https://www.statista.com/statistics/282830/iron-ore-prices-since-2003/ adresinden alındı

İçyüz, İ., H., (t. y.). Demir Cevheri ve Demir Madenciliği, 7. http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/4fda78aa8a09b4d_ek.pdf adresinden alındı

London Metal Exchange, (2021). LME Copper Historical Price Graph. https://www.lme.com/Metals/Non-ferrous/Copper#tabIndex=2 adresinden alındı

MTA Genel Müdürlüğü, (2019). 2018 Yılı maden Dış Ticareti. https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/2018-bakir-ithalati adresinden alındı

Akdağlar Taş Ocağındaki Patlatma Operayonlarının ve Patlatma Parçalanma Modellerinin Değerlendirilmesi

Evaluation of Blasting Operations and Blast Fragmentation in Akdağlar Quarry

G. Maden, T. Hüdaverdi, Ö. Akyıldız

İstanbul Technical University, Mining Engineering Department, İstanbul

ÖZET Bu tez kapsamında öncelikle Akdağlar Taş Ocağı hakkında genel bilgiler verilmiştir. Çalışma sahasının coğrafi ve jeolojik özellikleri incelenmiş, daha sonra madende yapılan delme faaliyetleri gözlemlenmiş, iki farklı atım için delme süreleri ölçülmüştür. Delme maliyetleri hesaplanmıştır. İkinci aşamada, patlatma tasarımı, arazi ölçümlerine dayanarak açıklanmıştır. Olofsson, Ash ve Jimeno yaklaşımlarına göre patlatma tasarımları hesaplanmış ve ölçülen verilerle karşılaştırılmıştır. Sonrasında yığından alınan fotoğraflar WipFrag programı yardımıyla analiz edilmiş ve patlatma yığınlarının parça boyut dağılımı belirlenmiştir. Son olarak çevresel etkilerden genel olarak bahsedilmiş ve titreşim ölçümü yapılmıştır.
Anahtar Kelimeler: WipFrag programı, taş ocağı, patlatma

ABSTRACT In this thesis, first of all, general information about Akdağlar Quarry is given. The geographical and geological features of the study area were examined, then the drilling activities in the mine were observed. Drilling duration were measured for two different operations. Drilling costs have been calculated. The detailed site measurements were performed. The theoretical blast design calculations were performed based on Olofsson, Ash and Jimeno approaches and the obtained results were compared to the actual measured data. The images taken from the muckpiles were analysed by WipFrag software and the size distribution curves were determined for each blast muckpile. Finally, environmental effects of blasting was explained and two vibration measurements were discussed.
Keywords: WipFrag software, quarry, blasting

1 INTRODUCTION

Akdağlar Mining, which is within the body of Akdağlar Group, became institutionalized in 1985 with a history of more than 85 years and became one of the leading companies in aggregate and sand production.

Akdağlar Quarry is located on Kemerburgaz-Cendere road. There are five crushed stone facilities and three concrete plants, together with the mine located in the region called the Cendere basin.

The rock type of the Akdağlar Quarry is generally light-colored and thick-layered sandstone. Sandstone is a physical sedimentary stone formed by the adhesion of sand grains with the help of a natural cement substance.

The total aggregate reserve of the Akdağlar Quarry is approximately 621 million tons.

According to current annual production capacity of 5 million tones, the life of quarry is 120 years.

Mining operations starts after removal of overburden. Drilling and blasting method is conducted for the production. Burden and spacing is applied as 2.5 x 3, 1.5 x 2.5 meters. Bench height is 7-13 m. Holes are drilled using staggared pattern.

2 DRILLING OPERATIONS

Opening the holes in the area where blasting is desired, in what order must be done with the knowledge of the mine engineer responsible for the blasting. Some of the generally specified hole patterns are square, rectangular and staggered. In Akdağlar quarry staggered drilling pattern is applies.

Frukawa HCR1200 Series II brand machine is used for drilling in quarry. 89 mm diameter diamond bits are used in drilling. Generally after 5000 m drilling, drill bits are replaced.

2.1 Drilling Operation Measurements

Performance of the drilling machine is measured for two different blasts. Drilling performance tables are created.

In first drilling operation measurement, average rod drilling duration is 17.85 minutes, average rod adding duration is 22.52 seconds and the average drilling duration of a hole is 3.48 minutes.

In second drilling operation measurement, the average rod drilling duration is 15.55 minutes, average rod adding duration is 21.96 seconds and the average drilling duration of a hole is 3.06 minutes.

2.2 Drilling Cost

In this section, oil consumption, grease consumption, drill bit cost, labor cost and total drilling cost are calculated.

3 BLASTING OPERATIONS

In quarry, ANFO, emulsion expsosive, delayed detonators and NONEL system with miliseconds are used because of the reducing to reduce environmental effects of blasting such as vibration and rock fragmentation problems.

3.1 Investgated Blast in Akdağlar Quarry

In first blasting observation, 16 holes are drilled and filled by explosives. The delay between holes is 25 ms. Total weight of Anfo is 800 kg. Total weight of primer explosive is 16 kg. Holes are drilled with vertical. Blast pattern is 2.4 x 3.2 meters. In Figure 3.1 initiation pattern of blast is given.

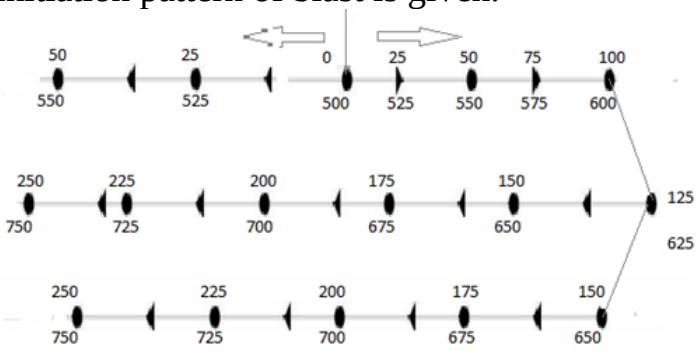


Figure 3.1 Initiation Pattern of Blast

3.2 Fragmentation Analys of Akdağlar Quarry

In this thesis, WipFrag program has been used. The images taken from muckpile were subjected to enrichment and sharpening process to make the rock particles more visible. After this process, the program identifies rock particles by a special algorithm. Multiple images are processed for each observed blast. The particle size distribution graphics obtained are combined in computer environment and a single size distribution curve is obtained. In Figure 3.2, processed fragments by WipFrag software for the blast and in Figure 3.3, particle size distribution of blast are given.

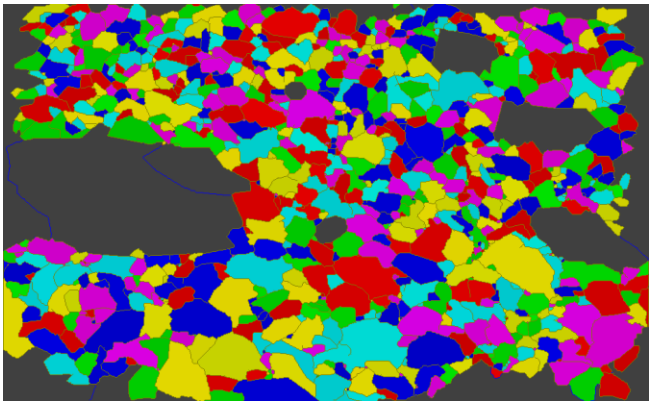


Figure 3.2 Processed fragments by Wipfrag software for the blast **(WipFrag 2.6 Manual, 2007).**

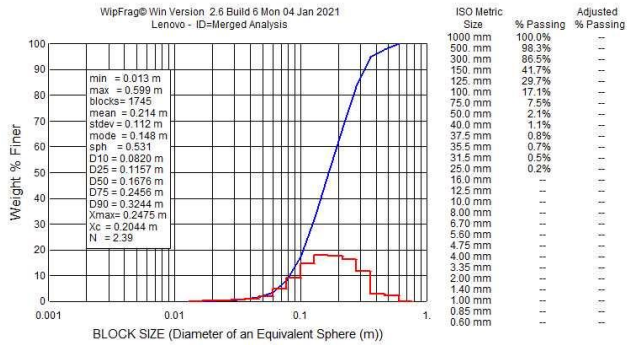


Figure 3.3 Particle size distribution of the blast (WipFrag 2.6 Manual, 2007).

1745 particles are counted and measured by WipFrag program. Average particle size d (50) is 16.76 cm. Uniformity index (n), which is slope of the curve is 2.39. Characteristic size (Xc) is 20.44 cm. Maximum particle size Xmax is 24.75 cm.

3.3 Comporison of Applied Blast Design and Theoretical Calculations

There are basic parameters affect designing of open pit mines. There might be some specific applications on calculating about some principles. Three different approaches are investigated in this thesis. First one is North European Olofsson approach, second one is North American Ash approach and the third one is European Spain Jimeno approaches.

4 ENVIRONMENTAL ADVERSE EFFECTS OF BLASTING

The main environmental adverse effects of blasting are ground vibration, flyrock and airblast.

4.1 Ground And Air Vibration

Ground vibration is an important concern especially for urban quarries. Ground vibration caused by blasting because of the similarities with earthquake waves can cause damage to surrounding structures and buildings.

In this thesis, vibration is measured with two devices. Device 1 which is used in measurement is shown in Figure 4.1. Vibration measurement result is given in Figure 4.2.

Figure 4.1. Vibration Device

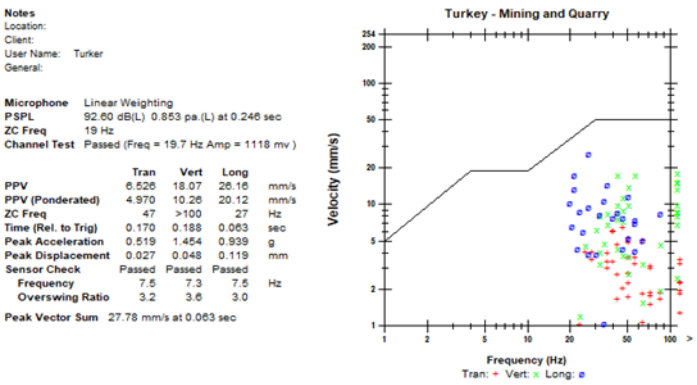


Figure 4.2 Vibration Measurement

4.2 Flyrock

Normally, the energy released after blasting has two beneficial components. These are a shock wave applied to the rock at the moment of explosion and the thrust force of high pressure gases that are released as a result of

the explosion and allow the cracks to expand by filling the formed cracks. In addition to the beneficial effects of these high pressure gases such as the displacement of the rock, a negative effect such as rock ejection may occur.

4.3 Airblast

Airblast damage is directly related with blast design, human response, weather conditions. However, the blast can be cause structural damage at about 180 dB or greater. In atmospheric conditions, this is not possible for routine blasting activies. Generally, when the windows are exposed air blast, they are most likely to suffer damage because of that they are the weakest parts of a structure. Over the 150 dB air overpressure values could be affect the windows and other weak structures (Bhandari, 1997).

5 CONCLUSION

In this study, drilling and blasting operations in Akdağlar Quarry have been investigated in detail. Blast fragmentation was evaluated by image analysis software. Drilling and blasting costs were calculated. Performances of the drilling machines are measured for two blasts. Drilling duration is measured as 17.85 minutes per hole for drilling operation 1 and 15.55 minutes per hole for drilling operation 2. Total drilling cost calculated. Theoretical parameters were calculated based on Olofsson's, Ash's and Jimeno's approach. Blast design widely depends on site parameters. ANFO is used in blasting operations because of all of holes are dry. A detailed cost calculation was performed for blasting operations.

TEŞEKKÜR

Öncelikle çalışmalarım sırasındaki destekleri nedeniyle tez danışmanım Sayın Doç. Dr Türker HÜDAVERDİ' ye, yardımlarını esirgemeyen Araş. Gör. Özge AKYILDIZ' a ve üzerimde emeği bulunan bütün hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

REFERENCES

Bhandari, S., 1997. *Engineering Rock Blasting Operations*, A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 65-76, 185-206.

WipFrag 2.6 Manual, 2007. Wipware Inc., Ontario, Canada.

Gebze Darıca Metrosu Mutlukent Mevkii Tünel Tahkimat Sistemleri Analizi

Gebze Darca Metro Project Tunnel Support Systems Analysis In Mutlukent

B. Özek, H. Tunçdemir
*İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

ÖZET Bitirme çalışmasında Ove Arup & Partners International Ltd. – Arup Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti. Gebze Darıca İş Ortaklığı tarafından Kocaeli İli, Gebze-Darıca arasında yapılmakta olan metro projesinde Mutlukent mevkiinde NATM ile kazısı devam eden tünellerin tahkimat sistemleri incelenmiştir. Çalışma yöntemi olarak kullanılan NATM'de kazı ve tahkimat sistemleri döngüler halinde ilerlemektedir. İncelenen bölgede döngü ilk olarak kazı, ilerlenen bölgeye ve zemin yapılarına göre çelik veya kafes iksa imalatı, çelik hasır imalatı, püskürtme beton ve bulon imalatından oluşmaktadır. Tüm süreçler kaydedilip incelenmiştir. İncelemelerle bölgenin jeolojisinde yapılan metro kazısında projede tahkimat içi ve tahkimat dışı işlemlerin ne kadar süre aldığı, bunun sebepleri, bekleme sürelerinin sebepleri ve daha iyi hale getirmek için öneriler işaret edilmiştir.

ABSTRACT In this thesis, Gebze Darıca Metro Project metro doing by Ove Arup & Partners International Ltd.- Arup Engineering and Consulting Ltd. Şti in Ove Arup & Partners International Ltd. - Arup Engineering and Consulting Ltd. Şti. bussiness partnership in Kocaeli Mutlukent location New Austrian Tunneling Method has investigated. In the New Austrian Method, which is used as a method of operation, excavation and support systems proceed in cycles. The cycle in the studied area consists primarily of excavation, manufacturing of lattice girders, steel mesh, shotcrete and arching. All processes are recorded and analyzed. In the subway excavation carried out in the geology of the region with the investigations, the duration of the internal and non-fortification operations in the project, the reasons for this, the reasons for the waiting times and suggestions for improvement were indicated.

Keywords: Tunneling, NATM, Supporting

1 GİRİŞ

1.1 Genel Bilgiler

Bu çalışmada Marmara bölgesinde bulunan Kocaeli ilinde Ove Arup & Partners International Ltd. – Arup Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti. Gebze Darıca İş Ortaklığı tarafından Kocaeli belediyesince planlanmış olup şu anda Ulaştırma Bakanlığına bağlı olarak çalışılan Gebze – Darıca metro hattında tahkimat sistemleri incelenmiştir. Bu hususta Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu ile kazısı yapılan Mutlukent istasyonunda 21.09.2020 – 02.10.2020 tarihleri arasında Hat 1 ve Hat 2 tünellerinde gözlemler yapılmıştır.

Bölgede inceleme yapılan tarihlerde A2 tip tünel türünde ilerleme yapılmaktadır. Tahkimat için kullanılan ekipmanlar; çelik iksa, kafes iksa, püskürtme beton, kaya bulonu ve çelik hasırdır. Döngüler halinde ilerleyen kazılarda her bir işlemin 4 aynada aldığı süreler işletmeden alınmış ve Microsoft excell programı ile tablolar ve grafikler oluşturularak analiz edilmiştir.

1.2 Proje Yeri

Gebze-Darıca hattında yapılması planlanan metro hattı toplam 12 istasyon, 1 portal giriş ve depodan oluşmaktadır. İstasyon ve yapılar Darıca Sahil, Portal Giriş, Darıca Meydan, Farabi, Adnan Menderes, TCDD, Fatih Hastanesi, Gebze Kent Meydanı, Stadyum, Akse Sapağı, Adliye, Mutlukent, Organize Sanayi ve Depo olarak sıralanmaktadır. Çalışmada Mutlukent istasyonu incelenmiştir.

1.3 Jeololojik Yapı

İnceleme alanı 1/50 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası İstanbul Paftası içinde yer almaktadır. Kocaeli Marmara bölgesinde Kocaeli ve Armutlu yarımadaları üzerinde kurulmuş bir yerleşim alanıdır. Şekil 1.4de görüldüğü üzere Kocaeli ili Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde, kuzey ve güneyindeki iki farklı tektonik birliğe ait litolojik birimlerin dahil olduğu bir alandadır.

Önal ve Baksı (2017) bölge hakkında "İnceleme alanı Deprem Yönetmeliklerinde Birinci (I) derece deprem bölgesi olarak tanımlanmıştır. Sürekli yıkıcı deprem tehdidi altında bulunan bölgede, planlama ve uygulama aşamasında yerel zemin özelliklerinin iyi değerlendirilmesi gerekmektedir." demiştir.

Yapılan sondajlar sonucunda bölgede kumtaşı ve granitik birimler tespit edilmiştir.Hesaplara göre kumtaşı birimler GSI değerleri 23-64 aralığında bulunmaktadır, granitik birimler ise 43-48 aralığındadır (Önal ve Baksı, 2017).

2 TÜNELLERDE UYGULANAN YÖNTEMLER

Tünelcilikte tarih boyunca büyük şehirlerde yapılan tünel inşaatlarında kazaları minimuma indirmek ve inşaatlara hız kazandırmak için yeni yöntemler aranmıştır.

2.1 Klasik Yöntemler

Klasik töntemler olarak adlandırılan Alman, Avusturya, Belçika, İngiliz ve İtalyan metodları 19. Yüzyılın ortalarına kadar yaygın olarak kullanılmıştır (Tonon, 2010). Kazılar sıralı bir şekilde aynanın üstünden en alta doğru parçalar halinde yapılır ve kerestelerle desteklenir.

2.2 Modern Yöntemler

Gelişen teknoloji beraberinde yeni tünel açma metodlarına olanak sağlamıştır. Bunlar; del patlat, TBM, aç kapa ve boru itme yöntemleridir.

2.2.1 Boru itme yöntemi

Metod en basit formuyla güçlendirilmiş monolitik beton kutuların kırılan yüzeye hidrolik kaldıraçlarlar yardımıyla itilmesiyle yapılır. Yüzeydeki karayolları ve demiryolları gibi yapıların zarar görmemesi açısından adım boylarını kısa tutmak gerekir.

2.2.2 Aç kapa yöntemi

Bu yöntemle raylı sistemlerin işletme yapısı yapıldığı gibi, genellikle metro tünellerinin güzergâh itibariyle ana yolların altından geçirilebildiği yüzeye yakın kısımlarında, yer altı geçitlerinin inşası gibi yerlerde de kullanılır. Önce yapı yapılacak bölgede kazı yapılır. Bu arada toprak zemin

farklı yöntemlerle desteklenir. Yapının inşasından sonra üzerinin örtülmesi basit ve ekonomik bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (Öztürk ve Durmuş, 2008)

2.2.3 TBM

Dev köstebek olarak da bilinen TBM yeni ve mekanize bir sistem olup Tüneli dairesel şekilde kazarak ilerleme yapan bir makinadır. Ön tarafındaki kesici disklerle kazıyı yapar, ilerleme aralıksızdır ve pürüzsüze yakın bir yüzey sunar.

2.2.4 Yeni Avusturya tünel açma yöntemi

Günümüzde dünyada ve Türkiye'de yaygın olarak kullanılan Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu ilk olarak 1957 ve 1965 yılları arasında Leopold Müller, Franz Pacher ve Ladislaus von Rabcewicz tarafından Avusturyada geliştirilmiştir. Yöntemin ana amacı kazı yapılan kısımda oluşacak deformasyonların bir kısmının ana kayaya taşıttırılmasıdır

Prof. Dr. Rabcewicz'in tanımıyla Yeni Avusturya tünel açma metodu ince bir püskürtme beton ile kullanılan yeni bir metod olup, mümkün olan en kısa zamanda invert kaplanarak bir halka oluşturulması ve denge sağlanana kadar deformasyonların ölçülmesidir (Rabcewicz, 1964).

3 İNCELEME ALANINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.1 Tahkimat Süreleri Analizleri

Bu kısımda tünelde tahkimat sürelerinin tahkimat dışı sürelere oranlanarak çalışılan sürelerin ne kadarının tahkimata harcandığına dair bilgi edinilmiştir

3.1.1 Mutlukent İstasyonu Hat 1 Geri Aynası

Gebze Darıca Metrosu Mutlukent istasyonunda hat 1 geri aynasında yapılan analizler sonucu 12 günlük ortalamada Tahkimat işlemlerine ayrılan süreler tahkimat dışı sistemlere ayrılan sürelere oranlanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Hat 2 Geri tahkimat analiz tablosu

Hat 1 Geri			
Tarih	Tahkimat İçi Süreler (Dakika)	Kazı İşlemleri Süreleri (Dakika)	Bekleme süreleri (Dakika)
17.09.2020	380	455	605
18.09.2020	350	390	700
19.09.2020	285	695	460
20.09.2020	475	555	410
21.09.2020	465	585	390
22.09.2020	745	525	170
23.09.2020	565	490	385
24.09.2020	525	770	145
25.09.2020	220	305	915
26.09.2020	465	505	470
28.09.2020	425	435	580
29.09.2020	485	345	610
12 Gün Ort.	448,75	504,58	486,67
Oran	31,16%	35,04%	33,80%

3.1.2 Mutlukent İstasyonu Hat 2 Geri Aynası

Gebze Darıca Metrosu Mutlukent istasyonunda hat 2 geri aynasında yapılan analizler sonucu 12 günlük ortalamada Tahkimat işlemlerine ayrılan süreler tahkimat dışı sistemlere ayrılan sürelere oranlanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Hat 2 Geri tahkimat analiz tablosu

Hat 2 Geri			
Tarih	Tahkimat İçi Süreler (Dakika)	Kazı İşlemleri Süreleri (Dakika)	Bekleme süreleri (Dakika)
17.09.2020	570	540	330
18.09.2020	305	885	250
19.09.2020	335	470	635
20.09.2020	635	655	150
21.09.2020	640	505	295
22.09.2020	705	590	145
23.09.2020	380	395	665
24.09.2020	590	530	320
25.09.2020	275	710	455
26.09.2020	575	575	290
28.09.2020	340	625	475
29.09.2020	370	210	860
12 Gün Ort.	476,67	557,50	405,83
Oran	33,10%	38,72%	28,18%

3.1.3 Mutlukent İstasyonu Hat 1 İleri Aynası

Gebze Darıca Metrosu Mutlukent istasyonunda hat 1 ileri aynasında yapılan analizler sonucu 12 günlük ortalamada Tahkimat işlemlerine ayrılan süreler tahkimat dışı sistemlere ayrılan sürelere oranlanmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Hat 1 İleri tahkimat analiz tablosu

	Hat 1 İleri		
Tarih	Tahkimat İçi Süreler (Dakika)	Kazı İşlemleri Süreleri (Dakika)	Bekleme süreleri (Dakika)
17.09.2020	285	370	785
18.09.2020	430	360	650
19.09.2020	270	700	470
20.09.2020	355	320	765
21.09.2020	580	510	350
22.09.2020	450	550	440
23.09.2020	235	600	605
24.09.2020	245	960	235
25.09.2020	90	210	1140
26.09.2020	0	1100	340
28.09.2020	210	780	450
29.09.2020	400	695	345
12 Gün Ort.	295,83	596,25	547,92
Oran	20,54%	41,41%	38,05%

3.1.4 Mutlukent İstasyonu Hat 2 İleri Aynası

Gebze Darıca Metrosu Mutlukent istasyonunda hat 2 ileri aynasında yapılan analizler sonucu 12 günlük ortalamada Tahkimat işlemlerine ayrılan süreler tahkimat dışı sistemlere ayrılan sürelere oranlanmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. Hat 2 İleri tahkimat analiz tablosu

	Hat 2 İleri		
Tarih	Tahkimat İçi Süreler (Dakika)	Kazı İşlemleri Süreleri (Dakika)	Bekleme süreleri (Dakika)
17.09.2020	210	620	610
18.09.2020	410	630	400
19.09.2020	390	365	685
20.09.2020	205	1110	125
21.09.2020	240	870	330
22.09.2020	150	940	350
23.09.2020	355	540	545
24.09.2020	0	840	600
25.09.2020	260	510	670
26.09.2020	530	360	550
28.09.2020	365	360	715
29.09.2020	420	600	420
12 Gün Ort.	294,58	645,42	500,00
Oran	20,46%	44,82%	34,72%

4 SONUÇLAR

1. İşletmede tahkimat işlemleri toplam zamanın %26,32'sine denk gelmektedir.
2. Kazı sağlam bir zeminde gerçekleşmektedir.
3. Mikser bekleme toplam sürenin %9,70'ini kapsamaktadır. İşletmenin mikser alması sayesinde tahkimat dışı süreler azalabilir.

TEŞEKKÜR

Tezin yazımında desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Hakan TUNÇDEMİR'e ve işletme verilerini tarafımla paylaşan EZE İnşaat A.Ş.'ye en içten teşekkürlerimi sunarım

KAYNAKLAR

Önal, F. O., & Baksı, B. Ö. (2017). *Gebze-darıca metro projesine yönelik zemin etüd çalışmaları durum raporu.* Zemin etüd ve tasarım a.ş.

Öztürk, H., & Durmuş, A. (2008). Tünellere Toplu Bir Bakış ve Savunma Tünellerinin Türkiye İçin Önemi. *İstanbul Bülten*.

Rabcewicz, L. (1964). The New Austrian Tunneling Method. *Water Power*, 453-457.

Tonon, F. (2010). Sequential excavation, NATM and ADECO: What they have in common. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 245-265.

Eti Bakır A.Ş. Kastamonu Küre Yeraltı Bakır Madeninin Tahkimat Sistemlerinin Etüdü

Eti Bakir A.S. Kastamonu Kure Underground Copper Mine Support Systems Research

E.H. Karataş, H. Tunçdemir
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Madencilik sektörü iş sağlığı ve güvenliği bakımından en riskli sektörlerden biridir. Yeraltı maden işletmelerinde güvenli bir çalışma ortamı ve verimli bir üretim için yeraltı boşluklarının tahkimatı en önemli unsurlardan biridir. Ülkemiz metal madenciliğinde önemli bir yere sahip olan bakır cevherinin üretimi ETİ Bakır A.Ş. Küre işletmesinde yeraltı madenciliğinin ara katlı geri dolgulu üretim yöntemi ile yapılmaktadır. Bu bitirme tezinde ETİ Bakır A.Ş. Küre işletmesinde kullanılmakta olan tahkimat sistemleri ve bu sistemlerin tasarlanmasında kullanılan kaya sınıflandırma sistemleri incelenmiştir. İşletmeden alınan numuneler üzerinde yapılmış Tek Eksenli Basınç Dayanımı ve Penetrasyon deneylerinin sonuçları analiz edilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Bakır, Yeraltı Madenciliği, Tahkimat

ABSTRACT The mining industry is one of the most hazardous sectors in terms of occupational health and safety. The support of underground cavities is one of the most important elements for a safe working environment and efficient production in underground mining operations. Production of copper ore, which holds a significant place in metal mining in our country, is carried out by sublevel stopping with backfill method of underground mining at ETI Bakir A.S. Kure. In this thesis, the support systems used in the ETI Bakir A.S. Kure plant and the rock classification systems used in the design of these systems were examined. The results of the Uniaxial Compressive Strength and Penetration tests carried out on the samples taken from the plant were analyzed.
Keywords: Copper, Underground Mining, Support Systems

1 GİRİŞ

Yeraltı madenciliğinde hazırlık ve üretim işleri için açılan galerilerde güvenli ve verimli bir çalışma için tahkimat sistemleri oldukça önemlidir. Tüm yeraltı işletmelerinde malzemenin kayma ve düşmelerini engellemek için kaya kütlelerine uygun ve yeterli tahkimat yapılmalıdır. Maden işletme maliyetlerinde önemli bir yeri olan tahkimat sistemleri kaya kütlelerinin yapısal özelliklerine, uygulamasının zorluk ve kolaylığına, kullanılacak iş gücüne, galerinin kullanım amacına ve ekonomik etkenlere göre seçilmektedir.

Bu tezde, Şekil 1.1'de yer bulduru haritası bulunan Türkiye'nin batı Karadeniz bölgesindeki Kastamonu ilinin Küre ilçesindeki ETİ Bakır A.Ş.'nin yeraltı bakır madeninin tahkimat sistemleri, bu sistemlerin belirlenmesini sağlayan kaya sınıflandırma sistemleri ve yapılan bazı deneyler incelenmiştir.

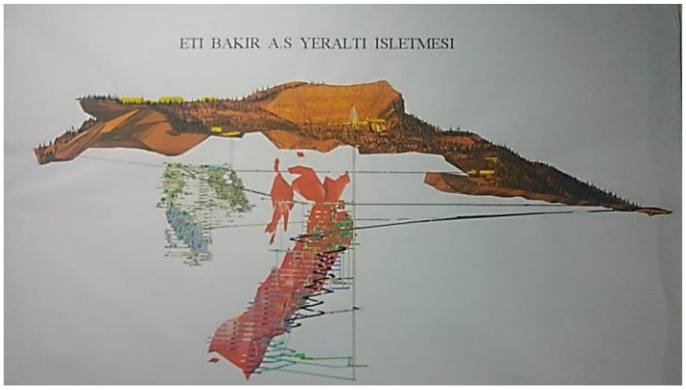
Şekil 1.1. Küre Yer Bulduru Haritası

1.1 Cevher ve Gang mineralleri

Küre Mağaradoruk masif sülfid yatağında başlıca pirit, kalkopirit, daha az oranda markasit, sfalerit, kovellin, neodijenit, malakit, azurit, fahlerz, çok az oranda bravoit, lineyit-karolit, limonit, hematit, manyetit ve eser olarak kalkosin, kuprit, tenorit, pirotin, valleriyit, bornit, galenit, nabit bakır, nabit altın, kromit, rutil ve anatas izlenmektedir. Başlıca gang mineralleri ise kuvars, siderit-ankerit, kalsit, dolomit ve klorittir.

1.2 Üretim Yöntemi

ETİ Bakır A.Ş. Küre işletmesinde yapılan sondajlar ve bu sondajların analizi sonucunda, cevherin yapısı, eğimi ve konumuna uygun olarak ara katlı geri dolgulu üretim yöntemi seçilmiştir. Seçilen üretim yöntemi işletmenin neredeyse maksimum seviyede üretim yapmasını sağlamaktadır. İşletmenin üretim planı Şekil 1.2'de gösterilmektedir.



Şekil 1.2. ETİ Bakır Küre Yeraltı İşletme Planı

2 KAYA SINIFLANDIRMA SİSTEMLERİ

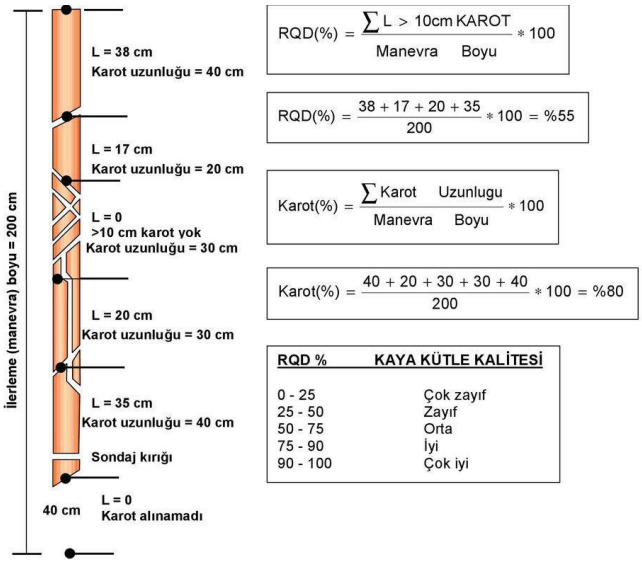
Kaya kütlesi karakterizasyonu ve sınıflandırması, tahmini kaya kütlesi özelliklerini doğru bir şekilde iletmek için bir araçtır ve ayrıntılı mühendislik tasarım prosedürlerine bir alternatif olarak alınmamalıdır (Bienawski, 1993). Farklı kaya sınıflama sistemleri farklı parametrelere değişik oranlarda önem verdiği ve kaya kütlesi sınıflama sistemlerinin aslında zemin hakkında önemli olacak pek çok bilginin bilinmemesi nedeni ile geliştirildiği düşünüldüğünde birden çok kütle sınıflama sisteminin dikkate alınması gerektiği söylenmelidir. Kaya sınıflandırma sistemleri, birden fazla parametre içermekte ve uygun tahkimat sistemlerini belirlemekte yardımcı olmaktadır.

2.1 Terzaghi'nin Kaya Kütlesi Sınıflandırması

İlk kaya kaya kütlesi sınıflandırma sistemi Terzaghi (1946) tarafından önerilen kaya yükü sınıflandırması (Rock Load Classification)'dır. Terzaghi'nin kaya kütleleri için sınıflandırmaları şöyle sıralanmaktadır (Terzaghi, 1946): sağlam kayalar, tabakalı kayalar, orta derecede eklemli kayalar, blok ve damarlı kayalar, ezilmiş kaya, sıkışan kayalar, şişen kayalar.

2.2 Kaya Kalitesi Belirleme Endeksi (RQD)

Deere (1967) tarafından literatüre kazandırılan Kaya Kalitesi Belirleme Endeksi (RQD) sondaj karotlarının süreksizliklerine bağlı olarak geliştirilen nicel bir kaya kütlesi sınıflandırma sistemidir. RQD değerinin belirlenmesine ilişkin görsel Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Kaya Kalitesi Belirleme Endeksi (RQD)

2.3 Kaya Yapısı Puanı (RSR)

Wickham ve arkadaşları tarafından 1972 yılında, tahkimat tasarımına yönelik önerilmiş nicel bir sınıflama sistemidir. RSR sistemi jeoloji, geometri ve yeraltı suları ile

eklem durumu olmak üzere üç parametrenin puan değerlerinin toplamından elde edilmektedir.

2.4 Kaya Kütlesi Puanı (RMR)

Bienawski'nin (1973) ortaya koyulan Kaya Kütlesi Puanı sistemi, altı farklı değişkenin değerlendirilmesiyle elde edilmektedir. Bu değişkenler sahada ölçülebilen veya sondaj verilerinden elde edilebilecek parametrelerdir. RMR puanına göre kaya kütlesinin tanımı Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. RMR değerine göre kaya kütlesi tanımı

Kaya Kütlesi Sınıf No.	I	II	III	IV	V
Kaya kütlesinin tanımı	Çok iyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok zayıf
RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0
q (ton/m^2)	600-440	440-280	280-135	135-45	45-30

2.5 Kaya Tünelcilik Endeksi (Q)

Tünelcilik Kalitesi Endeksi (Q), kaya kütlesi özelliklerinin ve tünel destek gereksinimlerinin belirlenmesi için Norveç'teki Norveç Jeoteknik Enstitüsü'nde 1974'te Barton, Lien ve Lunde tarafından geliştirilmiştir. Q derecelendirmesi, üç bölüm halinde gruplanmış altı parametreye değerler atanarak geliştirilmiştir (Singh ve Geol, 1999).

3 BÖLGENİN JEOTEKNİK İNCELEMELERİ

3.1 Tek Eksenli Basınç Dayanımı (UCS)

İşletmenin tahkimat tasarımının incelenmesi için cevher ve yan kayaç numuneleri üzerinde yapılan UCS testi sonucunda, masif cevherin basınç dayanımı ortalama 36,12 MPa olarak hesaplanırken yan kayaç bazaltın 67,57 MPa olarak hesaplanmıştır. Deney sonuçları Tablo 3.1'de gösterilmektedir.

Tablo 3.1. UCS deney sonuçları

Numune No	Açıklama	Çap (mm)	Boy (mm)	Kırılma Kuvveti (kN)	Karot Kesit Alanı (mm^2)	Basınç Dayanımı (Mpa)	Ort. (Mpa)
1	masif cevher	47,50	94,00	76,100	1772,055	42,945	
2	masif cevher	47,50	97,00	41,300	1772,055	23,306	**36,121**
3	masif cevher	47,50	94,00	71,100	1772,055	40,123	
4	masif cevher	63,00	132,50	118,800	3117,245	38,111	
5	bazalt	51,50	114,50	92,200	2083,072	44,262	
6	bazalt	51,50	112,00	189,300	2083,072	90,875	**67,568**
7	bireşik bazalt	84,50	139,00	200,700	5607,939	35,789	**35,789**

3.2 Penetrasyon Dayanımı

Çivi penetrasyon deneyi minimum numune hazırlığı gerektiren, oldukça zayıf kayalardan oldukça sert kayalara kadar uygulanabilen, hızlı sonuç alabilme üzerine tasarlanmış, tahribatsız bir testtir. Püskürtme beton numuneleri üzerinde 30, 60, 90 ve 120 dakika süreleri ile çivi penetrasyon testi yapılarak penetrasyon dayanımlarının ortalama değerleri hesaplanmıştır.

4 ETİ BAKIR A.Ş. KÜRE YERALTI İŞLETMESİ TAHKİMAT TASARIMI

İşletmeden elde edilen veriler ve deney sonuçları ile ocağın RQD, RSR, RMR ve Q değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen değerlere göre kaya sınıflandırma sistemlerinin önerdiği tahkimat önerileri incelenmiş ve oluşturulan tahkimat tasarımı analiz edilmiştir. İşletmede tahkimat sistemi olarak kullanılan püskürtme beton, çelik hasır ve kaya saplamaları detaylıca incelenmiştir ve uygulama esasları açıklanmıştır. Bu tahkimat elemanlarının kullanılacağı galeriler, uygulanma sıraları ve dayanma süreleri verilmiştir.

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez konumu belirlememde yardımcı olup, hazırlama sürecimde hiçbir adımda yardımını esirgemeyen, her sorumu içtenlikle yanıtlayan tez danışmanım Sn. Doç. Dr. Hakan TUNÇDEMİR'e desteği ve yardımları için teşekkür ederim. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesine katkı sağlayan, ilgisini esirgemeyen Sn. Ali EROL'a ve ETİ Bakır A.Ş.'ye yardımları ve ilgilerinden dolayı teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Bieniawski, Z. T. (1993). Classification of rock masses for engineering: the RMR system and future trends. In *Rock Testing and Site Characterization* (pp. 553-573). Pergamon.

Deere, D. U. (1964). Technical description of rock cores for engineering purpose. *Rock Mechanics and Engineering Geology*, *1*(1), 17-22.

Singh, B., & Goel, R. K. (1999). *Rock mass classification: a practical approach in civil engineering* (Vol. 46). Elsevier.

Terzaghi, K. (1946). Rock defects and loads on tunnel supports. *Rock tunnelling with steel supports*.

Yeraltı Madenciliğinde Dolgu Betonun Yeraltına Naklinin Alternatiflerinin Araştırılması

Investigation of Alternatives for Transferring Filled Concrete to Underground in Underground Mining

G. İşlek
İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

C.A. Öztürk
İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

İ. Gerdemeli
İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu bitirme çalışması, Eczacıbaşı ESAN Şirketine ait Balıkesir ilinin Balya beldesinde bulunan, kurşun ve çinko üretimi yapılan Esan Balya İşletmesi'nde yapılmıştır. Çalışma kapsamında üretim işlemleri ve madencilik faaliyetleri incelenmiş, dolgu yöntemi hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Endüstride kullanımı yaygın olan nakil sistemleri incelenmiş ve dolgu malzemesinin yeraltına nakliyle alakalı optimum sonuç verecek sistem tespit edilmiştir. Ayrıca uygun bulunan nakliye yöntemine göre de dolgu reçetesi önerileri sunulmuş ve muhtemel reçeteyle nakil hattıyla ilgili hesaplar çıkarılmıştır. Çıkarılan sonuçların incelenmesi ve madencilik faaliyetlerine göre değerlendirilmesi çalışmaları yapılmıştır.

Kapsam: Madenlerde nakil, hidrolik nakil, boru hattı hesapları, çimento katkılı doldu malzemesi, dolgu reçetesi hazırlanması.

ABSTRACT This thesis was carried out in Esan Balya İşletmesi, which is located in Balya town of Balıkesir, owned by Eczacıbaşı ESAN Company, where lead and zinc production is carried out. Within the scope of the study, production processes and mining activities were examined and detailed information was given about the filling method. Transport systems, which are widely used in the industry, were examined and the system that would yield optimum results for the underground transport of the filling material was determined. In addition, recommendations for filling prescriptions were made according to the transportation method deemed appropriate and calculations related to the possible prescription and the transfer line were made. Studies have been carried out to examine the results and evaluate them according to mining activities.

1 GİRİŞ VE GENEL BİLGİLER

1.1 ESAN'a Ait Madencilik Faaliyetleri

Eczacıbaşı topluluğunun seramik fabrikalarının hammadde ihtiyacını karşılamak amacı ile 1978 yılında kurulan, 2500'ün üzerinde istihdam hacmi yaratan Esan 40 ocak ile faaliyette olup bu ocaklardan çıkarılan madenler Bilecik, Çanakkale, Aydın, Muğla, Balıkesir, Eskişehir ve Konya'da bulunan 8 tesiste işlenmektedir. Bugün 150'den fazla ürünüyle başta seramik sanayi olmak üzere, kaynak elektrot, cam, refrakter, emaye, abrasiv, boya, plastik ve kompoze taş sektörlerine hizmet sunmaktadır. Balya Yeraltı maden ocağı, maden zenginleştirme tesisi, atık depolama sahası ve diğer madencilik faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Yeraltı maden ocağında 2.372.500 ton/yıl (maksimum kapasite) tüvenan cevher üretimi gerçekleştirilmekte ve 182.500-365.000 ton/yıl arasında konsantre cevherler (Kurşun, Çinko, Bakır) üretilmektedir. maden zenginleştirme tesisinde 5 adet değirmen ile

toplam 6.500 ton/gün cevher işlenebilmektedir.

Bölgenin Coğrafi Bilgileri

Balıkesir ilinin 50 km kuzeybatısında, İstanbul'un 420 km güneyinde yer alan Balya Kurşun-Çinko Ocağı'nda karasal iklim hakim olup yazları sıcak ve kurak, kışları sert ve yağışlı geçer.

Bölgenin Jeolojisi

Balya yöresinde, yabancı bloklar oluşturan permiyen yaşlı kireçtaşı, triyas yaşlı miltaşı-kumtaşı-çakıltaşı ardalanması ve tersiyer yaşlı volkanitlerden kurulu bir jeoloji yapısı bulunmaktadır. Volkanik etkinliklerin KD-GB doğrultusunda uzanan faylarla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bu kaya istifi Kırmızı Tepe'den geçen KD-GB uzanımlı "Büyük Fay" ile kesilmektedir. Düşeye yakın duruşlu bu fayın cevherleşmeyi de yönlendirdiği düşünülmektedir.

Cevherleşme düzensiz şekillidir. Boyutları henüz sınırlandırılamamıştır. Galenit, sfalerit ve pirit yatağın esas cevheri olup galenite bağlı olarak gümüş ve sfalerite bağlı olarak da kadmiyum içermektedir. Derinlere doğru genellikle yatakta, çinko oranı yükselmekte, kurşun oranı azalmaktadır.

2 ÜRETİM YÖNTEMİ

Eczacıbaşı Balya Kurşun-Çinko Yeraltı İşletmesi'nde kullanılan üretim yöntemi kes doldur yöntemi olarak bilinmektedir Üretim katlarındaki kesişim katları, ana galeriden ayrıldıktan sonra doğu ve batı olarak ikiye ayrılarak ilerlerler. Her bir üretim katında cevherin durumuna göre bir veya birden çok ayna bulunmaktadır. Üretim galerilerinin kesitleri 5x5 metre 5x4 metre civarında olup 25 m2, 20 m2 arasında değişmektedir. Üretim katlarındaki cevher delme patlatma işleminden sonra kamyonlar yardımıyla stok sahasına götürülür. Cevher alındıktan sonra tarama işlemi yapılarak ayna tekrar patlatılmaya uygun hale getirilerek döngü devam ettirilir. Üretim katında ekonomik cevher kalmadığı takdirde beton tesisinden kamyonlarla getirilen dolgu malzemesi ile kat kapatılır.

3. YERALTI MADENİNE AİT TEKNİK BİLGİLER

Eczacıbaşı Esan Kurşun – Çinko İşletmesi'nde ana nakliyat galerisi ve üretim galerileri sürülürken çeşitli kaya formasyonları geçilmektedir. İşletmede kazı işlemleri delme-patlatma yöntemi ile yapılmaktadır. Yeraltı işletmesinde Tahkimat tasarımları, açıklığın geometrisi ve kullanım amacına, ortamın jeoteknik özelliklerine ve ortamdaki gerilme ve fay koşullarına göre ayrı ayrı hesaplanarak; püskürtme beton, kaya saplamaları (Split set ve Mai-bolt) ve çelik hasır olarak gruplandırılabilir. İşletmede ana rampa, rekuplar, üretim galerileri, sığınma istasyonları, sondaj galerileri ve diğer bütün ceplerde püskürtme beton uygulanmaktadır.

Yeraltı İşletmesi'nde 2 hava girişi ve 2 hava çıkış bulunmaktadır. Üretim galerilerinin uzunluğu, yönelimi, çalışan ekipman sayıları düşünülerek her kat başına tali fan bağlantısı yapılır. ,

Esan Balya İşletmesi'nde su havuzlarında ve üretim sırasında oluşan birikmeler için santrifüjlü ve dalgıç pompalar kullanılmaktadır.

Balya, Çan ve Kavaklı Rüzgâr Enerji Santrali'nden 154 kW gerilimle beslenmektedir. Şalt sahalarında trafolar aracılığıyla elektrik alçaltılıp yükseltilerek istenilen iletim seviyesine getirilir. Şalt sahasında olası kısa devre veya meydana gelen aşırı akımlara müdahale edilmesi için devre kesiciler kullanılır.

4 DOLGU MALZEMESİ

4.1 Mevcut Dolgu ve Nakliyat Sistemi

Üretim yöntemi nedeniyle Yeraltı Madeninde çimentolu kaya dolgusu kullanılmaktadır. Bu çimentolu kaya dolguları %6 çimentolu ve %8 çimentolu dolgu olarak ikiye ayrılır. Dolgu malzemesinin yeraltına nakliyesi, cevher nakliyesi için yeraltına giren kamyonlar tarafından yapılmaktadır.

4.2 Dolgunun Hidrolik Nakli

Hidrolik transport, dökme malzemelerin borular veya tekneler (kanallar) boyunca bir su akımı içinde taşınmasıdır. Malzeme ve suyun oluşturduğu karışıma genellikle hamur adı verilir. Hidrolik transport makinalarının genel üstünlükleri olarak; yüksek kapasite ve önemli taşıma uzunluğu, oldukça basit donatım ve genellikle düşük işletme maliyetleri ve ayrıca taşıma sırasında maden

cüruflarının ıslatılması ve tane biçimine getirilmesi, soğutma, yıkama ve yoğunlaştırma gibi belli teknolojik süreçlerin uygulanma olasılıkları sayılabilir. Hidrolik transport makinalarında, malzemeyi hamur hattına vermek için değişik türde besleyiciler kullanılır. Tipik ve en çok kullanılanları pompalar ve hidrolik yükselticilerdir (elevatörler).

5 DOLGU MALZEMESİ TASARIMI

Yeraltı dolgu malzemesinin hidrolik pompalama ile nakli için araştırmalar sonucu malzemenin hamurumsu, çamur kıvamlı olması gerektiği öğrenilmiştir. Çamur kıvamlı malzeme aynı zamanda taşınacak borudaki sürtünmeyi de azaltıp ekipmana minimum zarar verecektir. Güncel kullanımda kamyonlarla yeraltına sevki gerçekleştirilen 16-32 mm agrega içeren dolgu malzemesi bu tanıma uymamaktadır. İçeriğindeki agrega çamur tamını için boyut olarak fazla iri, su miktarı ise azdır. Bu nedenle öncelikle reçetedeki agrega boyutu küçültülüp maksimum 5-7 mm arası boyuta indirilmiştir. Malzemenin tane boyutu küçüldükçe yüzey alan oranı büyüdüğünden, içerikte kullanmamız gereken sıvı miktarı da artmıştır. Ayrıca test edilen bazı reçetelerde tesisten çıkan atık sıvı kıvamlı katı malzeme de eklenip maliyet iyileştirmesi hedeflenmiştir.

Bu agrega boyut sınıflandırılması örnek bir granülometrik dağılım eğrisi esas alınıp oranlanarak belirlenmiştir.

Testler sonucu oluşturulan reçetelerin 7, 14 ve 28 günlük dayanım testleri yapılmış ve raporlanmıştır. Bir reçete hariç diğer reçetelerin yer altı tahkimat sistemine göre belirlenen dolgu dayanım sınırının çok altında olduğu gözlemlenmiştir. Bu değerlere bakılarak yer altı dolgu malzemesi olarak kullanılmaya en uygun bulunan reçete çalışması 1 numara olmuştur.

6 SONUÇLAR

Mevcut dolgu malzemesi nakli kamyonlarla sağlanmaktadır, bu çalışma da yeraltındaki CO2 miktarının ve trafiğin artmasına neden olmaktadır. CO2 miktarının artması başta yer altı personelinin sağlığını kötü etkilemekle beraber havalandırma sisteminin de bu kötü etkiyi azaltmak amacıyla daha fazla çalışıp enerji harcamasına sebep olmaktadır. Mevcut üretim şartlarında kamyonlar yer yüzeyinden en az 500 metre aşağı inip yeraltında trafiğe karışmaktadır, bunu sonucu olarak hem fazla yakıt tüketimi hem zaman kaybı hem de acil bir durumda fazladan trafik yoğunluğu olacağı gözlemlenmektedir.

Dolgu malzemesinin yeraltına kamyonlarla nakli dezavantajlarına karşı bu bitirme tez çalışmasında faklı nakliyat sistemleri karşılaştırılmıştır. Bunlar sonucunda optimum nakil sistemi hidrolik pompalama olacaktır.

Dolgu işlemi sırasında dökülen beton mevcut dolgu betonundan daha akışkan olduğu için şimdi uygulanan yöntemlerle sıkıştırılıp stabil tutulamaz. Bu nedenle dolgu yapılacak katın üst katından betonu dökmek için bir delik açılabilir, dolgu malzemesi barikat inşası tamamlanan bölgeye üst kattan basılabilir. Üretim boşlukları iki kademede doldurulur. İlk etapta yarısı doldurulan bölgenin geri kalan kısmı 2 gün sonrasında tamamlanır. Sıvılaşma riskini azaltmak için üretim boşluğunun doldurulması esnasında alt kat, üst kat ve aynı katta patlatma işlemi gerçekleştirilmez. Dolgu betonu ile doldurulan üretim boşluğunun hemen yanında ise en erken 14 günlük kür süresinden sonra patlatma işlemi gerçekleştirilebilir.

TEŞEKKÜR

Tezin bitirilmesinde katkı sağlayan tez danışmanım Doç. Dr. Cüneyt Atilla ÖZTÜRK ’e teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

Arıoğlu, E., 1993. Madenlerin Düşey Hidrolik Nakli, 111-116.

Arıoğlu, E. - Arıoğlu, N. – Yılmaz, O., 2006. Beton Agregaları-*Çözümlü Problemler-Bilgi Föyleri*

Baradan, B., 1998. Yapı Malzemesi – II, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları

Eskikaya, Ş., 1972. Hidrolik Nakliyat, Cilt XI, Sayı 6, 75 -102.

Spivakovsky, A. - Dyachkov, V., 1966. Conveyors and Related Equipment, 320-327.

İzmir Fahrettin Altay-Narlıdere Metro Hattı'nda Kullanılan Pasa Basınçlı Tünel Açma Makinesinin (EPB-TBM) Kazı Performansının İncelenmesi

Investigation of the Excavation Performance of the Earth Pressure Balance Tunnel Boring Machine (EPB-TBM) Used in Izmir Fahrettin Altay-Narlıdere Metro Line

H.T. Öçalmaz, H. Çopur
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

ÖZET İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından Gülermak Ağır Sanayi İnşaat ve Taahhüt A.Ş firmasına ihale edilmiş "İzmir Hafif Raylı Sistemi 4. Aşama F.Altay-Narlıdere Kaymakamlık Arası Yapım İşi" projesi 7 kilometre uzunluğa sahip çift tüp şeklinde tünellerden oluşmaktadır. Karmaşık bir jeolojiye sahip olan çalışılan güzergâh boyunca filiş ve alüvyona rastlanmaktadır. Tünellerin kazısı 6,57 metre çaplı pasa basınçlı tam cepheli tünel açma makineleri (TBM) tarafından yapılmaktadır. Bu çalışmada TBM'in veri depolama sistemi tarafından kayıt edilen tork, kesici kafa dönme hızı, ilerleme hızı, itme kuvveti, alarmlar gibi kazı parametreleri analiz edilmiştir. Her ring kazısı için iş-zaman etüdü verileri incelenerek makineden faydalanma oranı belirlenmiştir. Makine performansını önemli ölçüde etkileyen arıza ve duraklamaların neler olduğu ve her birinin yüzdesel dağılımları belirlenmiştir. Bu çalışmada, EPB-TBM performans ile operasyonel parametreleri arasındaki ilişkilerin genel olarak teorik beklentilere uygun olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: TBM, EPB, performans, metro, İzmir

ABSTRACT The "İzmir Light Rail System 4th Stage F. Altay-Narlıdere District Governorship Construction" project, tendered by İzmir Metropolitan Municipality to Gülermak Ağır Sanayi İnşaat ve Taahhüt A.Ş, consists of double tunnels in the form of a tube of 7 kilometers. Along the studied route, which has a complex geology, flysch, alluvium are encountered. The excavation of the tunnels is carried out by Earth Pressure Balanca Tunnel Boring Machine (EPB-TBM) in 6,57 m diameter. In this study, excavation parameters such as torque, cutter head rotation speed, advance speed, thrust force, alarms recorded by the TBM's data storage system were analyzed. The utilization rate of the machine was determined by examining the work-time study data for each ring excavation. What the malfunctions and stops that significantly affect the machine performance and their percentage distributions are determined.

Keywords: TBM, EPB, performance, metro, İzmir

1 GİRİŞ

Günümüz dünyasında artan nüfusun getirdiği nedenlerden dolayı yüzlerce kilometre karayolu, metro, hidrolik boru hatları gibi birçok farklı amaçlar için tünel veya madenler içerisinde galeri inşa edilmektedir. Büyük şehirlerde, elektrik, su, kanalizasyon, telefon, doğalgaz ve metro tünelleri gibi yapıların açılması sırasında, çevreye ve yer üstündeki yapılara zarar verilmemesi son derece önemlidir. Bu da seçilecek kazı tekniği ile alakalıdır. TBM (Tunnel Boring Machine) denilen tünel açma makinaları yatırım maliyeti yüksek olsa da, istenilmeyen yeraltı hareketlerini önleme kabiliyeti, daha sessiz, titreşimsiz ve hızlı çalışması nedeniyle günümüzde tercih edilen kazı makineleri haline gelmiştir.

Yeryüzü üzerinde birçok farklı özellikte jeolojik yapının varlığı yani formasyonlardaki çeşitlilik, TBM'lerin çalışma yöntemi olarak aynı fakat işleyişin çeşitli yönlerden farklı olmasını mecbur hale getirmektedir. Döner kesici kafa tasarımları ve bu kafa üzerinde bulunan konik, disk gibi çeşitlerdeki keski tipleri, makinayı dengeleme gereçleri, çıkarılan pasanın tünel dışına aktarım şekli, tünelin desteklenmesi sistemleri ve hatta segment üretim farklılıkları çeşitli yönlerden sert kaya, orta sertlikte zemin, yumuşak ve akıcı jeolojik formasyonlar için farklılıklar göstermektedir. Sonuç olarak açılacak yeraltı açıklığı boyunca kazılacak jeolojik formasyonun önceden bilinmesi, kullanılacak tünel açma makinasının seçiminde en önemli faktörlerden biri olmuştur (Tunçdemir, 1998).

1.1 EPB-TBM'LER

Her türlü zeminde kullanılabilen arazi basıncını dengeleme esasına göre çalışan EPB makineleri ilk olarak Japonya'da 1960-70'li yıllarda görülmeye başlamıştır (Maidle, 1996) EPB makinesinin öncelikle kesici kafanın döndürme motorları ile döndürülmesi ve kesici kafaya ittirme silindirleri ile araziyi destekleyecek kadar ya da biraz daha fazla kuvvet verilmesiyle akıcı alüvyal zemin kazı haznesine dolmaya başlar. Kazı haznesi tamamen dolduktan sonra istenilen destekleme ortamı yaratılır ve kazılan malzeme vida konveyör yardımıyla normal basınçtaki bölgeye alınmaya başlanır. Burada vida konveyörün en önemli görevi aynada oluşturulan basıncın kademeli olarak ayarlanabilmesidir. Projede Çin menşeli firma olan CRCHI marka EPB-TBM kullanılarak yumuşak sayılabilecek zeminde kazılar gerçekleştirilmektedir.

1.2 İnceleme Kapsamı, Parametreler ve Yöntem

Analizler esnasında HAT-1 üzerinde çalışan DZ-499 numaralı tam cepheli tünel açma makinesinin kazısını tamamladığı belirli ringler arasındaki ilerleme miktarı, itme kuvveti, tork, kesici kafa dönüş hızı gibi makine verileri kullanılarak performans analizleri penetrasyon bazlı yapılmıştır. Daha sonra, duraklama ve arıza süreleri ve bunların sebepleri incelenerek sonuçlar ortaya konmuştur. Bu çalışmada EPB TBM'in performansı ve operasyonel parametreleri arasındaki ilişkiler ve duraklamaların dağılımları incelenmiştir.

PROJENİN TANITIMI

İzmir'in gün geçtikçe toplu taşımaya olan ihtiyacı da bu nedenler yüzünden şiddetle artmaktadır. Belediye tarafından otobüs filosunun yenilenmesi, deniz şehir hatlarının geliştirilmesi ve tramvay ya da metro gibi raylı sistemlerin toplu taşıma sistemine daha da fazla entegre edilmeye çalışılması sağlanmaktadır, fakat her modern metropol gibi raylı sistemlerin önemi İzmir için de büyüktür.

2. *Genel Bilgiler*

İzmir Hafif Raylı Sistemi'nin 4. aşaması olarak planlanan F. Altay- Narlıdere Kaymakamlık arasındaki bölümün yapımı için 4 Haziran 2018 tarihinde yüklenici GÜLERMAK ile sözleşme imzalandı ve gerçekleştirilen temel atma töreninin ardından hattın yapım çalışmaları başladı. İhale bedeli 1 milyar 27 milyon TL olan işin süresi 42 ay olarak planlandı.7,2 kilometrelik hatlar NATM kazılarının ardından TBM kullanılarak derin tünelle geçilecektir. TBM kazılarının ardından ise istasyonların inşaatı aç-kapa diye isimlendirilen metotla yapılacaktır.

1.1 Projenin Güzergâhı

Proje tamamlandığında 7 istasyondan oluşacak hatta Balçova, Çağdaş, Dokuz Eylül Üniversitesi Hastane, Güzel Sanatlar Fakültesi, Narlıdere, Siteler ve son olarak Kaymakamlık durakları olacak. Duraklar aç-kapa yöntemiyle inşa edilecek olup durak çıkışlarının hepsi cadde üzerinde merkezi yerlerde konumlandırılacaktır.

2.3 Güzergâh Jeolojisi

Çalışma alanını da içeren İzmir-Ankara Zonu'nda gözlenen Bornova Karmaşığı İzmir ve çevresinde geniş bir yayılım sunmaktadır. Erdoğan(1990)'da ise çalışmacı bu bloklu birimi değişik kireçtaşları, serpantinit ve mafik volkanik bloklarıyla çamurtaşları ve kumtaşlarından oluşan bir matriks meydana getirdiğini söylemiştir. Çalışma alanı boyunca da taban kaya olarak Bornova karmaşığına ait kumtaşı-çamurşeyl ardalanması bir başka deyişle filiş görülmektedir. Genelde koyu renkli olan filişler daha çok kumtaşı-şeylden oluşmaktadır. Ağırlıklı olarak gözlenen şeyl birimi yapraklanmalı bir yapı sunar. Filiş birimi içinde yer alan kireçtaşları tektaş konumunda olup çok büyük kitleler halinde bulunabilmektedir. Bölgeye etki eden akarsuların oluşturduğu alüvyonal çökeller, çakıl, kum ve kil boyutundaki tortullardan oluşmaktadır. Bunlar tane ve ara madde destekli çakıl, çakıllı kum ve şistli kumdan yapılıdır. Bu tortullar İzmir Körfezi'ne doğru kıyı fasiyesine ait denizel çökeller ile yanal ve düşey yönde giriktir ve bu birimin çökelimi hala günümüzde devam ettiği için, Kuvaterner, güncel yaşlı denilebilmektedir.

3. PERFORMANS ANALİZLERİ

TBM'in üzerinde bulunan bilgisayar tarafından her ayrı bölümde çeşitli ölçümler kayıt altına alınmaktadır. Proje kapsamında 2 hatta farklı TBM'lerle ilerlemeler söz konusudur. Fakat HAT-1'de ilerleyen DZ499 KODLU makinenin daha fazla verisi olması nedeniyle inceleme kapsamına alınırken o tercih edilmiştir. 1833 ve 2201 numaralı ringler Arasında 171 ringin kayıtlardan alınan veriler analiz edilerek çıkarımlar yapılmıştır. TBM işletim parametrelerinin analizinde ilk olarak 1 m3 'lük kazı için harcanan enerji miktarını belirten spesifik enerji (SE) değerleri hesaplanmıştır. Proje kapsamında 1833 ve 2201 numaralı ilerlemeler arasında TBM'in harcadığı spesifik enerjinin hesaplanması sırasında, sırasıyla Eşitlik 4.1-4.3 kullanılmıştır ve ardından değişik operasyonel parametrelerle grafikler yardımıyla yorumlanması gerçekleştirilmiştir.

$$P=\frac{2\pi.\ RPM.\ A}{60} \qquad (4.1)$$

Burada; P kesici kafa gücü (kW), RPM kesici kafa dönüş sayısı (devir/dakika), T tork (kNm) olarak alınmaktadır.

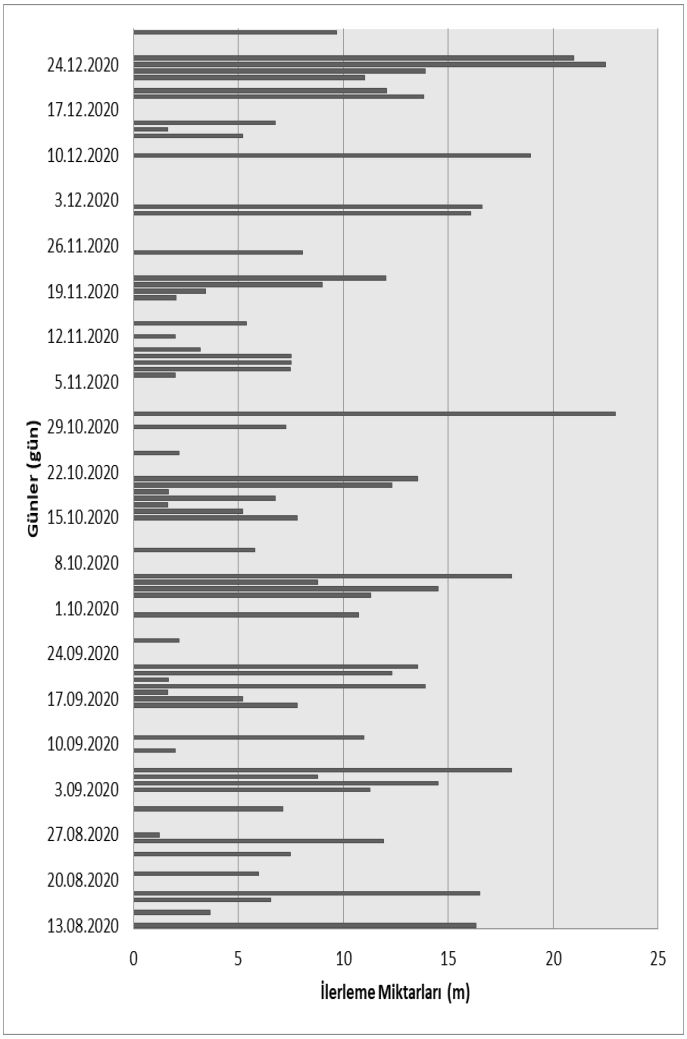
$$ICR=p.\ RPM.\ A\ x60/1000 \qquad (4.2)$$

Burada; ICR anlık kazı hızı (m^3 /saat), p ilerleme yani penetrasyon (mm/devir), RPM kesici kafa dönüş sayısı (devir/saat), A tünel kesit alanı (m^2) olarak alınmıştır.

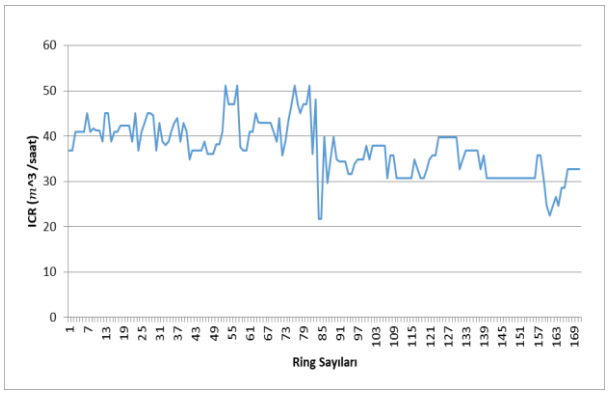
$$SE=k\ P/ICR \qquad (4.3)$$

Burada; SE spesifik enerji (kWh/m^2), P kesici kafa gücü (kW), ICR anlık kazı hızı (m^3 /saat). k = Kesici kafadan tünel arınına kazı için aktarılan enerjinin gerçekte kullanılana oranı olarak alınmıştır. Genellikle TBM'lerde 0,80 - 0,90 alınabilmektedir ve 0,85 tercih edilmiştir.

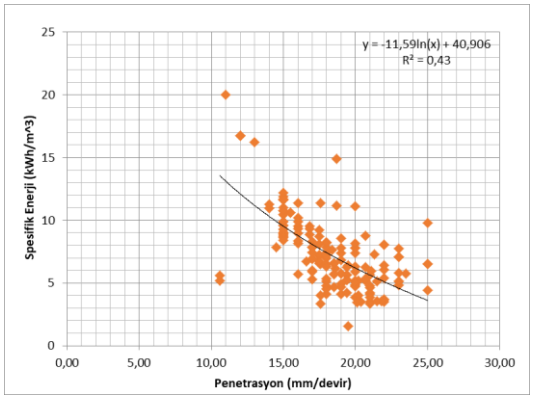
ICR yani anlık net kazı hızı yukarıdaki eşitlikler kullanılarak her ring için hesaplanmış ve grafiklerde gösterilmiştir. EPB-TBM'in kazı faaliyetlerini sürdürdüğü Bornova Karmaşığı formasyonu için bildirilen değerler doğrultusunda günlük ilerlemeler, duraklama ve arızalar, performans yönünde fikir yürütme amacıyla kullanılabilecek penetrasyon karşılaştırmalı parametrelerin incelemeleri grafiklerde gösterilmiştir ve yorumlanması sonuç başlığı altında yapılmıştır.



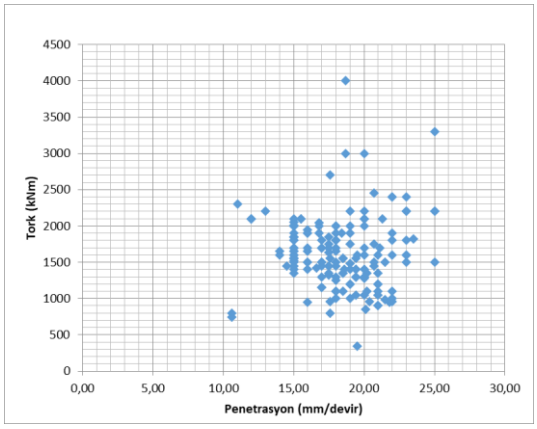
Şekil 3.1 Günlük İlerleme Miktarları Grafiği



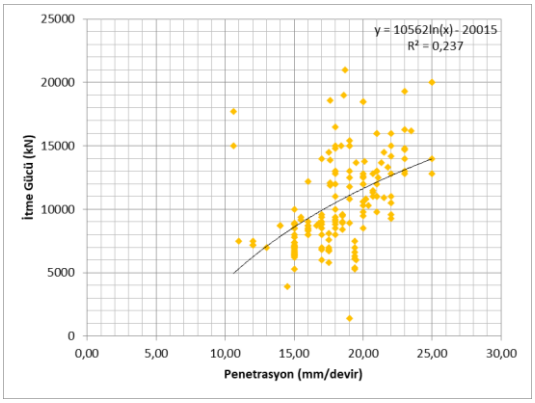
Şekil 3.2: ICR Değişim Grafiği



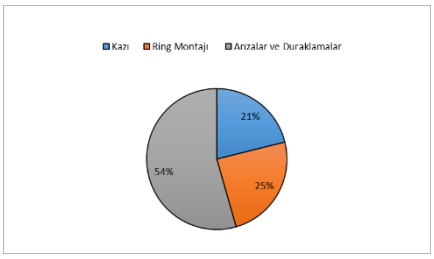
Şekil 3.3: Spesifik Enerji Değişim Grafiği



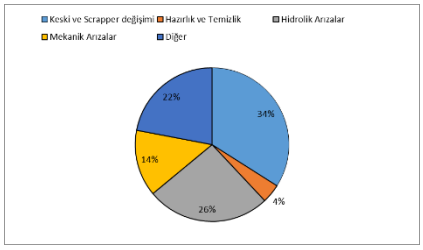
Şekil 3.4 Torkun Değişim Grafiği



Şekil 3.5: İtme Gücünün Değişim Grafiği



Şekil 3.6 TBM İş-Zaman Grafiği



Şekil 3.7 Arıza **ve** Duraklamaların Dağılımları

4. SONUÇ

- Penetrasyon arttıkça spesifik enerji azalmaktadır.
- Kazısı yapılan 1183 ve 2201 ringleri arasında genel olarak penetrasyon arttıkça itme kuvveti de artmaktadır.
- Torkun penetrasyonla anlamlı bir korelasyon oluşturduğunu söylemek güçtür fakat tork değerleriyle birlikte penetrasyonun da arttığı söylenebilir
- Makina faydalanma oranı kazı yüzdesi olan %21 olarak belirlenmiştir. Ring montajı için harcanan süre ise toplam sürenin % 22'idir. Toplam sürenin % 59'unda çalışma çeşitli sebeplerden ötürü yapılamamıştır.
- Ortalama günde yaklaşık 12 metre bir ilerleme söz konusudur.

KAYNAKLAR

Bilgin, N., Copur, H., Balci, C., 2014. Mechanical Excavation in Mining and Civil Industries. CRC Press, Taylor & Francis Group, ISBN-13: 978-1466584747, 366 p.

Erdoğan B. 1990, "Karaburun Yarımadasının Stratigrafisi", Mta Dergisi 111, 1-23

Maidl, B., Herrenknecht, M., Anheuser, L., 1996. "Mechanised Shield Tunnelling". Ernst und Sohn, s.428, Berlin.

Tunçdemir H., 1998 , "Arazi basıncının dengelenmesi esasına göre çalışan tam cephe tünel açma makinelerinin kazı performansını etkileyen zemin özellikleri ve İzmir Metrosu "Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, 22-23

Sibelco(Çine-Karpuzlu) Açık Ocağı Albit Madeninin Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Şev Stabilite Analizi

Slope Stability Analysis of Sibelco (Çine-Karpuzlu) Open Pit Albite Mine Using Finite Element Method

M. Çam, H. Tunçdemir

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendiliği,İstanbul

ÖZET Alipaşa açık ocağının doğu kısmındaki incelenen eğimler şu anda stabildir, ancak asıl amaç, madenin son durumu için stabilite açısından optimum genel eğim açısını tahmin etmektir. Sayısal analizlerde, kesme dayanımı azaltma tekniğini içeren, Genelleştirilmiş Hoek-Brown Kriteri ve Eşdeğer Mohr-Coulomb parametrelerini dikkate alan, sonlu elemanlar yönteminin Alipaşa açık ocak işletmesinin doğusunda bulunan çatlaklı kaya şevine uygulanabilirliği incelenmiştir. Bu süreçte, öncelikle arazideki yerel blok kaymalarından etkilenen alandan geçen, tansiyon çatlaklarına dik uzanan beş adet jeoteknik kesit alınmıştır. Daha sonra bu kesitlere ait şevlerin duraylılık analizleri, değişik Jeolojik Dayanım İndeksi (JDİ) değerleri, sismik ivme (α_s), şev açısı (α_{slope}) ve yeraltı su durumu (STS) değerleri kullanılarak, iki boyutlu FEM analizi yapan bilgisayar programı rocscience ile yürütülmüştür. Analizlerin sonucunda, şevin yenilme mekanizması ve nedenleri; ayrıca güvenlik katsayısı (SRF) değerleri elde edilmiştir. Her iki yöntemden elde edilen SRF değerleri, bir istatistik programı olan SPSS (Statistical Package for Social Sciences) kullanılarak karşılaştırılmış ve nihai şev açısı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Şev stabilite analizi, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Çine-Karpuzlu, Genelleştirilmiş Hoek-Brown Kriteri, Eşdeğer Mohr-Coulomb parametreleri

ABSTRACT The studied slopes in the eastern part of the Alipaşa open pit are currently stable, but the main goal is to estimate the optimum overall slope angle in terms of stability for the final state of the mine. In numerical analysis, the applicability of the finite element method, which includes the shear strength reduction technique, taking into account the Generalized Hoek-Brown Criteria and Equivalent Mohr-Coulomb parameters, to the cracked rock slope located in the east of the Alipaşa open pit was examined. In this process, five geotechnical sections, extending perpendicular to tension cracks, passing through the area affected by local block shifts in the field were taken. Then, the stability analysis of the slopes of these sections, using different Geological Strength Index (JDI) values, seismic acceleration (αs), slope angle (αslope) and groundwater condition (STS) values, the computer program rocscience was carried out with. As a result of the analysis, the failure mechanism and causes of the slope; In addition, safety coefficient (SRF) values were obtained. SRF values obtained from both methods were compared using SPSS (Statistical Package for Social Sciences), a statistical program, and the final slope angle was found.

Keywords: Slope stability analysis, Finite Element Method, Çine-Karpuzlu, Generalized Hoek-Brown Criteria, Equivalent Mohr-Coulomb parameters,

1 GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Ana Kapsamı

Bu çalışmanın amaçlarından biri Aydın, Çine-Karpuzlu'da 1996 yılından bu yana çıkarılmakta olan Alipaşa açık ocak albit (Na-feldspat) madeninde eğim dengesizliklerinin ana ve ikincil nedenlerinin belirlenmesi; ayrıca potansiyel eğim bozulmasını önlemek ve ilerleyen göçme mekanizmasının ana hatlarını

çizmek. Bu süreç, kaya kütlesinin göçme sonrası özelliklerini gerektirir. Açık ocağın doğu kısmındaki incelenen eğimler şu anda stabildir, ancak asıl amaç, madenin son durumu için stabilite açısından optimum genel eğim açısını tahmin etmektir. Diğer bir deyişle, madencilik faaliyetleri sonlandırıldıktan hemen sonra, eğimlerin sabit olacağı optimum toplam eğim açısı bu çalışmada tahmin edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan veriler daha önceki çalışmalardan alınmıştır. Alınan veriler 2011 yılına aittir. Bu çalışma iki boyutlu FEM analizi yapan bilgisayar programı Rocscience ile yürütülmüştür. bir istatistik programı olan SPSS (Statistical Package for Social Sciences) kullanılarak karşılaştırılmış ve nihai şev açısı bulunmuştur.

1.2 Rocscience

Rocscience sayısal modelleme programı; sonlu elemanlar ve sınır elemanlar yöntemlerinin karmasından oluşan ve her iki yöntemin birlikte kullanıldığı programdır

1.2.1 Mohr-Coulomb Kriteri

Mohr hipozezine göre bir düzlem üzerinde bir kesme kırılması meydana geldiğinde, bu düzlem üzerindeki normal (σ) ve kesme (τ) gerilmeleri arasında bu malzemenin özelliklerine bağlı olarak aralarında fonksivonel bir ilişki vardır(Coulomb) : $\tau = f(\sigma)$, $\tau = c + \sigma \tan\phi$

1.2.2 Hoek-Brown Kriteri

Hoek – Brown göçme kriteri, kaya mekaniğinde kayanın göçmesini tahmin etmek için kullanılan ampirik bir gerilme yüzeyidir. 1988'de şev stabilitesi ve yüzey kazısı problemlerine uygulanabilirlik kriterleri genişletildi. 2002 yılında, model parametreleri ile jeolojik dayanım indeksi (GSI) arasındaki korelasyondaki iyileştirmeleri içeren bir kriter güncellemesi sunuldu.(Hoek and Brown, 1980)

2 SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Geoteknik mühendisliğine ilk olarak Clough ve Woodward tarafından sunulan sonlu elemanlar yöntemi (FEM), geleneksel basit LDM'den şev stabilitesi hesaplaması için nispeten yeni ve daha güçlü bir yöntemdir, FEM sadece yeni inşa edilen setler gibi sorunları çözemez, son kazılar veya geleneksel yöntem gibi mevcut bir doğal eğim, ancak aynı zamanda geleneksel sınır denge prosedürlerinde göz ardı edilen K0'ı (yanal normal etkili gerilmelerin oranı) da hesaba katabilir.(Chowdhury, 1981). FEM, esas olarak eğim yüzeyini elemanlar adı verilen ayrı birimlere ayırır. Her bir düğüm ve sürekliliğin önceden tanımlanmış sınırları, komşu öğeleri birbirine bağlar.(Abramson ve arkadaşarı, 2000) FEM'in yer değiştirme yöntemi formülasyonu tipik olarak jeoteknik uygulamalar için kullanılır ve sonuçları düğüm noktalarında yer değiştirme, gerilmeler ve gerilmeler şeklinde sunar. FEM'de, göçme yüzeyindeki toprak çok sayıda ayrık eleman olarak modellenir ve bu ayrı elemanların arıza mekanizması, tüm elemanlar aynı anda başarısız olmadığı için ilerleyen bir fenomen olarak kabul edilir. Bu nedenle, başarısızlık aralığı, verimin ilk meydana geldiği noktadan tüm elemanların tamamen başarısız olduğu son arıza durumuna kadar uzanabilir.(Wong, 1984).

2.1 Kesme Dayanımını Azaltma(SSR)

Şev stabilitesi analizi için SSR tekniği, bir şevi yenilmenin eşiğine getiren bir gerilim azaltma faktörü (SRF) veya güvenlik faktörü değeri belirlemek için sonlu elemanlar analizinin sistematik kullanımını içerir. Bir eğimin FE modelindeki tüm malzemelerin kesme mukavemetleri SRF tarafından azaltılır. Bu modelin geleneksel sonlu elemanlar analizi daha sonra istikrarsızlığa neden olan kritik bir SRF değeri elde edilene kadar gerçekleştirilir. Kesme dayanımını azaltma tekniğinde sonlu elemanlar modeli bir çözüme yakınsamadığında (belirli bir tolerans dahilinde) eğim kararsız olarak kabul edilir. Daha önce bahsedildiği gibi, SSR tekniğinin mevcut tanımlarının ve tartışmalarının çoğu, malzemeler için Mohr-Coulomb güç modellerinin kullanımına dayanmaktadır(Hammah ve arkadaşları, 2004).

3 ŞEV STABİLİTE ANALİZİ SONUÇLARI

3.1 Hoek-Brown Kriterine Dayalı Sonuçlar

Bağımlı değişken (SRF) ile doğrusal regresyon analizi bağımsız değişkenler (GSI, sismik katsayı, eğim açısı, su tablası konumu

ve eğim yüksekliği) yapıldı. Sonuç olarak, bir doğrusal denklem elde edildi (Denklem 3.1).

$$SRF = 2.060 - 0.399\alpha_s - 0.039\alpha_{slope} + 0.017GSI - 0.002WTL - 0.002H_{slope} \quad r: 0.696 \quad (3.1)$$

İstatistiksel analizler şev stabilitesinde en etkili parametrenin α_{slope}, bundan sonra sırasıyla GSI, WTL, α_s parametreleri olduğunu gösterdi. Hoek Brown yenilme kriterinde sayısal analizler için kullanılan kaya kütlesi özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir(Tablo 3.1) Bu temelde, 0.1g sismik katsayısı ve GSI değeri 42 ile birlikte% 70 doymuş durumda olması durumunda, optimum genel eğim açısı Genelleştirilmiş Hoek-Brown Kriteri açısından 32°'den büyük olamaz.

Tablo 3.1. Genelleştirilmiş Hoek-Brown Kriteri dikkate alınarak sayısal analizlerde kullanılan kaya malzemesi ve kaya kütlesi özellikleri

Kaya Tipi	Bozulmamış Kaya Özellikleri Genleşme parametresi: 0 Birim Ağırlık: 0.026 MN/m³			D	Kaya Kütlesi Özellikleri Poisson oranı: 0.25				
Ortogenez	m_i	σ_{ci} (MPa)	E_i (MPa)	0.7	GSI	s	a	m_b	E_{rm} (MPa)
	20	27.34	33500		35	0.0001	0.516	0.562	1500.76
					40	0.0002	0.511	0.740	1950.72
					45	0.0003	0.508	0.974	2621.66

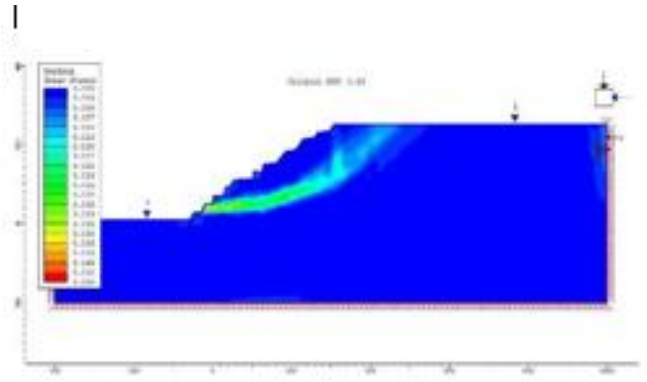
3.2 Mohr- Coulomb Kriterine Dayalı Sonuçlar

Bağımlı değişken (SRF) ile doğrusal regresyon analizi bağımsız değişkenler (GSI, sismik katsayı, eğim açısı, su tablası konumu ve eğim yüksekliği) yapıldı. Sonuç olarak, bir doğrusal denklem elde edildi (Denklem 3.2).

$$SRF = 3.037 - 0.593\alpha s - 0.060\alpha slope + 0.021GSI - 0.006WTL - 0.003Hslope \quad r: 0.680 \quad (3.2)$$

Burada;
α_s: sismik katsayı
α_{slope}: eğim açısı
GSI: jeolojik dayanım indeksi
WTL: su tablası konumu
H_{slope}: eğim yüksekliği

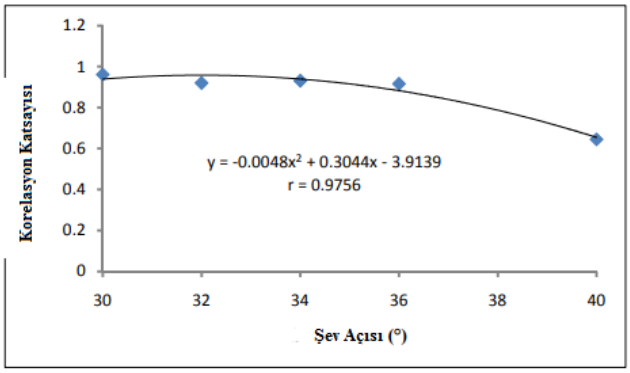
İstatistiksel analizler şev stabilitesinde en etkili parametrenin α_{slope}, bundan sonra sırasıyla GSI, WTL, α_s parametreleri olduğunu gösterdi. 0.1g sismik katsayısı ve GSI değerinin 42 olmasıyla birlikte% 70 doymuş durumda olması durumunda, eşdeğer dayanım parametreleri ile



gerçekleştirilen Mohr-Coulomb Kriteri açısından optimum toplam eğim açısı 34°'den büyük olamaz.(Şekil 3.2)
Şekil 3.2. (GSI: 40, eğim açısı: 34°, αs: 0.2g,% 100 doymuş, D-D 'kesiti, Mohr-Coulomb Kriteri).

4 SONUÇLAR

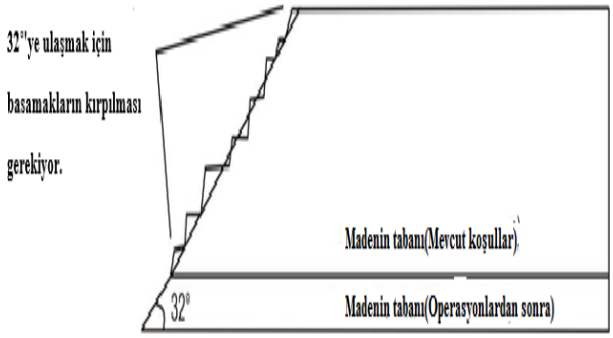
Her iki yöntemden elde edilen SRF değerlerini karşılaştırmak için sayısal analizlerde kullanılan beş eğim açısına göre eşleştirilmiş örnekler T testi yapılmıştır. Bu test, her bir durum için iki değişken arasındaki farkı hesaplar ve her bir değişkenin ortalamalarının farkı açısından anlamlılık derecesi verir. Her eğim açısı için sonuçların korelasyon katsayıları; Sırasıyla 0.961, 0.920, 0.931, 0.916, 0.645.
Ayrıca T testi sonuçları 30°, 32°, 34°, 36° eğim açıları için Mohr-Coulomb Kriterinden elde edilen SRF değerlerinin Generalized Hoek-Brown Criterion'dan elde edilenlerden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Korelasyon katsayılarının çeşitli eğim açılarına göre dağılımı Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Korelasyon katsayılarının dağılımına göre, çeşitli eğim açıları açısından her iki yöntemden elde edilen SRF değerleri arasındaki korelasyonun güçlü bir negatif, polinom karaktere sahip olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.1. Korelasyon katsayıları ile eğim açıları arasındaki ilişki.

Genelleştirilmiş Hoek-Brown Kriterinden elde edilen SRF değerleri, eğim açısının artmasıyla orantılı olarak azaldığından,

Mohr-Coulomb Kriterinden elde edilen SRF değerleri 40˚ eğim açısından başlayarak ani bir düşüş göstermiştir. Sonlu Elemanlar Yöntemi analizlerinde çeşitli eğim açıları (30˚, 32˚, 34˚, 36˚, 40˚) dikkate alınmıştır. Açık ocağın doğu kısmına ait şevlerin stabilitesinin küçük şev açısı değişikliklerine duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Gelecekteki geometriye ve genel eğimin yüksekliğine ait optimum genel eğim açısının gerekliliği ile ilgili olarak, eğim açısı, su tablası konumu, GSI, sismik katsayı ve eğim yüksekliğine bağlı olarak oluşturulan modeller, kritik SRF değeri için tahmin sağlar. Grafiklerden sismik olmayan koşullar dikkate alınmadığı sürece 36˚ ve 40˚ eğim açıları için genel eğimi sabit tutmanın mümkün olmayacağı belirlenmiştir. Öte yandan, optimum toplam eğim açısı 32˚ su tablası seviyesi % 70, sismik ivme 0.10 g ve GSI 42 olarak belirlenmiştir. Önerilen optimum genel eğim açısı, yalnızca mevcut genel eğimin Şekil 4.2'de gösterildiği gibi üst eğim yüzünden madenin tabanına kırpılması durumunda en iyi yol için uygulanabilir.



Şekil 4.2. Önerilen optimum genel eğim açısı

TEŞEKKÜR

Bitirme çalışmamın ortaya çıkarılması sırasında ve fakültedeki araştırma çalışmalarına katılmam konusunda desteklerini esirgemeyen danışmanım Doç.Dr. Hakan TUNÇDEMİR'e ve lisans hayatım boyunca bilgi ve deneyimlerini paylaşan tüm bölüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca daha önce yaptığı çalışmalarla bu tezi yazmamı sağlayan herkese teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Abramson LW, Lee TS, Sharma S, Boyce GM (2002) *Slope stability and stabilization methods*, (2ndedn), New York, USA, John Wiley & Sons.

Chowdhury RN (1981) Discussion of stability analysis of embankment and slope. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 107(5): 691–693.

Coulomb, C. A. (1776). *Essai sur une application des reqles des maximis et minimis a quelquels problemesde statique relatifs, a la architecture*. Mem. Acad. Roy. Div. Sav., vol. 7, pp. 343–387.

Hammah, R.E., J.H. Curran, T.E. Yacoub, and B. Corkum. 2004. *Stability analysis of rock slopes using the Finite Element Method. In Proceedings of the ISRM Regional Symposium* EUROCK 2004 and the 53rd Geomechanics Colloquy, Salzburg, Austria.

Hoek E.; Brown E.T. (1980). *"Empirical strength criterion for rock masses". Journal of the Geotechnical* Engineering *Division: 1013–1025.*

Wong FS (1984) Uncertainties in FE modelling of slope stability. Computers *& Structures*, 19(5/6): 777–779

ESAN Konya İnlice Altın Sahası Açık Ocak İşletmesi Şev Stabilite İşleri

ESAN Konya İnlice Gold Field Open Pit Mine Slope Stability Works

O.A. Egehan C.A. Öztürk
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

ÖZET Çalışmada öncelikle ESAN Konya İnlice Altın Sahası Açık Ocak İşletmesi genel olarak tanıtılmış, ocak hakkında bilgiler verilmiştir. Madenin jeolojik ve jeoteknik verileri hakkında bilgilendirme yapılmıştır. Sonrasında ilgili birimlerce tespit edilmiş olan jeoteknik veriler ve saha sınırları içerisinde alınan kesitlerin ışığında Rocscience Slide2 programı kullanılarak tasarlanmış 2 boyutlu modeller gösterilmiştir. Oluşturulmuş modellerde sırasıyla, suyun etkisinin yok sayıldığı durum ve tüm birimlerin tamamen doymuş olduğu durumlar incelenerek her bir kesitteki sağ ve sol bölgelerdeki en zayıf bölgelerin güvenlik katsayıları belirlenmiştir. Daha sonrasında sınır güvenlik koşulunu sağlamamış olan bölgelerde yeraltı su seviyeleri drenaj çalışmaları ile kademe kademe düşürülerek, sınır güvenlik koşulunu sağlamayan bölgelerindeki güvenlik katsayıları sınır değerlere ulaştırılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek, yeraltı su seviyesinin sahada bulunan mevcut şevlerin güvenlik katsayısına olan etkileri incelenmiştir.

ABSTRACT First of all, ESAN İnlice Open Pit Gold Mine Field was introduced and information about quarry was given. Information about geological and geotechnical data of the mine was given. Then, 2D designs of the models were shown using the Rocscience Slide2 program according to the cross-sections which were taken within the field boundaries and the geotechnical data which was determined as a result of the studies. Conditions where the effect of water is ignored and where all units are fully saturated with water are accepted and the safety coefficients of the weakest areas on the right and left sides of each section were determined in these models. Afterwards, the groundwater levels were gradually reduced with drainage operations in areas that did not reach the limit safety conditions. As a result of these operations, the safety coefficients in the regions that did not meet the limit safety conditions have reached the limit values. Finally, the effects of groundwater level on safety factor were assessed according to parameters which were obtained as a result of this study.

Keywords: Groundwater, Safety, Slope

1 GİRİŞ

Bu bitirme çalışmasında öncelikle İnlice Altın Sahası Açık Ocak İşletmesi hakkında genel bilgiler verilerek, bölgenin jeolojik yapısı ve sahanın daha önce yapılan çalışmalar sonucu elde edilmiş olan jeoteknik özellikleri incelenecektir. Sonrasında mevcut şevlerin stabilitesinin sahada bulunan yeraltı su seviyesine göre değişimi Slide2 programının yardımıyla araştırılarak, çalışma sahasındaki mevcut şevlerde stabil olmayan bölgelerde drenaj yardımı ile yeraltı su seviyesi kademe kademe düşürülerek sınır güvenlik koşulu sağlanacaktır.

2 İŞLETME HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1 Coğrafi Konum

Esan İnlice Altın Sahası Konya vilayetinin Meram ilçesinde bulunmakta olup, İnlice köyüne yaklaşık 6 km, Konya vilayetine de yaklaşık 38 km uzaklıktadır. Ayrıca Konya-Manavgat yolunun da üzerinde bulunmaktadır.

2.2 İklim

İşletmenin iklimi bulunduğu bölge olan İç Anadolu Bölgesi'nin karakteristik özelliklerini taşımaktadır. Kışlar sert, soğuk ve kar yağışlı, yazlar sıcak ve kurak geçmektedir.

2.3 Topografik Özellikler

Proje sahasının içerisinde bulunan Han dere mikro havzasında görülen maksimum kot değeri 1965.31 metre olup, minimum kot değerinin de 1412.85 metre olduğu sahada yapılan çalışmalar sonucu elde edilmiştir.

2.4 Jeolojik Yapı

2.4.1 Proje Sahasının Bulunduğu Bölgenin Jeolojisi

Bitirme çalışmasına konu olan proje sahası Kırşehir Masifi'nin güneybatısında, Toroslar Platformu'nda bulunmaktadır. Daha önceki yapılmış çalışmalara göre, proje sahasında bulunan temel kayaç ve volkanikler Alkali Porfiri Kuşağı içerisinde oluşmaktadır.

2.4.2 Proje Sahasının Bulunduğu Bölgenin Stratigrafik Oluşumu

Bölgedeki temel kayaç açısal uyumsuzlukla karbonifer yaşlı Halıcı Formasyonu tarafından üzerlenmiş olan Siluryen yaşlı rekristalize, dolomitik Bozdağ Kireçtaşı'dır. Karbonifer yaşta olan Halıcı Formasyonu, Fillit, şist, metakumtaşı, metakonglomera, metaçört, metavolkanitler ve kireçtaşı bloklarından oluşmaktadır. Halıcı Formasyonu ise Permiyen yaşlı Eldes Formasyonu tarafından uyumsuzluk ile üzerlenmiştir. Permiyen yaşta olan Eldes Formasyonu da sonrasında sırası ile Mesozoyik yaşlı Ardıçlı Formasyonu, Midostepe Formasyonu ve Eosen yaşlı Çayraz Formasyonu tarafından açısal uyumsuzlukla üzerlenmiştir. Eosen sonrası dönem incelendiğinde, bölgede gerçekleşmiş olan volkanizmanın etkisi ile Dilekçi Formasyonu'na ait lav ve tüf birimleri gelmiş olup ardından da Kuvaterner Çökelleri tarafından açısal uyumsuzlukla üzerlenmiştir.

2.4.3 Proje Sahasının Bulunduğu Bölgenin Jeolojisi

İnlice maden sahasında bulunan jeolojik birimler yaşlıdan gence doğru sırasıyla üst miyosen yaşlı andezitik domlar, aglomera, ignimbrit/litik tüf, pliyosen yaşlı andezitik lav birimleri ve pliyosen lavları üzerine gölsel çökeller olarak sıralanmıştır. Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ise tüm bu birimlerin üzerine örtmektedir.

3 PROJE SAHASINDA JEOTEKNİK İNCELEMELERİN YAPILMASI

Açık işletme madenciliğinde oluşturulan üretim basamaklarının güvenlik koşullarını sağlayacak şekilde özelliklerini tayin etmek için çalışma sahasındaki birimleri ve bu birimlerin özelliklerini sayısallaştırmak mevcut şevlerin tasarımı için kaçınılmaz bir ihtiyaçtır. Bu anlamda sahadaki birimlerin tespitinin yapılarak özelliklerinin belirlenmesi ve sahadaki sürekli ve süreksizliklerin belirlenmesi adına çalışmalar yapılmalıdır.

3.1 Sahanın Jeoteknik Veri Tabanının Oluşturulması

Çalışma sahasında bulunan birimlerin tanımlanması amacıyla saha sınırları içerisinden kesitler alınarak, sonrasında bu kesitlere jeolojik birimlerin işlenmesi gerçekleştirilmiştir. Yapılmış çalışmaların sonucunda sahadaki birimlerin arjilik andezit, andezit, silisifiye andezit, kaolinit, porfiri andezit, vaggy silika, alunit, fay zonu ve kesme zonu olduğu tespit edilmiştir.

3.2 Sahada Yapılmış Olan Kinematik Analiz Çalışmaları

Sahada yapılmış çalışmalarda açık ocak sahasında düzlemsel, kama tipi ve devrilme tipi kayma olasılıkları incelenmiştir.

Düzlemsel kayma olasılıklarının incelenmesi için sahada 63˚ basamak açısına göre yapılan araştırılmaların sonucunda kayma olasılığı en yüksek basamaklar belirlenmiştir. Buna göre, basamak eğimlerinin 125˚, 150˚ ve 165˚ doğrultuda olduğu durumlarda en yüksek kayma olasılıklarının gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Kama tipi kayma olasılıklarının incelenmesi sonucunda bu tip kaymanın gerçekleşme olasılığının, saha içerisinde iki dominant eklem setlerinin varlığından ötürü bir yönde maksimum olduğu tespit edilmiştir.

Devrilme tipi kaymanın meydana gelme olasılığının incelenmesi sonucunda, 25˚ ve 325˚ şev eğim doğrultusunda bu tip kaymanın olasılıkları hesaplanmıştır.

4 AÇIK OCAK ŞEV STABİLİTESİNİN ARAŞTIRILMASI

Sahada oluşturulmuş olan jeoteknik veri tabanı ve sahadan alınmış kesitler baza alınarak her bir kesit için şev dizayn çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmada, her bir kesit için oluşturulmuş tasarımların güvenlik koşulları Rocscience Slide2 kullanımı ile incelenerek, limit güvenlik koşullarının sağlanamadığı bölgelerde yeraltı su seviyesinin drenaj çalışmaları ile kademe kademe azaltılarak limit güvenlik katsayısının elde edilmesi amaçlanmıştır.

4.1 A-A' Kesitinin İncelenmesi

Kesitin sağ ve sol bölgesinde su faktörünün etkisinin yok sayıldığı durumda güvenlik katsayıları sırasıyla 1.54 ve 2.00 olarak hesaplanmıştır. Bu işlem sonrasında kesitin sağ ve sol bölgeleri için tüm birimlerin suya doygun olduğu koşul incelenmiş olup, güvenlik katsayıları sırasıyla 1.14 ve 1.47 olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda A-A' kesitinin sağ bölgesinde limit güvenlik koşulunun sağlanmadığı görülerek bu bölgede sırasıyla 5, 10, 15, 20 ve 25 metrelik drenaj çalışmaları için ayrı ayrı senaryolar hazırlanıp yeraltı su seviyesi her bir senaryoda kademeli olarak azaltılmıştır. Bu drenaj çalışmalarının sonucunda A-A' kesitinin sağ bölgesindeki güvenlik katsayıları her bir durum için sırası ile 1.14, 1.18, 1.23, 1.29 ve 1.33 olarak 25 metrelik drenaj işlemi sonucunda limit güvenlik koşulu sağlanmıştır.

4.2 B-B' Kesitinin İncelenmesi

Kesitin sağ ve sol bölgesinde su faktörünün etkisinin yok sayıldığı durumda güvenlik katsayıları sırasıyla 1.62 ve 2.35 olarak hesaplanmıştır. Bu işlem sonrasında kesitin sağ ve sol bölgeleri için tüm birimlerin suya doygun olduğu koşul incelenmiş olup, güvenlik katsayıları sırasıyla 1.38 ve 2.00 olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda B-B' kesitinin sağ ve sol bölgelerinin limit güvenlik koşulunu sağladığı tespit edilerek dolayısıyla drenaj çalışmasına gerek görülmemiştir.

4.3 C-C' Kesitinin İncelenmesi

Kesitin sağ ve sol bölgesinde su faktörünün etkisinin yok sayıldığı durumda güvenlik katsayıları sırasıyla 1.42 ve 2.56 olarak hesaplanmıştır. Bu işlem sonrasında kesitin sağ ve sol bölgeleri için tüm birimlerin suya doygun olduğu koşul incelenmiş olup, güvenlik katsayıları sırasıyla 1.06 ve 2.06 olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda C-C' kesitinin sağ bölgesinde limit güvenlik koşulunun sağlanmadığı görülerek bu bölgede sırasıyla 5 ve 10 metrelik drenaj

çalışmaları için ayrı ayrı senaryolar hazırlanıp yeraltı su seviyesi her bir senaryoda kademeli olarak azaltılmıştır. Bu drenaj çalışmalarının sonucunda A-A' kesitinin sağ bölgesindeki güvenlik katsayıları her bir durum için sırası ile 1.24 ve 1.40 olarak belirlenerek 10 metrelik drenaj işlemi sonucunda limit güvenlik koşulu sağlanmıştır.

4.4 D-D' Kesitinin İncelenmesi

Kesitin sağ ve sol bölgesinde su faktörünün etkisinin yok sayıldığı durumda güvenlik katsayıları sırasıyla 1.53 ve 1.31 olarak hesaplanmıştır. Bu işlem sonrasında kesitin sağ ve sol bölgeleri için tüm birimlerin suya doygun olduğu koşul incelenmiş olup, güvenlik katsayıları sırasıyla 1.16 ve 1.02 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda D-D' kesitinin sağ ve sol bölgelerinde limit güvenlik koşulunun sağlanmadığı görülerek kesitin sağ bölgesinde sırasıyla 5, 10, 15, 20 metrelik drenaj ve sol bölgesinde sırası ile 5, 10, 15, 20 ve "Sol bölgede 100 metre ve sağ bölgede 20 metre" drenaj çalışmaları için ayrı ayrı senaryolar hazırlanıp yeraltı su seviyesi her bir senaryoda kademeli olarak azaltılmıştır. Bu drenaj çalışmalarının sonucunda D-D' kesitinin sağ bölgesindeki güvenlik katsayıları her bir durum için sırası ile 1.18, 1.22, 1.27 ve 1.31 olarak belirlenip, kesitin sol bölgesinde ise güvenlik katsayıları her bir durum için sırası ile 1.02, 1.03, 1.05 1.07 ve 1.31 olarak belirlenerek D-D' kesitinin sağ bölgesinde 20 metrelik drenaj işlemi ve sol bölgesinde "Sol bölgede 100 metre ve sağ bölgede 20 metre" yapılan drenaj çalışmaları sonucunda limit güvenlik koşulu sağlanmıştır.

4.5 E-E' Kesitinin İncelenmesi

Kesitin sağ ve sol bölgesinde su faktörünün etkisinin yok sayıldığı durumda güvenlik katsayıları sırasıyla 2.13 ve 1.46 olarak hesaplanmıştır. Bu işlem sonrasında kesitin sağ ve sol bölgeleri için tüm birimlerin suya doygun olduğu koşul incelenmiş olup, güvenlik katsayıları sırasıyla 2.13 ve 1.11 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda E-E' kesitinin sol bölgesinde limit güvenlik koşulunun sağlanmadığı görülerek bu bölgede sırasıyla 5, 10, 15, 20 ve 25 metrelik drenaj çalışmaları için ayrı ayrı senaryolar hazırlanıp yeraltı su seviyesi her bir senaryoda kademeli olarak azaltılmıştır. Bu drenaj çalışmalarının sonucunda E-E' kesitinin sağ bölgesindeki güvenlik katsayıları her bir durum için sırası ile 1.11, 1.16, 1.21, 1.26 ve 1.30 olarak belirlenerek 25 metrelik drenaj işlemi sonucunda limit güvenlik koşulu sağlanmıştır.

5 SONUÇLAR

1) A-A' kesiti incelenerek kesitin sağ bölgesinde yeraltı su seviyesinin 25 metre düşürülmesi sonucunda limit güvenlik koşulu sağlanmıştır.
2) B-B' kesiti incelenerek kesitin limit güvenlik koşullarını sağladığı tespit edilerek drenaj işlemine gerek görülmemiştir.
3) C-C' kesiti incelenerek kesitin sağ bölgesinde yeraltı su seviyesinin 10 metre düşürülmesi sonucunda limit güvenlik koşulu sağlanmıştır.
4) D-D' kesiti incelenerek kesitin sağ bölgesinde yeraltı su seviyesinin 20 metre ve sol bölgesinde "Sol bölgede 100 metre, sağ bölgede 20 metre" senaryosu üzerindeki çalışmalar sonucunda limit güvenlik koşulu sağlanmıştır.
5) E-E' kesiti incelenerek kesitin sol bölgesinde yeraltı su seviyesinin 25 metre düşürülmesi sonucunda limit güvenlik koşulu sağlanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bitirme çalışmamın ortaya çıkarılması sırasında işletme verilerini tarafımla paylaşan Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler San. Tic. A.Ş.'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

Bolton, H., Heymann, G., & Groenwold, A. (2003). Global search for critical failure surface in slope stability analysis. *Engineering Optimization*, *35*(1), 51-65.

Hoek, E., & Bray, J. D. (1981). "*Rock slope engineering."* CRC Press.

Kurt S. vd (2005) "Sağlık - Erenkaya (Konya Batısı) Yöresi Volkanik Kayaçlarının Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri." *F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17 (1), 190-204.

Mitto Danışmanlık A.Ş. (2020) "İnlice Altın Madeni ve Cevher Zenginleştirme Tesisi Kapasite Artışı ve Atık Depolama Tesisi" *Çevresel Etki Değerlendirme Başvuru Dosyası*, s. 48-52.

Temel A. et. al (1998). "Petrological and geochemical characteristics of Cenozoic high-K calc-alkaline volcanism in Konya, Central Anatolia, Turkey." *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 327–354.

Mermer Fabrikalarında Kullanılan Dairesel Testereli Blok Kesme (S/T) Makinelerinin Performans Analizleri

Performance Analysis of Circular Saw Block Cutting (S/T) Machines Used in Marble Factories

Ö.Bektaş, D.Tumaç
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

ÖZET Bu bildirinin amacı mermer fabrikalarında kullanılan dairesel testereli blok kesme makinelerinin performans analizlerinin yapılmasıdır. İlk olarak doğal taşlar ve S/T makineleri hakkında genel bilgi verilmiştir. Fabrikada üretilen beş farklı doğal taşa ait veriler incelenmiştir. Bu doğal taşlara ait dört farklı deney sonucu açıklanmış ve alansal net kesim oranları belirlenmiştir. Laboratuar analiz sonuçları ile alansal net kesim oranları arasındaki ilişki incelenmiş ve S/T makinelerinin performansına etkileri anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mermer, S/T Makinesi, Performans

ABSTRACT The purpose of this report is to perform a performance analysis of circular saw block cutting machines used in marble factories. First, general information about natural stones and S / T machines was given. Data on five different natural stones were examined in the factory. The results of four different tests of these natural stones have been explained and the areal net cutting ratio set. The relationship between laboratory analysis results and areal net cutting ratios was examined and their effects on the performance of S / T machines were explained.

Keywords: Marble, S/T Machine, Performance

1 GİRİŞ

Doğal taş yatakları açısından büyük önem taşıyan Alp dağları kuşağında yer alan Akdeniz ülkelerinden birisi olan Türkiye, doğal taş sektöründe Dünyada önemli bir yere sahiptir.

Doğal taş sektörü ülke ekonomisinde çok önemli bir yere sahiptir.Yapılan mühendislik ve AR-GE çalışmaları bu başarıda kritik bir öneme sahiptir. İşletmenin ve üretimin veriminin artırılmasında büyük rol oynayan değişkenler bu çalışmalar sonucunda elde edilmiştir. Bu araştırmalarla birlikte üretim maliyetlerinin düşürülmesi, kısa zamanda daha fazla üretim yapılması, verim artırımı gibi olumlu gelişmeler kaydedilmiştir. Üretim yapan makinelerin performansını doğrudan etkilemektedir.

Bu tezde ise Afyonkarahisar'ın İscehisar ilçesinde yer alan Emek Mermer üretici firmasına ait S/T makinelerinin performans analizleri yapılmıştır.

2 DAİRESEL TESTERELİ BLOK KESME (S/T) MAKİNELERİ

Dairesel testereli blok kesme makineleri, mermer ocaklarından çıkan blokları binaların iç, dış ve yer kaplamaları için mermer üretiminde kullanılan blok kesici makinelerdir. Bu makineler, mermer bloklarındaki düzensizliği giderip, değişik kalınlıklarda plaka, yarı ve tam üretim için kullanılabilir. İki veya dört ayaklı makine çeşitleri bulunmaktadır.

2.1 İki Ayaklı S/T Makineleri

İki ayaklı S/T makineleri, iki kolon ve üzerlerindeki bir köprüden oluşmaktadır. Köprü sağa ve sola hareket ederek, kesilmek istenen malzemeyi araba taşıma sistemi ile taşır. İlk kesimde hareketsiz olan taş testerenin ilerlemesi ile kesilir. İkinci kesimde ise elektronik sayaçlar yardımıyla istenilen kalınlıklar belirlenir ve kesme işlemi gerçekleştirilir. İki ayaklı S/T makinesi Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

Şekil 2.1. İki Ayaklı S/T Makinesi

2.2 Dört Ayaklı S/T Makineleri

Dört ayaklı S/T makinelerinde dört sütun ve bu sütunlar üzerinde köprü bulunur. Köprü yukarı, aşağı, sola ve sağa hareket etme özelliğine sahiptir. Köprü üzerinde testerenin ileri geri kesme hareketi yağlı slaytlar üzerinde veya iğne bilyeli ana vidalı şaftlarla sağlanır. Şekil 2.2'de dört ayaklı S/T makinesi gösterilmiştir.

Şekil 2.2. Dört Ayaklı S/T Makinesi

3 FABRİKA ÇALIŞMALARI

Doğal taş fabrikalarında kullanılan S/T makinelerinin performans ölçümleri yapılmış ve her makineye ait kullanım oranı değerleri hesaplanmıştır. Performans analizlerinin öncelikli amacı S/T makinelerinin bir saatteki metre kare cinsinden kesim oranlarının belirlenmesidir. Tablo 3.1.'de performans ölçümlerinin detaylı analizi verilmiştir.

Tablo 3.1. S/T Makinesi Performans Analizleri Ortalaması

Gözlem	1	2	3	4	5
Doğal Taş İsmi	Amore Grey Mermeri	Noche Traverteni	Silver Traverteni	Denizli Traverteni	Cappadocia Traverteni
S/T Makine İsmi	Ahmetoğulları	Ahmetoğulları	Ergenler	Ergenler	Sesemak
Testere Çapı (mm)	1.400	1.400	1.300	1.300	1.300
Plaka Ebatları (cm x cm)	150 x 43	150 x 33	140 x 33	63 x 43	43 x 33
Üretilen Plaka Sayısı	34,9	33,9	41,5	42,5	42,1
Alansal Net Kesim Oranı (m^2/sa)	23,1	16,7	19,1	11,5	6

4 LABORATUAR ANALİZLERİ

S/T makinelerinin performans analizlerinin hesaplanmasında yararlanılan doğal taşların, fiziksel ve mekanik özellikleri 'Doğal Taş Analiz Laboratuarı (DAL)' sonuçları esas alınarak bu çalışmada kullanılmıştır.

4.1 Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini

Deneyin sonuçları Denizli Traverteni için %1,5, Noche Traverteni için %0,56, Cappadocia Traverteni için %0,96, Amore Grey Mermeri için %0,13 ve Silver Traverteni için %1,62'dir.

4.2 Basınç Dayanımı Tayini

Denizli Traverteni için bu değer 49 MPa, Noche Traverteni için 70 MPa, Cappadocia Traverteni için 76 MPa, Amore Grey Mermeri için 105 MPa ve Silver Traverteni için 47 MPa'dır.

4.3 Yoğun Yük Altında Bükülme Dayanımı Tayini

Ortalama yoğun yük altında bükülme dayanımları Denizli Traverteni için 10,7 MPa, Noche Traverteni için 8 MPa, Cappadocia Traverteni için 8,2 MPa, Amore Grey Mermeri için 16,5 MPa ve Silver Traverteni için 11 MPa'dır.

4.3 Aşınma Direnci Tayini

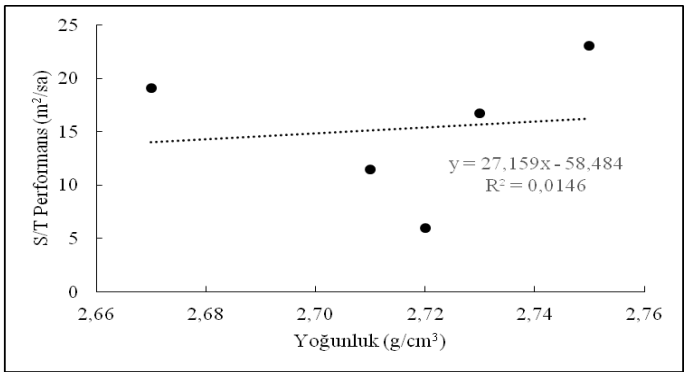
Denizli Traverteni için 18,25 mm, Noche Traverteni için 22,55 mm, Cappadocia Traverteni için 17,12 mm, Amore Grey Mermeri için 14,45 mm ve Silver Traverteni için 24,03 mm'dir. Fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının özeti Tablo 4.1.'de gösterilmektedir.

Tablo 4.1. Fiziksel ve Mekanik Deney Sonuçlarının Özeti

Doğal Taş İsmi	Yoğunluk (g/cm3)	Su Emme (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Bükülme Dayanımı (MPa)	Aşınma Direnci (mm)
Denizli Traverteni	2,71	1,15	49	10,7	18,25
Noche Traverteni	2,73	0,56	70	8	22,55
Cappadocia Traverteni	2,72	0,96	76	8,2	17,12
Amore Grey Traverteni	2,75	0,13	105	16,5	14,45
Silver Traverteni	2,67	1,62	47	11	24,03

5 SONUÇLAR

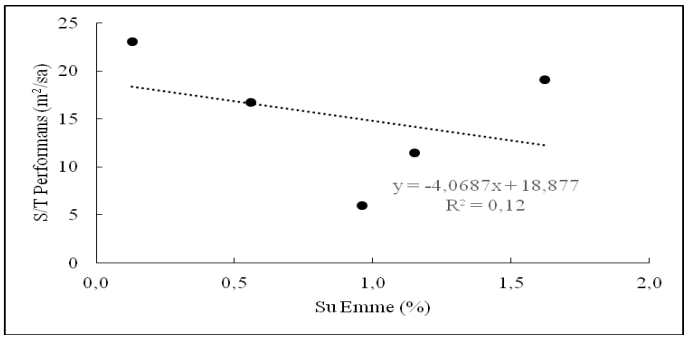
S/T makinelerinin kesim performanslarına ait detaylı analizleri sonucunda her bir doğal taş için farklı metre kare cinsinden kesim performans sonuçları elde edilmiştir. S/T makinelerinin performansını etkileyebileceği öngörüsü ile farklı doğal taşlara ait fiziksel ve mekanik özelliklerin laboratuar analiz sonuçları da bu çalışmaya eklenmiş ve aralarında bir ilişki olup olmadığı incelenmiştir. Doğal taşların alansal net kesim oranları ile yoğunlukları arasındaki ilişki (Şekil 5.1) incelenmiş ve 0,014 belirleme katsayısına sahip (R^2) zayıf bir ilişki bulunmuştur.



Şekil 5.1. S/T Kesim Performansı ile Yoğunluk Arasındaki İlişki

5.1 Atmosfer Basıncında Su Emme Analizi Sonuçları

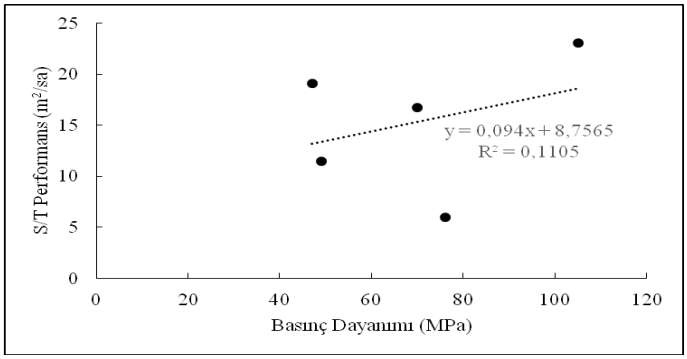
Su emme tayini analizi sonuçları ile alansal net kesim oranları arasındaki ilişki de 0,12 (R^2) belirleme katsayısına sahip zayıf bir ilişkidir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. S/T Kesim Performansı ile Su Emme Kapasitesi Arasındaki İlişki

5.2 Basınç Dayanımı Analizi Sonuçları

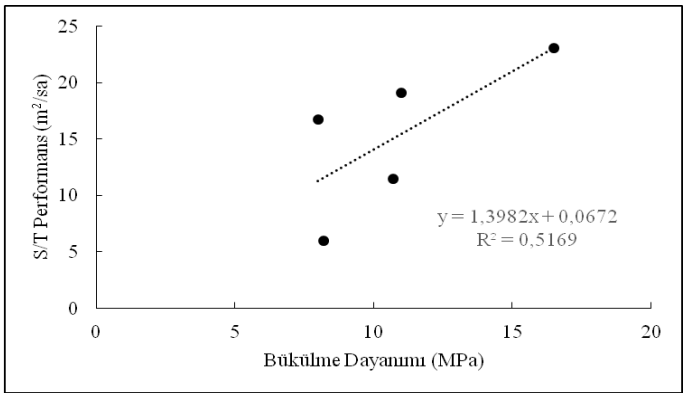
Basınç dayanımlarının kesim performansı ile ilişkisi incelenmiş ve 0,1106 belirleme katsayısına (R^2) sahip zayıf bir ilişki saptanmıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. S/T Kesim Performansı ile Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

5.3 Bükülme Dayanımı Analizi Sonuçları

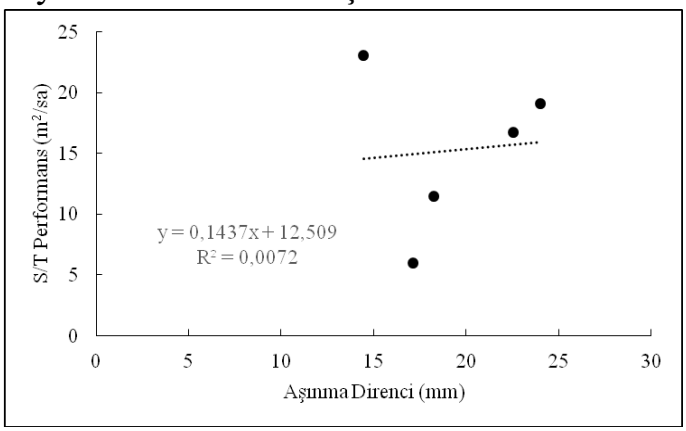
Alansal net kesim oranı ile bükülme dayanımları arasındaki ilişki incelendiğinde belirleme katsayısı (R^2) 0,517 olarak hesaplanmıştır ve orta dereceli bir ilişki bulunmuştur. Bükülme dayanımındaki artış, S/T kesim performansında da artış meydana getirme eğilimindedir.



Şekil 5.4. S/T Kesim Performansı ile Bükülme Dayanımı Arasındaki İlişki

5.4 Aşınma Direnci Analizi Sonuçları

Aşınma direnci ile kesim performansı arasındaki ilişki (Şekil 5.4) belirleme katsayısı (R^2) 0,0072 olduğundan oldukça zayıf olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.5. S/T Kesim Performansı ile Aşınma Direnci Arasındaki İlişki

Bu çalışmada beş farklı doğal taş üzerinde performans analizleri yapılmıştır. Bükülme dayanımının performans tahmininde önemli bir özellik olabileceği görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez konumu belirlememde yardımcı olup, hazırlama sürecimde hiçbir adımda yardımını esirgemeyen, her sorumu içtenlikle yanıtlayan tez danışmanım **Sn. Prof. Dr. Deniz TUMAÇ**'a desteği ve yardımları için teşekkür ederim. Tezimin ortaya çıkmasında yardımcı olan ve yol gösteren **Sn. Araş. Gör. Arif GÜMÜŞ**'e teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Doğru, B.G, 2015. Türkiye doğal taş sektörü. *İndigo Derisi*

Ergüler, G.K, 2007. Metal Madenciliğinde Kullanılan Bazı Makinelerin Performans Analizleri, *1.Maden Makineleri Sempozyumu*, Kütahya, s.105-113.

Sakaoğlı, M., 2008. Mermer fabrikalarında kullanılan dairesel testereli blok kesme (S/T) makinelerinde performans analizleri

Şengün, N., Altındağ, R., Demirdağ, S., 2013. Pamukkale Üniversitesi *Mühendislik Bilimleri Dergisi*: *Cilt 19, Sayı 3*, s.121-126.

Tümmer, (2008). http://www.tummer.org.tr/

Üçler makina, 2012. *http://www.mayuclermakine.com.tr/01urun.html*

Natura Madencilik A.Ş Tarafından Çıkarılan Bazı Mermerlerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Examination of Some Natural Stones Extracted by Natura Madencilik A.Ş

S. Burgucu, H. Tunçdemir
Istanbul Teknik Üniversiesi

ÖZET . Doğal taşlar yapıları ve güzel görünümleri itibariyle özellikle inşaat sektöründe dekorasyon ve kaplama gibi alanlarda kullanımı yoğun olan taşlardır. Bu taşların yapılara uygunluğunun belirenmesi için bazı fiziksel ve mekanik testlere tabi tutulması gerekir. Bu amaçla bu tez kapsamında, mekanik özelliklerin tayini hususunda toplamda 2 grupta 3'er farklı mermer türünden alınmış olan numunelerden, 1. grupta yer alan 2 farklı mermer çeşidi numunelerine Süleyman Demirel Üniversitesi tarafından yapılmış olan, basınç dayanımlarının belirlenmesi için UCS testi, çekme dayanımlarının belirlenmesi için Dolaylı Çekme Dayanımı Testi ve aşınmaya karşı olan dirençlerini belirlemek üzere Sürtünme ile Aşınma Kaybı (Böhme) deneyi; 2. Grupta ise Afyon Karahisar Üniversitesi Akredite Doğal Taş Analiz Laboratuarı tarafından Pantera Grigio adlı mermer örneğine ait 5 farkı numuneye UCS ve BTS testleri yapılmıştır

ABSTRACT Natural stones are stones that are used intensively in areas such as decoration and coating especially in the construction sector due to their structure and beautiful appearance. These stones must be subjected to some physical and mechanical tests to determine their suitability for structures. For this purpose, within the scope of this thesis, UCS test for determination of compressive strength, determination of tensile strength, made by Süleyman Demirel University on samples of 2 different types of marble in the 1st group, from samples taken from 3 different marble types in 2 groups in total for the determination of mechanical properties. Indirect Tensile Strength Test and Friction Loss (Böhme) test to determine their resistance to abrasion; In Group 2, UCS and BTS tests were performed on 5 different samples belonging to the marble sample named Pantera Grigio by Afyon Karahisar University Accredited Natural Stone Analysis Laboratory.

1 GİRİŞ

Mermer içeriğinde yüksek oranda kalsiyum karbonat (CaCo3) bulunduran, kireç taşının yüksek sıcaklık ve basınç altında kristalleşmesiyle oluşan bir doğal taş türüdür. Mermer inşaatlarda dekorasyon ve kaplama malzemesi olarak kullanılır. Bu tezde Covid-19 pandemisi nedeni ile Temmer Mermer Natura Madencilik A.Ş aracılığıya ulaşılan teknik veriler ve fiziksel testlerin verileri kullanılarak hesaplamalar tümden gelim yöntemiyle başyazar tarafından yapılmış, konu ayrıntılı olarak analiz edilmiştir.

2 DOĞAL TAŞLAR

2.1 Türkiye'de Doğal Taş Potansiyeli

Dünyanın en zengin mermer yataklarının bulunduğu Alp-Himalaya Kuşağı'nda yer alan Türkiye'de yaklaşık 650 çeşit renk ve dokuda mermer çeşidi bulunur. Çeşitlilik ve rezerv zenginliği, sektör deneyimi, hammadde bolluğu, deniz taşımacılığında sevkiyat kolaylığı, dinamik sektör yapısı, yeni teknolojiler ve geniş renk yelpazesi ile

Türk doğal taş sektörü dünyada önemli bir yere sahiptir.

2.2 Doğal Taş Üretim Yöntemleri

Bu bölümde kısaca doğal taş madenciliği yöntemleri anlatılmıştır.

3 BİLECİK TEMMER MARBLE NATURA MERMERCİLİK OCAĞININ TANITILMASI

Türkiye'nin en büyük mermer ocaklarından birine sahip olan ve modern teknolojisiyle mermere hayat veren Temmer, 1998 yılında Afyon'da kurulmuştur

Temmer, Afyon, Eskişehir, Muğla gibi Türkiye'nin önemli mermer rezerv alanlarında da ocaklar açarak, ocak sayısını altıya çıkarmıştır.

Blok, levha ve ebatlı olarak satışa sunulan ürünlerin % 80'i, Kuzey Amerika, Avrupa, Uzakdoğu, Ortadoğu, Orta Asya gibi dünyanın farklı bölgelerindeki yaklaşık 40 ülkeye ihraç edilmektedir

3.1 Ocağın Konumu Hakkında Jeolojik Bilgiler

Bu bölümde staj yapılan ocağa ait jeolojik bilgiler, yıllık ve toplam rezerv kapasiteleri ve ocağa ait uydu görüntüsü bilgileri yer almaktadır.

3.2 Kullanılan Makine ve Ekipmanlar

Kullanıan makine ve ekipmanlar bir tablo

aracılığıyla gösterimiştir

4 NUMUNELERİN TANITILMASI

4.1 Deney Numuneleri

Perletto ve Dolomit, 30x30x13 cm numuneleri temin edilmiş, bu numunelerden 2 gün süresinde karot makinesi kullanılarak karot numuneler elde edilmiştir. Bu karotlar NX (54mm çapında) alınmıştır. Bu numuneler üzerinde Tek Eksenli Basınç Dayanımı, Brazilian Çekme Dayanımı, ve Sürtünme ile Aşınma Kaybı (Böhme) deneyleri uygulanmıştır.

Pantera Grigio adlı mermere 2 gün süresince karot makinesi kullanılarak karot numuneler elde edilmiştir. Her deney için her numune başına 10 karot numune kulllanımıştır Bu numuneler üzerinde Tek Eksenli Basınç Dayanımı ve Brazilian Çekme Dayanımı deneyleri uygulanmıştır.

5 YAPILAN DENEYLER VE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

5.1 Tek Eksenli Basınç Dayanımı (UCS) Deneyi

UCS, doğal taşların dayanımının belirlenmesinde başlıca parametrelerden biridir. Genellikle NX veya 2.125 inç (54 mm) çapındaki karot numuneler vasıtasıyla ölçülmektedir. Deneyin yapılışında çap:yükseklik oranı 1:2 (54mm / 108mm) olan bir karotun paralel uçları, üzerinde basınç göstergesi bulunan bir hidrolik pres içerisine yerleştirilir. Hidrolik pres tarafından kırılma noktasına kadar eksenel yüke tabi tutulur. Enine kesit alanı A olan örnek, maksimum yük taşıma kapasitesine (F) ulaşana kadar artan bir kuvvetle yüklenir ve yüklemenin sonunda kırılma gerçekleşir. Denklem (4.1) formülle hesaplanır.

$$S=F/A \qquad (4.1)$$

5.2 Dolaylı Çekme Dayanımı (BTS) Deneyi

Her iki ucundan çekilen bir numunenin maksimum gerilmesine ulaştığı andaki dayanımına çekme dayanımı denir. Doğal taşların çekme kuvvetini hesaplamak dolaylı yoldan mümkün olmaktadır. BTS testinde bir karot; çekme kırılımına kadar olan büyüklüğe kadar artan, çapına doğru bir basınç yüküne maruz bırakılır. Gerilme kuvveti yaklaşık 0.5 uzunluk/çap oranına (54-27 / 54 mm) kesilmiş NX karot örnekleri kullanılarak ölçülür.

$$T0 = 2.F / \pi.L.D \qquad 4.2)$$

5.3 Sürtünme ile Aşınma Kaybı (Böhme) Deneyi

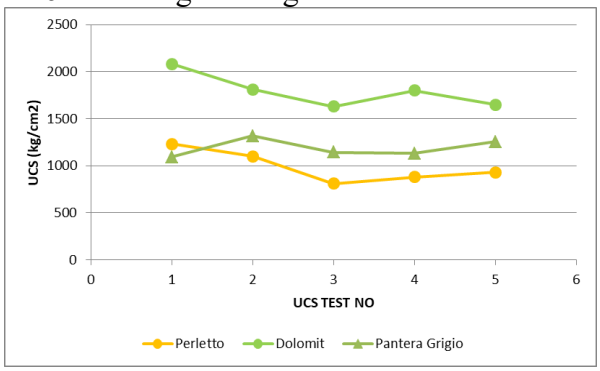
Mermerler genelde yapı malzemesi olarak kullanıldıklarından aşınma etkisi altında kalmaları muhtemeldir. Bu malzemelerin

aşınmaya karşı olan dirençlerinin ölçülmesi için kullanılan deneylerden biri Böhme aşınma deneyidir. Deneyde numunelerin alt ve üst yüzeyleri düz olacak şekilde kalan dört yüzeyi numaralandırılmıştır. Numuneler bundan sonra 0,01 gram hassasiyetle ölçüm yapabilen terazi ile tartılmış ve deney öncesi kuru ağırlık değerleri olan G(o) hesaplanmıştır.

6 DENEY SONUÇLARININ ANALİZİ

6.1 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Sonuçları

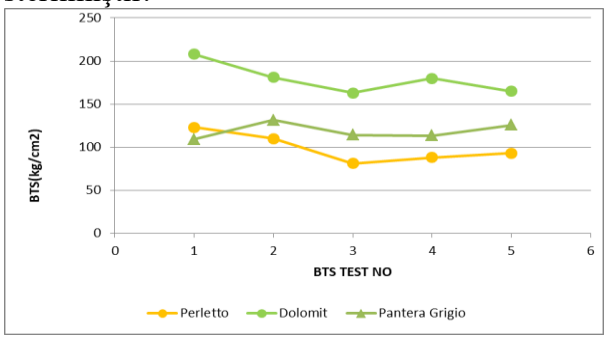
Tek Eksenli Basınç Dayanımı deneyi sonuçları, şekil 6.1'de bir grafikle gösterilmektedir.



6.2 Brazilian Çekme Dayanımı (BTS) Deneyi Sonuçları

Brazilian Çekme Deneyi sonuçları şekil 6.2'de bir grafik yardımıyla gösterilmektedir.

Ayrıca UCS ve BTS değerleri arasında üstel bir bağıntı bulunmuş ve yine birer grafikle gösterilmiştir.



6.3 Sürtünme ile Aşınma Kaybı (Böhme) Deneyi Sonuçları

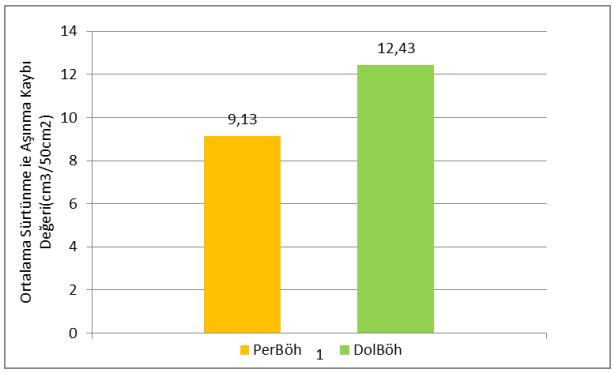
Böhme deneyi kapsamında, 2 farklı mermer türüne toplamda 10 numune üzerinde gerçekleştirilen ve yaklaşık 15 saat aktif çalışma sonrası elde edilen verilen sonucunda, 2 farklı mermer türüne ait hesaplanan değerlerin ortalamaları alınmış ve tablo 6.3'de kaydedilmiştir.

7 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Basınç dayanımları ve çekme dayanımları arasındaki korelasyon numunelerin yapısal bir bozukluk taşımadığını gösterir.
Sürtünme ile aşınma deneyi verileri ise Perletto ve Dolomit doğal taşlarının duvar

Numune Adı	UCS (kg/cm^2)	BTS (kg/cm^2)	Aşınma Dayanımı (Böhme) Deneyi ($50cm^2$ / cm3)
Perletto	990	99	9,13
Dolomit	1794	179,4	12,43
Pantera Grigio	1186,93	118,69	-

kaplaması ve yer döşemesi olarak kullanılabileceğini ispatlamıştır.



TEŞEKKÜR

Öncelikle bu zor şartlarda tez konumu belirlememde yardımcı olup hiçbir adımda yardımını esirgemeyen her sorumu içtenlikle yanıtlayan tez danışmanım Sn. Doç. Dr. Hakan Tundemir'e desteği ve yardımları için teşekkür ederim. Bugün bu noktada olmamı sağlayan koşulsuz şartsız en büyük destekçim olan aileme teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Afyon Karahisar Üniversitesi.(2018) Laboratuar Deneyi Föyü. Web Sitesi: https://temmermarble.com/tr/urun/pantera-grigio/ adresinden alındı.

Çolak, O., Tunçdemir, H. 2017. Bazı Doğal Taşların Aşındırıcılıklarının İncelenmesi, Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi İstanbul, Türkiye,

Kündem, C., Tunçdemir, H., 2016. Examination of the Mechanical Properties of Some Marbles. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. (tarih yok). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Web sitesi: http://www.mta.gov.tr adresinden alındı.

Nasuf, E., Tunçdemir, H., n.d., Rock Mechanics. Mechanical Properties of Rocks Lecture

Onargan, T., Köse, H., & Deliormanlı, H. (1992). Mermer. Ankara: TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI.

Rostami, J., Kahraman, S., Çopur, H.and Balcı, C., 2016. Rock Mechanics and Rock Engineering: From the Past to the Future. The relation between uniaxial compressive and Brazilian tensile strength. CRC Press, 1330 Pages.

Onargan, T., Köse, H., & Deliormanlı, H. (1992). Mermer. Ankara: TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI.

Süleyman Demirel Üniversitesi. (2019). Laboratuar Deneyi Föyü. Web Sitesi: https://temmermarble.com/tr/urun/dolomite/ adresinden alındı.

Süleyman Demirel Üniversitesi. (2016). Laboratuar Deneyi Föyü. Web Sitesi: https://temmermarble.com/tr/urun/perletto/ adresinden alındı.

TS 10449, 1992; "Mermer Yapı ve Kaplama Taşıolarak Kullanılan", TSE, Ankara

TS 2513, 1977; " Doğal Yapı Taşları", TSE, Ankara

Uydu Görüntüsü Web Sitesi: https://temmermarble.com/tr/ocak/rosalia-ocagi/ adresinden alındı.

Doğal Taş Fabrikalarında Kullanılan S/T ve Katrak Makinelerinin Performans Analizi

Performance Analysis of S/T and Gangsaw Machines Used in Natural Stone Factories

Ş.Kırk, D.Tumaç
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

ÖZET Bu bildirinin amacı doğal taş fabrikalarında kullanılan dairesel testereli blok kesme (S/T) ve Katrak makinelerinin performans analizlerinin yapılmasıdır. İlk olarak doğal taşlar, S/T ve Katrak makineleri hakkında genel bilgi verilmiştir. Fabrikada üretilen üç farklı doğal taşa ait veriler incelenmiştir. Bu doğal taşlarla her iki makinede yapılan deney sonuçları açıklanmış ve alansal net kesim oranları belirlenmiştir. Analiz sonuçları ile alansal net kesim oranları arasındaki ilişki incelenmiş ve S/T ve Katrak makinelerinin performans kıyaslaması anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: S/T Makinesi, Katrak Makinesi, Performans Analizi

ABSTRACT The purpose of this report is to perform a performance analysis of circular saw block cutting (S/T) and gangsaw machines used in natural stone factories. First, general information about natural stones, S/T and Gangsaw machines was given. Data on three different natural stones were examined in the factory. The results of the experiments performed with these natural stones on both machines were explained and the area net cut rates were determined. The relationship between the analysis results and the areal net cutting ratios has been examined and the performance comparison of the S / T and Gangsaw machines is explained.

Keywords: S/T Machine, Gangsaw Mahcine, Performance Analysis

1 GİRİŞ

Doğal taş sektörü Türkiye ekonomisinde önemli bir yere sahiptir ve bu başarının arkasında mühendislik çalışmaları kritik bir yere sahiptir. Üretim veriminin artırılmasında büyük rol oynayan değişkenler bu çalışmalar sonucunda elde edilmiştir. Mühendisliğin bir görevi olan üretim maliyetlerinin düşürülmesi, kısa zamanda daha fazla üretim yapılması ve verim artırımı gibi olumlu gelişmeler, üretim yapan makinelerin performansı ile doğrudan ilişkilidir.

Bu tezde ise Marmara Adası'nda yer alan Onur Dolomit Madencilik üretici firmasına ait S/T ve Katrak makinelerinin performansları incelenerek veri analizleri yapılmıştır.

2 DAİRESEL TESTERELİ BLOK KESME (S/T) MAKİNELERİ

Mermer plaka ve fayans üreten fabrikaların büyük çoğunluğu ST makinelerinde üretim yapmaktadır. Bu makineler 1,8 m-3,0 m çapında, 4-6 mm kalınlığında dairesel bir

disk etrafına oturtturulmuş soketlerle kesim yapar. Dönme hızları yüksektir. Hız kontrollüdür, hidrolik sistem vasıtasıyla ilerler. (MEGEP, 2008).

2.1 İki Ayaklı S/T Makineleri

Çift ayaklı dairesel testereli blok kesme makinelerinde, köprü iki ayak üzerine montelenmiş bir şekilde durmaktadır. Bu makinelerde ayak sayısından dolayı dairesel testere iki boyutta hareketini gerçekleştirmektedir. Kesici testereler bu köprü üzerinde yatay bir şekilde hareketlerini gerçekleştirirler. Sistem düşey hareket için ise köprü ünitesine monte edilen ayaklarda bulunan dişli millerden yararlanır.

2.2 Dört Ayaklı S/T Makineleri

Dört ayaklı dairesel testereli blok kesme (S/T) makinelerinde dört adet kolon bulunmakta ve kolonlar ikişerli olarak karşılıklı gruplar halinde birbirlerine bağlı durmaktadırlar. Doğal taş bloğu, vagon ile birlikte makinenin ortasına getirilir ve sabitlenir. Döner testereler çift ayaklı modellerinden farklı olmak üzere 3 boyutlu hareket yapabilirler. Bu makinelerde ayrıca birden fazla dikey testere kullanılabilmektedir. Bu makinelerde 180 cm çapında olanlarda 100–125 soket, 150 cm çapında olanlarda 84 civarında soket bulunur. Kesme hassasiyeti vagon hareketlerinin sebep olduğu olumsuzluklardan etkilenmediği için daha yüksektir. Diğer versiyonlarına göre daha fazla alan kaplarlar ancak kesilen plakaların alınması çok daha kolaydır. Yatay diskleri düşey olanlarına oranla çok daha küçük çaplıdırlar. Şekil 2.2'de dört ayaklı S/T makinesi gösterilmiştir (Güngör Y., 2011a).

Şekil 2.1. Dört Ayaklı S/T Makinesi

3 KATRAK MAKİNELERİ

Katrak makineleri, ocaklardan gelen doğal taş blokları ve molozlarından aynı anda birden fazla levha elde edilmesinde kullanılan makinelerdir. Katrak makineleri ile üretilen levhaların kenarları simetrik olacak diye bir şart yoktur. Çalışılan bloğun şekline göre kenarlar, düzensiz ve asimetrik olabilir. Kesme işlemi, lineer olarak hareket eden elmas soketlere lehimlenmiş lamaların doğal taş bloğuna nüfuz etmesi ile gerçekleştirilir. Şekil 3.1'de Katrak makinesi gösterilmiştir. (Güngör Y., 2011b).

Şekil 3.1. Katrak Makinesi

4 FABRİKA ÇALIŞMALARI

Bu çalışmada Marmara Dolomit, Pijama ve Panda doğal taşlarının S/T ve Katrak makineleriyle ayrı ayrı kesim performans analizleri karşılaştırılmıştır.

4.1 S/T Performans Analizi

Bu bölüm kapsamında 3 farklı doğal taş örneğinin Onur Madencilik doğal taş işleme fabrikasında dairesel testereli blok kesme makineleri (S/T) ile kesimleri analiz edilmiştir. Performans ölçümü ve analizleri Marmara Dolomit, Pijama ve Panda doğal taş blokları üzerinde yapılmıştır. Performans analizi Mutlu Makine marka S/T makinesi üzerinde yapılmıştır. Tablo 4.1-3'de dairesel testereli blok kesme makinelerinin (S/T) performans analizleri gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Marmara Dolomit S/T performans analizi

Ölçüm no	1	2	3	Ortalama
Plaka ebatları (cm x cm)	204 x 33	204 x 33	204 x 33	204 x 33
Üretilen plaka sayısı	26	29	22	83,7
Alansal plaka üretim oranı (m^2/h)	17,5	19,5	14,8	17,2

Tablo 4.2 Marmara Pijama S/T performans analizi

Ölçüm no	1	2	3	Ortalama
Plaka ebatları (cm x cm)	220 x 30	220 x 30	220 x 30	220 x 30
Üretilen plaka sayısı	16	12	13	92
Alansal plaka üretim oranı (m^2/h)	10,5	7,9	8,5	8,9

Tablo 4.3 Marmara Panda S/T performans analizi

Ölçüm no	1	2	3	Ortalama
Plaka ebatları (cm x cm)	220 x 30	220 x 30	220 x 30	220 x 30
Üretilen plaka sayısı	11	11	9	201
Alansal plaka üretim oranı (m^2/h)	7,2	7,2	5,9	6,7

4.2 Katrak Performans Analizi

Performans ölçümü ve analizleri Marmara Dolomit, Marmara Pijama ve Marmara Panda doğal taş blokları üzerinde yapılmıştır. Performans analizi tutulan makineler 2012 model MKS marka katrak blok kesme makineleridir. . Tablo 4.5'te katrak blok kesme makinelerinin performans analizleri gösterilmiştir. Kesim hızları vagona koyulan bloğun boyuna ve doğal taşın kırıklı çatlaklı yapısına göre değişiklik gösterebilir.

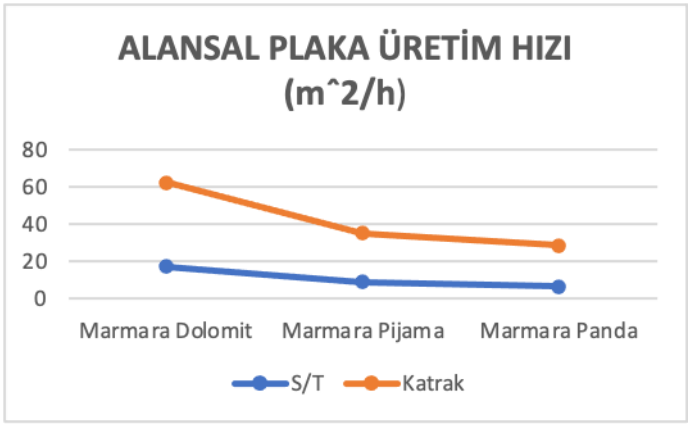
Tablo 4.5 Marmara Dolomit, Marmara Pijama ve Marmara Panda katrak performans analizi

Doğal taşın ismi	Marmara Dolomit	Marmara Pijama	Marmara Panda
Blok Ölçüsü (cm x cm x cm)	270 x 140 x 170	220 x 145 x 160	215 x 150 x 162,5
Toplam geçen zaman (h)	4,70	5,5	7
Plaka boyutu (cm x cm x cm)	270 x 2 x 170	220 x 2 x 160	215 x 2 x 162,5
Üretilen plaka sayısı	46	41	44
Üretilen toplam plaka alanı (m2)	211,1	144,3	153,7
Alansal üretim oranı (m2/h)	44,9	26,2	21,9

4.3 S/T ve Katrak Performans Analizlerinin Karşılaştırılması

Blok kesme makinaları ayrı ayrı incelendiğinde, makine performansları sonucu elde ettiğimiz alansal plaka üretim hızları birçok parametreyle ilişkilendirilebilir. Bu parametreler; doğal taşın cinsi, testere etkileri, soğutmada kullanılan su miktarı, makine gücü hatta kullanan operatörün davranışları olarak tanımlanabilir. Optimum üretim için doğal taş fabrikalarında makinaların ölçüm ve denetimi sıklıkla yapılmalıdır. Bu çalışma kapsamında S/T ve Katrak makinelerinin

kesim performansları incelenmiş olup, Şekil 4.1'de incelemenin sonuçları grafik halinde görülebilmektedir.



Şekil 4.1. S/T ve Katrak alansal plaka üretim oranlarının karşılaştırması

Şekil 4.1'den yapılan gözlemlere dayanarak katrak blok kesme makinelerinin, S/T blok kesme makinelerine göre 2,93 kat yüksek alansal plaka üretim oranlarının olduğu anlaşılmıştır. Bölüm 5'te bu grafikten ve yapılan analizlerden ortaya çıkan sonucun durumu özetlenmiştir..

5 SONUÇLAR

Tez kapsamında Marmara Dolomit, Marmara Pijama ve Marmara Panda doğal taş bloklarının fabrikada S/T ve katrak makineleriyle alansal plaka üretim hızları ölçülmüş ve aralarındaki farklılıklar kıyaslanmıştır. Çalışmalar sonucunda katrak blok kesme makinelerinin S/T makinelerine oranla neredeyse üç kat daha yüksek bir performans sergiledikleri gözlemlenmiştir. Bu tezde de görüldüğü üzere katrak makinalarının S/T makinalarına oranla daha iyi sonuç verdiğini, hali hazırda, fabrikaların katrak blok kesme makinelerine her geçen gün daha çok yatırım yapmalarından da anlayabiliriz. Ancak katrak makinesine sadece belirli boyutlarda, çatlaksız kırıksız blokların girebilmesinden dolayı avantaj sahibi olan S/T makinalar aynı zamanda özel sipariş plaka boyutları da sunabilmektedir. Bu nedenle S/T makineleri doğal taş kesme fabrikalarında kullanımı devam etmektedir ve yakın gelecekte de bu makinelerin doğal taş kesme fabrikalarında yerini almaya devam edecektir.

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu bitirme tezimi yazdığım süre boyunca her türlü desteği veren, oldukça yoğun olmasına rağmen daima desteğini esirgemeyen tez danışmanım sayın Prof. Dr. Deniz Tumaç'a teşekkür ederim. Tüm dünyanın çok zor şartlardan geçtiği şu dönemde saha çalışmalarımda gerekli tüm kolaylıkları sağlayan Ali Yağcı ve mezun olmam için tüm fedakarlıkları yapan en büyük destekçilerim olan aileme çok teşekkür ediyorum.

KAYNAKLAR

Güngör, Y., 2011a**.** "Mermer Plaka Kesimi-2", T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Makine Teknolojisi Modülü, Ankara 2011.

Güngör, Y., 2011b**.** "Katrakta Plaka Kesimi", T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Makine Teknolojisi Modülü, Ankara 2011.

MEGEP, (2008). Mesleki eğitim ve Öğretim sisteminin güçlendirilmesi projesi,*Makine Teknolojisi, Mermer* Plaka *Kesimi.* Ankara: MEGEP.

Niğde Bolkar Polimetal Yeraltı Madeninde Yeraltı Üretim Yönteminin Kaya Mekaniği Esaslarına Göre İncelenmesi

Investigation of Underground Production Method in Niğde Bolkar Polimetal Underground Mine According to Rock Mechanics Principles

B. N. YILDIRIM, C. A. ÖZTÜRK
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu çalışmada, Niğde İli Bolkar Dağları'nda bulunan kurşun, çinko, bakır, altın ve gümüş gibi kıymetli metalleri içeren yeraltı madeninde; yeraltı maden üretim yönteminin planlamasına katkı sağlaması amacıyla, üretim katları arası mesafenin tasarımı içim ihtiyaç duyulan çalışmalar yapılmıştır. Tüm bu çalışmalar maden sahasının jeoteknik yapısına uygun olarak ve kaya mekaniği esasları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, çalışan iki ana üretim katı arasında bulunması gerekli olan topuk mesafesi ile ilgili önerilerde bulunulmuştur.

ABSTRACT In this study, in the underground mine containing precious metals such as lead, zinc, copper, gold and silver that located in Bolkar Mountains of Niğde Province; In order to contribute to the planning of the underground mine production method, necessary studies were carried out to design the distance between production floors. All these studies were carried out in accordance with the geotechnical structure of the mine site and taking into account the rock mechanics principles. As a result of the study, suggestions were made regarding the pillar distance that should be found between the two main galleries.

1 GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Yapılan çalışmayla, maden sahasının planlanmasında ana katlar arasında bırakılacak mesafenin galeriler üzerindeki deformasyon ve yenilme bölgesi değerlerini tayin ederek, maden işletme yönteminin jeoteknik yapıyı temel alacak şekilde tasarımlandırılması hedeflenmiştir. Nümerik modeller kullanılarak gerekli sonuçlara ulaşılmış ve sonuçların değerlendirilmesiyle topuk mesafesinin açıklık etrafındaki etkisi gözlenmiştir.

1.2 Çalışmanın Yapıldığı Saha ve Çalışmada İzlenen Adımlar

Bitirme çalışması, Niğde ili Madenköy mevkiinde bulunan Bolkar dağları polimetal yeraltı madeninde gerçekleştirilmiştir. Hali hazırda işletilen bölümlerinin dışında yeni arama faaliyetleri sonucu ortaya çıkartılan cevher yapısında, kes-doldur üretim yöntemiyle çalışacak maden işletmesinin değerlendirilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada; aktif üretim katları arasında bırakılması gerekli topuk miktarı nümerik yöntemler esas alınarak değerlendirilmiştir. Yöntemin kullanımı için gerekli jeolojik ve jeoteknik veriler maden sahasında yapılan mevcut çalışmalardan derlenmiştir. Çalışma

da RS2 nümerik yazılımı kullanmak suretiyle iki aktif kat arasında 15 m ve 30 m bırakılması durumunda ortaya çıkacak sonuçlar değerlendirilmiştir.

2 UYGULANAN TESTLER

Kayaç malzemelerinin mekanik ve fiziksel özellikleri İTÜ Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarı tarafından yapılan kaya mekaniği testlerinden belirlenmiş olup; tek eksenli basınç dayanımı, endirekt çekmedayanımı, üç eksenli basınç dayanımı testleri uygulanmıştır. Ek olarak elastik modül, Poisson oranı, birim hacim ağırlığı, su içeriği, su emme kapasitesi ve gözeneklilik, sağlam kayaç malzemesi özelliklerine göre kaya mekaniği testi sırasında belirlenen parametreler olmuştur (Öztürk, 2020).

3 KES DOLDUR YÖNTEMİ

Bu üretimin temeli delme ve patlatmadır. Tüm benzer yeraltı üretim yöntemleri arasında en geniş uygulama alanına sahiptir ve seçimli üretim için oldukça elverişlidir. Her ne kadar zemin kontrolü yöntemi pahalı hale getiriyor da olsa, bu yöntemde göçük vb gibi istenmeyen olgular minimumdadır.

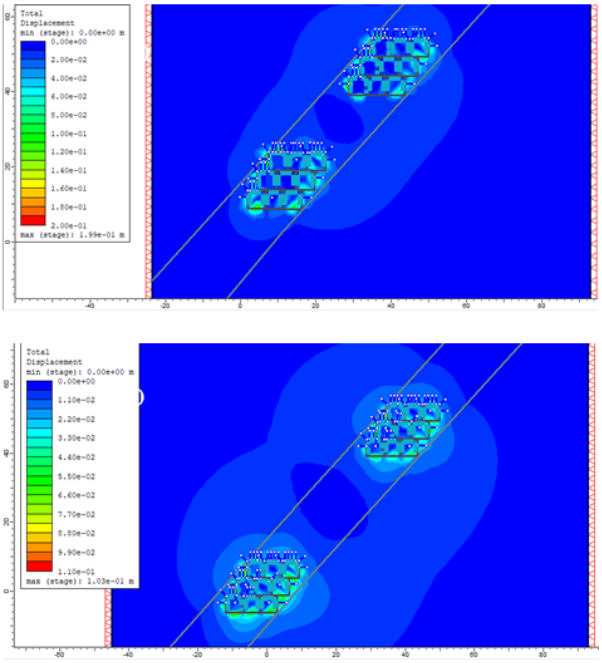
3.1 Yöntemin Uygulanması

Üretim galerisinin dibinden başlanarak ve tavana kadar yatay cevher dilimleri alınarak yukarı doğru ilerlenir. Cevher galerilerinde delik delinir, patlatılır, yüklenir ve cevher galeriden nakledilir. Kırılan cevher, cevher bürlerine yüklenir. Bu şekilde diğer tüm yeraltı madencilik yöntemlerinden farklı olarak üretim galerisi tamamen temizlenir. Daha sonra galeri, projeye göre tasarımlandırılan dolgu malzemeleri ile tekrar doldurulur. Her dilim alındıktan sonra duvarları desteklemek ve bir çalışma platformu sağlamak için boşalan hacim doldurulur. Benzer koşullarda kullanılan alt düzey sıkıştırma ve büzülme ile karşılaştırıldığında, kesme ve doldurma neredeyse tam bir seçimli üretim avantajı sunar.

4 MADEN TASARIMI İÇİN NÜMERİK ANALİZLER

4.1 Toplam Deformasyon Analizleri

İki ana galeri arasında 15 m ve 30 m topuk bırakılması senaryosunun son adımı aşağıda

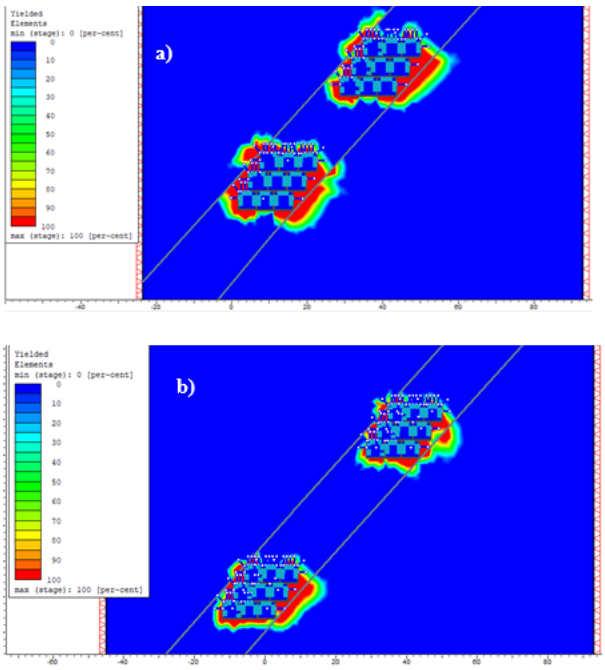


10. aşama toplam deformasyon a) 15 m topuk b) 30 m topuk.

verilmiştir.

4.2 Yenilme Bölgeleri Analizleri

İki ana galeri arasında 15 m ve 30 m topuk bırakılması senaryosunun son adımı aşağıda verilmiştir.



10. aşama yenilme bölgeleri a) 15 m topuk b) 30 m topuk.

5 SONUÇLAR

Oluşturulan nümerik modellerde üretim açıklıkları etrafındaki deformasyon miktarlarının incelemelerine bakıldığında;

1) İlk aşama için iki ana kat arası 15 m mesafe bırakılması durumunda sonuç çıktılarında yer alan değerlerin tabanlarda ortalama olarak 6 cm'ye dayandığı görülür. Aynı aşama için iki ana kat arasında 30 m mesafe bırakıldığı durumda deformasyon yaklaşık 5 cm'de kalmıştır.
2) Takip eden adımlarda beşinci aşamada bulunan değerlere göre, iki ana kat arasında 15 m topuk bırakılması sonucu; galerideki deformasyon değerinin, iki ana kat arasında 30 m olduğu durumun neredeyse iki katı çıkması olarak yansımaktadır. Son aşamadaki deformasyon değerlerine bakıldığında iki senaryo için de değerler yakın olmasına rağmen, deformasyonun iki ana kat arasında 30 m olduğunda daha az olduğu tespit edilmiştir.

Üretim bölgelerindeki yenilme bölgelerinin değerlendirilmesi sonucunda;

1) İlk aşamada arada bir üretim katı kadar topuk bırakıldığında yenilme bölgelerinin kaya saplamalarının neredeyse iki katı çıktığı gözlenmiştir.
2) Arada iki üretim katı kadar topuk mesafesi bırakıldığında bu yenilme bölgeleri kaya saplamalarının içerisinde kalmaktadır.
3) Nümerik analizlerin beşinci adımında iki ana kat arası 15 m mesafe olması durumunda yenilme bölgelerinin geniş bir alana yayıldığı ve kaya saplamalarını fazlaca aştığı farkedilmiştir. Elde edilen yenilme bölgesi sonuçları kaya saplamalarının iki katından daha fazla olacak şekildedir. İki ana kat arasında 30 m mesafe olması senaryosunda yenilme bölgelerinin yüksek oranda kaya saplamaları çerçevesinin dışına hala taşmadığı görülür.
4) Onuncu ve son adımda arada tek üretim katı kadar mesafe olduğunda yenilme bölgelerinin fazlasıyla artmakta olduğu ve geniş alanlara yayıldığı gözlenir. Bu durum arada iki üretim katı kadar mesafe bırakılması senaryosundan oldukça farklı sonuçlar vermiştir; iki kat arasında 30 metre topuk bırakıldığında yenilme bölgeleri yalnızca alt kat imalatlarının taban taşı sırasında bir miktar taşma yapmıştır, diğer kısımlarda yenilme bölgeleri kaya saplamalarını geçmemektedir.

Sonuçlar değerlendirildiğinde iki ana kat arasında 30 metre mesafe bırakılması durumunun üretim açıklıkları etrafındaki yenilme bölgelerinin ve deformasyonların, 15 m topuğa göre neredeyse yarı yarıya az olması ve 15 m topuk durumunda özellikle taban taşı bölgesindeki duvarlarda yüksek miktarlarda yenilme bölgesi olmasından dolayı, aktif çalışan katlar arasında iki ana kat mesafesi kadar topuk bırakılmasının yerinde olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

TEŞEKKÜR

Her zaman yanımda olan değerli aileme, bulunduğu her yeri güzelleştiren arkadaşlarıma ve beni bile kendime inandırmayı başarmış olan sevgili danışmanım Doç. Dr. C. Atilla Öztürk'e şükranlarımı sunarım.

KAYNAKLAR

Atlas Copco., 2008. Mining Methods in Underground Mining, s. 37.

Barton, N., Rock Mechanics, s 189-236

Bieniawski, Z. T., 1989. Engineering Rock Mass Classifications John Wiley&Sons: New York.

Fırat Ersoy, A., 2020. Gümüştaş Madencilik ve Ticaret A.Ş. Niğde İli Ulukışla İlçesi Madenköy Sahasına Ait Jeolojik-Hidrojeolojik Rapor, s. 9-15.

Hoek, E., Brown, E. T., 1980. Underground Excavations in Rock, Institution of Mining and Metallurgy, London, 527 pp.

Oraee, K., Cut-and-Fill Mining, s. 1-5. Retrieved from http://www.oraee.net/

Öztürk, C.A., 2020. Bolkar Mountains Polymetal Underground Mine Geotechnical Research and Development Project, İ.T.Ü. Project Report, İstanbul, s. 2-66

Başakşehir Kayaşehir Metro Hattı Tünel Tahkimat Sistemlerinin Analizi

Başakşehir Kayaşehir Metro Project Tunnel Support Systems Analysis

S. Topçu, H. Tunçdemir
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

ÖZET Bu bitirme çalışması, Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü tarafından Başakşehir Kayaşehir mevkileri arasında ulaşımı sağlamak amacıyla ŞENBAY ÖZGÜN SÖĞÜT İŞ ORTAKLIĞI'na ihalesi verilen Başakşehir-Kayaşehir Metro Projesi'nin tünel tahkimat sistemlerinin analizi üzerinedir.

Başakşehir-Kayeşehir Metro hattı Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi ve Tam Cephe Tünel Açma Makinesi (Tunnel Boring Machine, TBM) ile kazılmaktadır. Bu çalışma ile Yeni Avusturya Tünel Açma Yönteminde kullanılan tahkimat sistemleri incelenmiş, analizlerin yapılabilmesi için kazıda ve tahkimatta geçen her bir işlem süresi kaydedilmiştir. Bunun sonucunda yapılan her kazı döngüsü için ortalama tahkimat sürelerine ulaşılmıştır ve bu sürelerin iyileştirilmesi için gerekli değerlendirmelerde bulunulmuştur.

ABSTRACT This graduation thesis is on the analysis of the tunnel support systems of the Başakşehir-Kayaşehir Metro Project, which was awarded to ŞENBAY ÖZGÜN SÖĞÜT BUSINESS PARTNERSHIP by the General Directorate of Infrastructure Investments in order to provide transportation between Başakşehir Kayaşehir locations.

Başakşehir-Kayeşehir Metro line is being dug with the New Austrian Tunneling Method and Tunnel Boring Machine (TBM). With this study, the fortification systems used in the New Austrian Tunneling Method were examined, and each process time in the excavation and fortifications was recorded in order to make analysis. As a result, average fortification durations were reached for each excavation cycle and necessary evaluations were made to improve these durations.

Keywords: Tunneling, NATM, Supporting

1 GİRİŞ

1.1 Genel Bilgiler

Bu çalışma Marmara bölgesi İstanbul ilinde Başakşehir Kayaşehir mevkiileri arasında ulaşımı sağlamak amacıyla ŞENBAY ÖZGÜN SÖĞÜT İŞ ORTAKLIĞI'na ihalesi verilen Başakşehir-Kayaşehir Metro Projesi'nin tünel tahkimat sistemlerinin analizi üzerinedir.

Bu bağlamda Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu ile kazısı yapılan şaftlarda (Şaft 1, Şaft 2, Şaft 3) 10.08.2020 – 10.09.2020 tarihleri arasında, tüm hatlarda incelemeler yapılmış, sonuçları değerlendirilmiştir. Analizler için tablolar ve grafikler kullanılmıştır.

1.2 Çalışma Alanının Jeolojisi

Proje alanı, İstanbul Birliği içinde yer almakta olup İstanbul Birliği Karadeniz'in Güneybatısı'nda 400 km kadar uzunluğa, 55 km kadar genişliğe sahip kıtasal bir tektonik parçadır.

2 TÜNELCİLİĞİN TARİHSEL GELİŞİMİ

2.1 Tarihçe

Tünel yapımının temeli ilk insanların kullandıkları dehliz ve mağaralara dayanır. İnsanlar bu yapıları daha korunaklı hale getirmek için büyütüp sağlamlaştırmışlardır. Doğal yolla oluşmayan yerlerde ise kendileri dehliz açarak yaşam alanı oluşturmuşlardır. Bu sayede insanlar sığınma amaçlı oluşturdukları yapılar sayesinde kazıya başlamışlardır (Bozkurt, 1987).

2.2 Tünel Açma Metodları

2.2.1 Klasik Metodlar

Klasik yöntemlerde kazı elle veya basit kazıcılarla çok aşamalı şekilde yapılmakta, destekleme ise kalın kerestelerle sağlanmaktadır. Pasa alımı ise taşıyıcı arabalarla veya buharlı taşıma araçları ile yapılmaktadır (Satıcı & Topal, 2015). Klasik yöntemler beş ana başlık altında toplanmaktadır. Bunlar: İngiliz metodu, Eski Avusturya Metodu, Belçika Metodu, Alman Metodu ve İltalyan metodudur.

2.2.2 Günümüzde Kullanılan Metodlar

Günümüzde daha ekonomik ve daha hızlı kazı tekniklerine geçilmiştir. Bunlar: delme ve patlatma metodu, aç kapa metodu, makine ile kazı ve Yeni Avusturya Tünel Açma yöntemidir.

Teze konu olan NATM, kazılan kaya ortamının kendisini taşıma prensibine dayanır. Temel ilke uygun kazı yöntemleriyle kazı sonrası oluşacak ikincil deformasyonları belirlemek, kontrol altında tutmak ve tahkimat işleri ile tünel çevresindeki zeminin kendini taşımasını sağlamaktır (Tunçdemir *ve diğ.,* 2017).

3 BAŞAKŞEHİR-KAYAŞEHİR METRO PROJESİ KAZI DESTEK SİSTEMLERİ

3.1 Başakşehir-Kayaşehir Metro Projesinde Uygulanan NATM Döngüsü

Başakşehir-Kayaşehir Metro projesi için kazı, pasa ve tahkimat işleri NATM döngüsünün temelidir.

3.1.1 Kazı ve Pasa İşleri

Şaftlarda kazı; patlatma ve hidrolik kırıcılı ekskavatör ile yapılmaktadır. Yerleşimin olduğu kısımlarda patlayıcı madde kullanımı azaltılmakta, yerleşimden uzak yerlerde optimum patlayıcı madde kullanılmaktadır. Kazı adımı, yapılan ölçümler doğrultusunda 80 cm, 1 metre veya 1,20 metre olabilmektedir

3.1.2 Tahkimat İşleri

Kazı ve pasa işleri tamamlandıktan sonra tahkimat işlerine geçilir. Başakşehir-Kayaşehir Metro projesinde kullanılan tahkimat elemanları: püskürtme beton, çelik hasır, kafes iksa, kaya bulonu, süren, şemsiye boru ve ayna zemin çivisidir.

3.2 Başakşehir-Kayaşehir Metro Projesindeki Tünel Tipleri ve Kazı Destek Sınıfları

Başakşehir-Kayaşehir Metro projesinde her şaftta gidiş ve dönüş olmak üzere iki ayrı hat çalışmakta, dört farklı tünel kesiti kullanılmaktadır. Bunlar: A (ana hat tünelleri), P (peron tünelleri), B (bağlantı tünelleri) ve T (makas tünelleri)'dir. Kazı destek sınıfları ise A3 ve A4'tür.

A3 destek sınıfında destekleme elemanları şu sırayla kurulmaktadır: 1. sıra hasır çelik ve kafes kiriş yerleştirilir. Kafes kiriş ve 1. sıra çelik hasır yüzeyine püskürtme beton atılır. Ardından 2. sıra çelik hasır yerleştirilir ve püskürtme beton kalınlığı 25 cm olacak şekilde bu işlem tamamlanır. Son olarak kaya bulonları çakılır.

A4 destek sınıfında ise destekleme elemanları şu sırayla kurulmaktadır: 1. kademe püskürtme beton atılır. 1. sıra hasır çelik ve kafes kiriş yerleştirilir. Kafes kiriş ve 1. sıra çelik hasır yüzeyine püskürtme beton atılır. Ardından 2. sıra çelik hasır yerleştirilir ve püskürtme beton kalınlığı 30 cm olacak şekilde bu işlem tamamlanır. Kaya bulonu / zemin çivisi imal edilir. Son olarak bir sonraki kademe için şemsiye borular çakılır.

4 ANALİZLER

Analizler kısmında Başakşehir – Kayaşehir Metro hattı şaftlarında (Şaft1, Şaft2 ve Şaft3) yapılan bir aylık kazı çalışmalarının ve tahkimat işlerinin ne kadar zaman aldığı tespit edilmiş, her bir iş için yüzde hesabı yapılmıştır. (Şaft 1'de Hat1 İleri ve Hat 2 İleri, Şaft 2'de Hat 1 İleri, Hat 1 İleri Alt yarı, Hat 1 Geri, Hat 2 İleri, Hat 2 İleri Alt yarı, Hat 2 Geri, Şaft 3'te Hat 1 İleri, Hat 1 Geri, Hat 2 İleri, Hat 2 Geri olmak üzere 3 tane şaft ve her şaft için belirtilen sayıda çalışma hattı bulunmaktadır). Bu sayede şaftlar arasında veriler kıyaslanabilir olmuş, değerlendirilmeler yapılmıştır.

4.1 Şaft 1'in Genel Değerlendirilmesi

Çizelge 1'de Şaft 1'in 30 gün boyunca tahkimat işlerine ayrılan süreleri, o gün bütün işlere ayrılan toplam süreler ve o gün tahkimat işlerine yüzdece ne kadar zaman harcandığı verilmiştir. Şaft 1'de 30 gün boyunca toplam 83960 dakika çalışılmış ve bu sürenin 32470 dakikası tahkimat işlerine ayrılmıştır. Tahkimat işleri 32470 dakika toplam sürenin yaklaşık %38,67'si kadardır.

Çizelge 1. Şaft 1 tahkimat işleri çizelgesi

Günler	Tahkimat İşleri (dk)	Toplam Süre (dk)	Yüzde (%)
10.8.2020	750	2880	26,04
11.8.2020	1030	2880	35,76
12.8.2020	900	2880	31,25
13.8.2020	775	2880	26,91
14.8.2020	770	2880	26,74
15.8.2020	1005	2805	35,83
17.8.2020	735	2555	28,77
18.8.2020	1535	2690	57,06
19.8.2020	1410	2850	49,47
20.8.2020	1060	2560	41,41
21.8.2020	1530	2790	54,84
22.8.2020	1410	2880	48,96
23.8.2020	1440	2850	50,53
24.8.2020	1140	2760	41,30
25.8.2020	990	2790	35,48
26.8.2020	720	2670	26,97
27.8.2020	1110	2850	38,95
28.8.2020	990	2790	35,48
29.8.2020	1170	2850	41,05
31.8.2020	1170	2760	42,39
1.9.2020	750	2790	26,88
2.9.2020	510	2850	17,89
3.9.2020	630	2880	21,88
4.9.2020	750	2790	26,88
5.9.2020	1440	2820	51,06
6.9.2020	1590	2850	55,79
7.9.2020	1950	2790	69,89
8.9.2020	1530	2820	54,26
9.9.2020	660	2820	23,40
10.9.2020	1020	2700	37,78
TOPLAM	32470	83960	38,67

4.2 Şaft 2'nin Genel Değerlendirilmesi

Çizelge 2'de Şaft 2'nin 30 gün boyunca tahkimat işlerine ayrılan süreleri, o gün bütün işlere ayrılan toplam süreler ve o gün tahkimat işlerine yüzdece ne kadar zaman harcandığı verilmiştir. Şaft 2'de 30 gün boyunca toplam 192890 dakika çalışılmış ve bu sürenin 86565 dakikası tahkimat işlerine ayrılmıştır. Tahkimat işleri 86565 dakika toplam sürenin yaklaşık %44,88'si kadardır.

Çizelge 2. Şaft 2 tahkimat işleri çizelgesi

Günler	Tahkimat İşleri (dk)	Toplam Süre (dk)	Yüzde (%)
10.8.2020	2895	5730	50,52
11.8.2020	2700	5730	47,12
12.8.2020	3300	4910	67,21
13.8.2020	1920	5580	34,41
14.8.2020	2085	5370	38,83
15.8.2020	2640	5550	47,57
17.8.2020	2385	7140	33,40
18.8.2020	3060	7110	43,04
19.8.2020	2550	5580	45,70
20.8.2020	1650	5580	29,57
21.8.2020	2700	7140	37,82
22.8.2020	4380	8550	51,23
23.8.2020	3600	8400	42,86
24.8.2020	2010	5250	38,29
25.8.2020	2190	5490	39,89
26.8.2020	2100	6750	31,11
27.8.2020	3210	6840	46,93
28.8.2020	2550	7080	36,02
29.8.2020	2550	5730	44,50
31.8.2020	2010	5670	35,45
1.9.2020	3480	7050	49,36
2.9.2020	3600	7050	51,06
3.9.2020	3060	6990	43,78
4.9.2020	2490	5640	44,15
5.9.2020	2610	5520	47,28
6.9.2020	3210	6900	46,52
7.9.2020	4260	8220	51,82
8.9.2020	4410	8250	53,45
9.9.2020	4020	6180	65,05
10.9.2020	2940	5910	49,75
TOPLAM	86565	192890	44,88

4.3 Şaft 3'ün Genel Değerlendirilmesi

Çizelge 3'te Şaft 3'ün 30 gün boyunca tahkimat işlerine ayrılan süreleri, o gün bütün işlere ayrılan toplam süreler ve o gün tahkimat işlerine yüzdece ne kadar zaman harcandığı verilmiştir. Şaft 3'te 30 gün boyunca toplam 166580 dakika çalışılmış ve bu sürenin 45430 dakikası tahkimat işlerine ayrılmıştır. Tahkimat işleri 45430 dakika toplam sürenin yaklaşık %27,27'si kadardır.

5 SONUÇ

Şaft 1'de tahkimat işlemleri toplam sürenin %38,67'si kadarken, Şaft 2'de bu oran %44,88, Şaft 3'te ise %27,27'dir. Şaftlarda bekleme yüzdelerini düşürmek, imalat yüzdelerini arttırmak için personel ve makine ekipman sayısı arttırılabilir.

TEŞEKKÜR

Bitirme tezinde desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Hakan TUNÇDEMİR'e ve işletme verilerini tarafımla paylaşan ŞENBAY OZGÜN SÖĞÜT İŞ ORTAKLIĞI'na en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çizelge 3. Şaft 3 tahkimat işleri çizelgesi

Günler	Tahkimat İşleri (dk)	Toplam Süre (dk)	Yüzde (%)
10.8.2020	900	5490	16,39
11.8.2020	990	5250	18,86
12.8.2020	2280	5250	43,43
13.8.2020	1170	5340	21,91
14.8.2020	1950	5340	36,52
15.8.2020	1440	5220	27,59
17.8.2020	840	5400	15,56
18.8.2020	1750	5020	34,86
19.8.2020	1440	5640	25,53
20.8.2020	1200	5670	21,16
21.8.2020	1200	5760	20,83
22.8.2020	1350	5610	24,06
23.8.2020	2100	5670	37,04
24.8.2020	1110	5670	19,58
25.8.2020	1740	5400	32,22
26.8.2020	990	5700	17,37
27.8.2020	1740	5760	30,21
28.8.2020	1290	5700	22,63
29.8.2020	1830	5670	32,28
31.8.2020	1200	5580	21,51
1.9.2020	1620	5670	28,57
2.9.2020	1290	5760	22,40
3.9.2020	1860	5430	34,25
4.9.2020	1680	5470	30,71
5.9.2020	1440	5580	25,81
6.9.2020	2580	5700	45,26
7.9.2020	1500	5670	26,46
8.9.2020	1800	5730	31,41
9.9.2020	1500	5760	26,04
10.9.2020	1650	5670	29,10
TOPLAM	45430	166580	27,27

KAYNAKLAR

Bozkurt, M., 1987. "*Tüneller",* İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Satıcı, Ö., & Topal, T., 2015. Tünel Açma Yöntemlerinin Mühendislik Jeolojisi ve Kaya Sınıflama Sistemleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 45-57.

Tuncdemir, H., Duran, N., Soylu, A., & Esen, O., 2017. *"Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy S16A Şaftındaki Tahkimat Analizi", Yerbilimlerinde Öğrenci Bitirme Tasarım Projeleri Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, Maslak, İstanbul, Türkiye.

İmbat Yeraltı Kömür Madeni Havalandırmasının İncelenmesi
Investigation of İmbat Underground Coal Mine Ventilation

O. Perçin, A.Fişne
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Yeraltı madenlerinin havalandırmasının doğru yapılması hem çalışan personelin hem de çalışan makinelerin, güvenli ve rahat çalışmalarını sağlayabilmek amacıyla büyük önem arz etmektedir. Bu bitirme projesi kapsamında İmbat Yeraltı Kömür Madeni havalandırması incelenmiştir. İlk aşamada ocağın üretim şekli, altyapısı ve havalandırması ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Ocakta bulunabilecek gazlar belirlenmiş ve bu gazların ne gibi zararlara yol açabileceği anlatılmıştır. Ocaktaki hava hızı ve miktarları çeşitli parametrelere göre hesaplanarak ocakta olması gereken hava miktarları bulunmuştur.

ABSTRACT Correct ventilation of underground mines is of great importance in order to ensure safe and comfortable operation of both the working personnel and the working machines. Within the scope of this graduation project, the ventilation of İmbat Underground Coal Mine has been examined.in the first stage, the production method, infrastructure and ventilation of the quarry were analyzed in detail. The gases that can be found in the furnace have been determined and it has been explained what kind of damage these gases can cause. The air velocity and quantities in the furnace were calculated according to various parameters and the required air quantities in the furnace were found.

1 İMBAT MADENCİLİK İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

1.1 Rezerv Bilgileri

Projenin çalışma sahasında; 32 710 810 ton kömür rezervi bulunmaktadır. Rezervin 4 082 559 tonu ana nakliye desandreleri, pano sınırları ve fay zonlarında topuk olarak bırakılacaktır. Kalan 28 628 251 ton üretim projenin termin planına göre üretilecektir.

1.2 İstihdam Durumu

İşletmenin çalışan sayısı her yıl artarak devam etmiş ve gelinen noktada istihdam 6 kat büyümüştür. Proje süresince mevcut istihdam sayısının 6000 kişi civarında tutulması öngörülmektedir.

1.3 Üretim Yöntemi

Soma Eynez kömür sahası kömür damarının kalınlığı ortalama 28 metredir. Sahada üretim kapalı işletme yöntemiyle gerçekleştirilmektedir, yeraltı üretim yöntemi olarak da "Geri dönümlü arkadan göçertmeli çok katlı uzun ayak yöntemi" kullanılmaktadır.

2 OCAĞIN MEVCUT ALTYAPISI VE HAVALANDIRMA SİSTEMİ

2.1 *Ocağın Altyapısı ve Ocak Girişleri*

Projenin çalışma sahasında birbiriyle irtibatı sağlanmış iki ocak bulunmaktadır. Birinci ocak, 2 desandre ile güney panolarının hava giriş ve çıkışının sağlandığı noktada, ikinci ocak ise 2 desandre ve bir hava çıkışının yapılduğı nefeslik ile doğu panolarının temiz hava girişinin sağlandığı noktada yeryüzüne bağlanmaktadır.

2.2 Yeraltı Havalandırma Sistemi

Birbirinden bağımsız iki ayrı devre halinde emici olarak ocak havalandırması yapılmaktadır. +356 ve +374 kotlarındaki iki ayrı galeriden giren temiz hava, ocak içerisinde kullanıldıktan sonra, +355 ve +400 kotlarındaki nefesliklerden cebri olarak dışarıya taşınmaktadır.

Ana vantilatör tesisleri nefeslik ağızlarında bulunmakta ve bu binalarda, +400 nefesliğinde 6 adet, +355 nefesliğinde ise 4 adet olmak üzere, toplamda motor gücü 1 565 kW olan toplam 10 adet vantilatör mevcuttur

3 OCAK GAZLARI

3.1 Zehirli Gazlar

3.1.1 Karbondioksit

Karbonmonoksitin formülü CO olup, kokusuz, renksiz, tatsız dokulara etki etmeyen ve çok az miktarların dahi zehirli olmasından dolayı madencilerin çok korktuğu bir gazdır (Saltoğlu, 1975).

3.2 Patlayıcı ve Diğer Gazlar

3.2.1 Metan

Metanın formülü $CH4$ olup kokusuz ve renksiz bir gazdır. Bu gazların bir tanesinin yada birkaçının hava ile karışımına " GRİZU " adı verilmektedir. Tam yanma metan hava oranının 1/11 olduğu durumda veya %9,5 konsantrasyonda olur. Patlama için gerekli sıcaklık 650– 750°C'dir.

4 YERALTI HAVALANDIRMA ÖLÇÜMLERİ

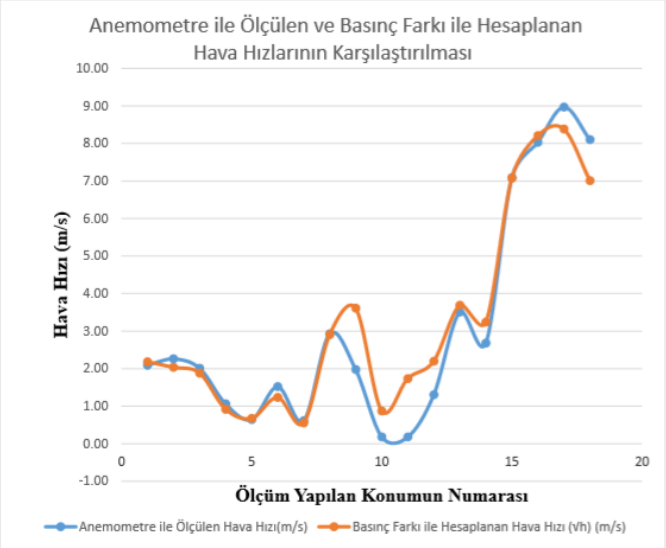
4.1 Hava Hızı Ölçümü

Ocak havalandırmasında yeraltına ve çalışma yerlerine gönderilen hava miktarının gerçek değerinin bilinmesi çok önemlidir. Bu nedenle hava hızı doğru ölçülmelidir. Kuyu ve galerilerde ortalama hava hızı 1-5 m/s arasında değişmektedir. İnsan ve malzeme taşınmasında kullanılan kuyularda, galerilerde, ana nefeslik yollarında, eğimli ve düz yollarda hava hızı saniyede 8 metreden fazla olamaz. Ocaklarda genelde anemometer ile ölçülür.

4.1.1 Mikro sıcaklık Manometresi İle Hava Hızı

Teknolojinin ilerlemesi ile ikinci nesil mikrosistem teknolojileri gibi uygun özellikler ve yeni ölçüm sistemlerin keşfedilmesi amacıyla yeni ürünler geliştiriliyor. Bu ürünlerden birisi de mikro sıcaklık manometresidir. Mikro sıcaklık

manometresi ile yeraltı maden ocağında galeri ve ya kollardaki basınç farkı ölçülür ve basınç farkı ile hava hızı arasındaki ilişki incelenmesi mümkün olabilmektedir.



Şekil 4.4. Anemometre ve Mikro-sıcaklık manometresinin ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Grafikte görüldüğü üzere mikro sıcaklık manometresi ile basınç farkı pascal cinsinden ölçülüp, hava hızı ile arasında doğrudan bir bağlantı saptanmıştır.

4.2 Hava Miktarı Ölçümü

4.2.1 Çalışan Sayısına Göre Gerekli Hava Miktarı Hesabı

Literatüre bakıldığında işçi sayısına göre hava miktarının belirlenmesi metoduna sıklıkla rastlanmaktadır. Yine ÖKTEN, G., FİŞNE, A., 'Madenlerde Havalandırma Ders Notları' nda pratikte, çalışan işçi başına 6 $m3\ /dak$ hava ihtiyacı olduğuna dikkat çekmişlerdir.

$$Q = 6\ .n$$

Q : Çalışanların solunumu esas alınarak ocağa verilecek hava miktarı (m^3/sn)

n : Ocakta bir vardiyada çalışan en büyük işçi sayısı

4.2.2 Gaz Yayılımına Göre Hava Miktarı Hesabı

Güvenli bir çalışma ortamı için ocak havasındaki metan konsantrasyonunun ilgili tüzükte belirtilen sınır değerleri altında, % 0,5'e indirilmesi hedeflenmiştir. İmbat madeninde 74 $m3/sn$

4.2.3 Toz Konsantrasyonuna Göre Hava Miktarı Hesabı

Havada dağılmış, solunabilir toz partikülleri çok küçük bir bölümü yere çöker. Bu nedenle tozun hava akımı ile seyreltilmesi prensip olarak gazın seyreltilmesi ile benzerlik gösterir. Burada beher ton üretilen kömür için açığa çıkan toz miktarının belirlenmesi önem taşır. İmbat için 60 $m3/sn$ bulunmuştur.

4.3 Hava Hızı Limitleri

Hava hızının, işçilerin çalıştığı ve kullandıkları ocak yollarında 0,3 m/sn'den düşük olmaması gerekmektedir (McPherson, 1993, DMT, 1991).

5 SONUÇLAR

Bitirme çalışması kapsamında İmbat Yeraltı Kömür Madeni havalandırması incelenmiştir. Yeraltı madenlerinin havalandırmasının doğru yapılması hem çalışan personelin hem de çalışan makinelerin, güvenli ve rahat çalışmalarını sağlayabilmek amacıyla büyük önem arz etmektedir.

TEŞEKKÜR

Hazırlamış olduğum 'İMBAT YERALTI KÖMÜR MADENİ HAVALANDIRMASININ İNCELENMESİ'

adlı bitirme tezimde değerli bilgi ve tecrübeleri ile bana yardımcı olan sevgili tez danışmanım Doç.Dr. Abdullah FİŞNE' ye ve mezun olana kadar üzerimde emeği geçen tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

Saltoğlu S. (1975). Madenlerde Havalandırma ve Emniyet İşleri. İTÜ Yayınları, İstanbul.

Ökten, G. ve Fişne, A. (2011). Madenlerde Havalandırma Ders Notları.

Göztepe-Ümraniye Metro Tünelinde Çalışan Pasa Basınçlı Tünel Açma Makinesinin Performans Analizi

Performance Analysis of the Earth Pressure Balance Tunneling Machine Working in Göztepe-Ümraniye Metro Tunnel

Ö. Bozkurt, H. Çopur
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

ÖZET Bu tez çalışmasında, "Göztepe-Ümraniye Metro Tünelinde Çalışan Pasa Basınçlı Tünel Açma (EPB-TBM) Makinesinin Performans Analizi" başlığı altında söz konusu projeye dair genel bilgiler, jeolojik özellikler, tünel açma yöntemleri, tünel açma makinalarının (TBM) tanıtımı sunulmuş ve TBM kayıtları (itme kuvveti, tork, kesici kafa dönme hızı, ilerleme hızı vb.) analiz edilerek performans analizi yapılmıştır. Son olarak ise sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.
Anahtar Kelimeler: Mekanik Kazı, Tünel Açma, Yeraltı İnşaatı.

ABSTRACT Firstly general information about Eti Bakır A.Ş was given in this thesis. Geological and geographical features of the study area were examined. Specifications of thee minerals which are taken from the mine were given. Production methods of the mine were mentioned. In the second stage, the drilling activities in Küre Bakibaba mine were examined and information about drilling equipment was presented. Patterns of the drilling and blasting operations were mentioned in detail. In the blasting operation, information was given about the used explosive materials, the blast design parameters were calculated. Costs of the blasting operations of the mine were calculated. Finally, the environmental adverse effects of blasting operation and the precautions to be taken were mentioned.
Keywords: Mechanical excavation , Tunneling , Underground Construction.

1 GİRİŞ

Günümüzde ulaşımı kolaylaştırmak adına birçok alanda yeraltı yapılarından faydalanılmaktadır. Bu yapıların kullanım alanlarından bazıları; hizmet sektörü, sanat kültür, askeri savunma, sığınak, gıda stoklama, enerji stoklama, spor tesisleri, atık stoklamadır. Bu tünellerin açılmasındaki hedefler ise; metro, içme suyu, altyapı, geçit tünelleridir. Türkiye hızlı gelişim gösteren bir ülkedir. Özellikle ilk sırada İstanbul gelmek üzere nüfus yoğunluğu sürekli artmakta olan bölgelerde, buna bağlı olarak şehirlerdeki trafik yükünün azaltılmasında ve buna bağlı olarak trafikte tüketilen vaktin azaltılmasında da yeraltı yapılarından faydalanılmaktadır.

2 MEKANİZE KAZI

Mekanize kazı, çok güçlü kesme kuvveti yaratan kesici gibi kesme aletlerinden ve bitlerden gelen enerjiyi bir kuvvet olarak aktaran ağır kesme makineleri ile toprağın veya kaya parçasının kırılması olarak açıklanabilir. Mekanize kazı Tam Cepheli ve Kısmi Kesitli olarak iki kategoriye ayrılır.

3 PASA BASINÇLI TAM CEPHELİ TÜNEL AÇMA MAKİNELERİ (EPB-TBM)

Pasa basınçlı tam cepheli tünel açma makineleri (EPB-TBM), daha çok zayıf kendini tutamayan zeminlerde, yoğun su girişi beklenen yerlerde, üstteki jeolojik yükün az olduğu yani yüzeye yakın yerlerde, yerleşim yerlerinin altından geçen projelerde tercih edilir. Kalkanlı makineler grubunda yer alan bu makinelerde öne ve kesicilerin üst bölümünde yer alan bir sistem sayesinde zeminden gelen basınç (yaklaşık 5-6 bar) ile makinenin uygulayacağı basınç dengelenir Bu şekilde üst bölümde herhangi bir deformasyona izin verilmeden kazı işlemi yapılmış olur. Ayrıca bu makineler gerektiğinde zeminden gelecek suyu ve olası kırıntılı malzemeyi içeriye almayacak şekilde kapalı moda geçebilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken önemli konu, jeolojik yükün ve suyun oluşturacağı üst basınç, ile gelmesi muhtemel suyun miktarıdır. Bu makinelerde ilerlemeye paralel olarak kesilen malzeme kesici kafanın hemen arkasında yer alan helezon sistemi ile konveyör bantlara alınarak arka tarafa aktarılmaktadır.

4 TÜNEL AÇMA MAKİNELERİNİN TASARIM PARAMETRELERİ

4.1 Keskiler Arası Mesafe ve Keski Sayısı

Belirli bir kesme derinliğine ulaşmak için ihtiyaç olan itme kuvvetinin azalması için; keskiler arası mesafe düşürülmelidir. Çok sert olan formasyonlarla karşılaşılması durumunda; her biri keskinin yatak kapasitesi çoğaltılabilir ve daha yüksek ilerleme hızları elde etmek için bu keskiler arası mesafe azaltılabilir. Ancak bu uygulamadan dolayı, makinenin itme gücü ihtiyacı artar ve çıkan pasa boyutları da çok küçülmüş olur. Oluşan küçük çipler nedeniyle birim hacimdeki kayayı kesmek için daha çok spesifik enerji sarfiyatına sebep olunur ve kazı işleminin ekonomik boyutu olumsuz bir şekilde etkilenmiş olur. Büyük boyutlu çiplerin elde edilebilmesi için kesici kafa parametrelerinin en uygun hale getirilmesine çalışılmalıdır. Birim hacimdeki kayayı belirli keskiler arası mesafede kesebilmek için; harcanan enerjiler karşılaştırıldığında her bir kaya için en uygun bir keskiler arası mesafe olduğu belirlenmiştir. Bu keskiler arası mesafeyi esas olarak formasyonun jeolojisi etkilemektedir.

Aynı jeolojik ortamda, keskiler arası mesafe kıyaslandığında, kesici kafanın çapı ile kullanılacak olan keski miktarının lineer olarak arttığı belirlenmiştir. Bir TBM'in ne kadar keskiye ihtiyacı olduğu Eşitlik 3.1 ile hesaplanabilir (Balcı ve diğ., 2007).

$$N_c = \frac{D_{TBM}}{2.S} + N_{köşe} \qquad (3.1)$$

Burada;

DTBM : Kesici kafanın çapı (mm)

S : En uygun çip boyutuna ulaşmak için ortalama keskiler arası mesafe (mm) Nköşe : Kesici kafadaki ekstra köşe keski sayısı (5-10)

4.2 Kesici Kafa Dönüş Hızı (RPM)

Kesici kafanın çevresel dönüş hızını belirleyen etken; disk keskilerinin yataklarının ve yatak tutucularının kapasiteleridir. Köşe keskilerin dönüş hızları disk keski çapına dayandığı disk keski üreticileri tarafından belirtilmektedir. Örneğin; bugünün disk keski teknolojileri ile 17 inç'lik bir keski için tavsiye edilen köşe keski hızı 152m/dak'dır. Bu bilgi göz önüne alındığında; kesici kafanın çapı ve tavsiye edilen disk keski köşe hızının bir fonksiyonuna bağlı olarak, kesici kafanın dönüş hızı (RPM) 3.2 eşitliği ile hesaplanabilir (Balcı ve diğ., 2007).

$$RPM = \frac{V}{\pi . D_{TBM}} \qquad (3.2)$$

Burada;

V: Kabul edilebilir disk keski hızı (m/dak)
DTBM : Kesici kafanın çapı (m)

4.3 Kesici Kafa Gücü ve Tork Gereksinimi

Gerekli olan tork ve makine gücünü; kesici kafaya monte edilen tüm keskilerin kazı işlemine karşı göstermiş oldukları direnç belirlenmesini sağlar. Kesici kafanın hareket etmesi ise, kesici kafanın arkasına yerleştirilen elektrik motorları yardımı ile sağlanır.

Kaya formasyonu, disk keskinin ve kesici kafa çapının bir fonksiyonu ile tork veya makine gücü hesaplanabilir. Eşitlik 3.3 sert kaya formasyonlarında kullanılan TBM'lerin tork gereksinimlerinin hesaplanabilmesi için kullanılmaktadır (Balcı diğ., 2007).

$$T = \frac{N_C \cdot F_R \cdot D_{TBM} \cdot (0{,}54) \cdot f_L}{2} \quad (3.3)$$

Burada;

Nc : Kesici disk sayısı, FR: Kesici başına ortalama yuvarlanma kuvveti (kN), DTBM : Kesici kafa çapı (m), 0,54 : Ortalama kuvvet moment kolu, fL : Sürtünme kayıpları

Gerekli olan makine gücü ise; gerekli olan tork ve kesici kafa dönüş hızı (RPM) biliniyorsa, Eşitlik 3.4 ile hesaplanabilir (Balcı ve diğ., 2007).

$$P = 2 \times \pi \times RPM \times T \quad (3.4)$$

Burada;

P : Makine gücü (kW)

T : Tork (Nm)

RPM : Kesici kafanın bir dakikadaki dönüş hızı (devir/dak)

4.4 İtme Kuvveti Gereksinimi

Sert kaya formasyonlarında kullanılan TBM'lerin itme kuvveti gereksinimlerinin hesaplanabilmesi için; Eşitlik 3.5 ile hesaplanabilir (Balcı ve diğ., 2007).

$$FT = N_c \times F_N \times f_L \quad (3.5)$$

Burada;

FT : Toplam itme kuvveti (kN), Nc : Disk sayısı, FN : Keski başına ortalama itme kuvveti (kN) fL : Sürtünme kayıpları

5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Metro tünellerinin açımında kullanılan, tam cepheli tünel açma makineleri (TBM) hızlı ve efektif tünel açmada kullanılan önemli kazı makinelerindendir. Bu makinelerin günlük kazı miktarları geleneksel tünel açma yöntemlerine kıyasla çok daha fazladır. Fakat jeoloji ve kayaçların jeoteknik özellikleri bu makinelerin kullanımını kısıtlamaktadır. Eğer TBM makinesi kazısı planlanan formasyona uygun olarak seçilmezse, tünel ilerleme hızları önemli bir şekilde düşmekte ve kazı maliyeti buna paralel olarak önemli ölçüde artmaktadır. Bu durum birçok araştırmacıyı, hızlı kazı sistemlerinin performanslarını etkileyen faktörleri incelemeye ve kazı makinelerinin yerinde performans ölçümünü yapmaya yönlendirmiştir.

KAYNAKLAR

Balcı, C., Bilgin, N., Çopur, H., Tumaç, D., ve Akgün, M., 2007. Tünel açma makinelerinin tam boyutlu kesme deneyi ile performans tahmini, Birinci Maden Makinaları Sempozyumu, Türkiye Maden Mühendisleri Odası Birliği, ISBN 978-9944-89-277-3, Kütahya, Türkiye, sayfa 61-70.

Balcı, C., Bilgin, N., Çopur, H., ve Tumaç, D., 2009. Tam cepheli tünel açma makineleri (TBM) performans tahmini ve optimizasyonu, TÜBİTAK Araştırma Projesi Nihai Raporu, Proje: 106M298.

[3] Bilgin, N., Copur, H., Balci, C., 2014. Mechanical excavation in mining and civil industries, CRC Press, sayfa 366.

Açık Ocak Patlatma Tasarımının JKSimBlast Yazılımı ile İncelenmesi ve Parçalanma Etüdü (Eti Bakır Murgul İşletmesi)

Investigation of the Open Pit Blast Design with JKSimBlast Software and Fragmentation Analyses (Eti Bakır Murgul Copper Plant)

F. Z. Toker, T. Hüdaverdi, Ö. Akyıldız
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Patlatma, açık maden ocaklarında kayacı gevşetmek amacıyla sıklıkla kullanılan, oldukça geniş uygulama alanına sahip bir üretim operasyonudur. Operasyonun verimliliğini ve karlı oluşunu koruyabilmesi adına parametrelerin kayaç ve diğer ortam koşullarına uygun belirlenmesi yüksek öneme sahiptir. Patlatma sonrasında yapılan yükleme, taşıma ve cevher zenginleştirme işlemlerinin başarılı şekilde ilerleyebilmesi için parçalanma boyutunun optimum seviyede olması gerekmektedir. İstenen parçalanmanın sağlanması için patlatma parametrelerinin düzenlenmesi, izlenmesi gereken yoldur. Bu bitirme tezi kapsamında, Eti Bakır A.Ş. Murgul Bakır İşletmesi'nde açık ocak patlatma faaliyetleri, tasarım parametreleri ve sonuçları üç adet atım verisi üzerinden incelenmiştir. Kullanılan patlayıcı maddeler tanıtılmış, özgül şarj ve teorik dizayn parametre hesaplamaları yapılmıştır. Patlatma ve ateşleme düzenleri JKSimBlast yazılımı ile analiz edilmiştir. Patlatma yığınlarından ölçekli fotoğraflar alınarak parçalanma boyut analizleri için WipFrag yazılımı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Patlatma, Patlayıcı Maddeler, Parçalanma, JKSimBlast, WipFrag

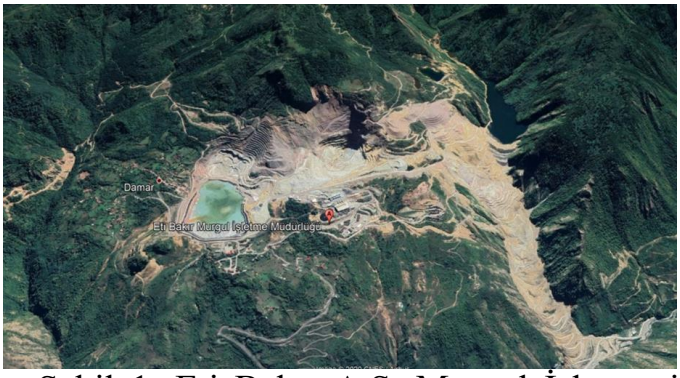
ABSTRACT Blasting is a production operation with a wide application area, which is frequently used to loosen rock in open pit mines. In order to maintain the efficiency and profitability of the operation, it is of great importance to determine the parameters according to the rock and other environmental conditions. Blast fragmentation should be optimum to achieve efficient loading, transportation and mineral processing operations. Editing the blasting parameters to reach the desired fragmentation size is a necessary step. Within the scope of this graduation thesis, open pit blasting activities, design parameters and results have been examined in Eti Bakır A.Ş. Murgul Copper Plant. The explosive materials used were introduced, specific charge and design parameter calculations were made. Blasting and initiation patterns were analyzed with JKSimBlast software. Scaled photos were taken from muck piles and WipFrag software was used to measure blast fragmentation. The obtained results were evaluated and interpreted.
Keywords: Blasting, Explosives, Fragmentation, JKSimBlast, WipFrag

1 ETİ BAKIR ARTVİN MURGUL BAKIR İŞLETMESİ

Eti Bakır A.Ş. Murgul İşletmesi, Artvin ili Murgul ilçesi Damar köyünde faaliyetlerini sürdürmektedir. Murgul işletme bölgesini kaplayan stratigrafik dikme kesit aşağıdan yukarıya Kabacadere Volkanitleri (Kuvarslı Andezit Lav ve Tüf Üyesi), Murgul Formasyonu, Karatepe Dasiti, Ardıç Formasyonu birimlerinden oluşmaktadır. Ana yatak ve Çakmakkaya gibi cevherleşmiş üniteler, sayısız damardan meydana gelmiş stockwork tipindedir. Fazla miktarda jipse

rastlanan bölgeler, cevherleşmiş ünitelerin etrafı olmaktadır. Stockwork tipini siyah kuvars-pirit-kalkopirit, pirit-kalkopirit, kalkopirit, karbonat-kalkopirit damarları oluşturmaktadır. Üst seviyelerde genellikle kuvars, barit-galenit-sfalerit, kalkopirit damarları stratigrafik şekilde, alt seviyelerde ise pirit-kalkopirit, siyah kuvars-pirit damarları bulunmaktadır (Eskikaya vd., 1992; MTA Genel Müdürlüğü, 1996; akt. Hüdaverdi, 2004).

Aksoy G.'nin 2016 yılında jeoistatistik yöntemle yaptığı rezerv analizi projesi sonuçlarına göre 1132, 1120, 1108, 1096, 1084, 1072 katlarında toplam rezerv 24.417.221 ton, ortalama blok tenörü 1.21 (%Cu), 263.979 ± 128.248 ton metal rezervi bulunmaktadır (Aksoy, 2016).



Şekil 1. Eti Bakır A.Ş. Murgul İşletmesi uydu görünümü

2 ARAZİ ÇALIŞMALARI

İşletmede her bir atım genellikle 3-5 sıra olacak şekilde 20-40 arası delik delinerek gerçekleştirilmektedir. Delik çapı 165 mm, delik eğimi 90^0, delik boyu 11,5 metredir. Delik düzeni kare olmak üzere delik yükü 4 m, delikler arası mesafe 4 m olarak tasarlanmaktadır. Yalnızca ilk sıra delikleri, ayna ile arasındaki mesafe 2,5-3 m arasında olacak şekilde delinmektedir. Delme işlemi iki vardiyada, ikişer adet Epiroc D65 ve Atlas Copco D7 yer üstü delici makineler ile yapılmaktadır. Dökme emülsiyon şarjı DynoBulk şarj kamyonu ile gerçekleştirilmektedir. Sıkılama, delik tozu ile yapılmakta olup, sıkılama boyları kuru deliklerde 4,5 m, sulu deliklerde 4 m'dir. Delik dibine 2 kg ağırlığında POWERMITE yemleyici yerleştirilmektedir. ANFONIT ve NOBELEX 1200 tipi dökme emülsiyon patlayıcı, yemlemeye duyarlı ana şarj olarak kullanılmaktadır. Delik dibine yerleştirilen yemleyiciye bağlanan 500 ms gecikmeli kapsül, yemleyiciyi ateşlemektedir. Gecikme dizaynı 17, 25, 42 ve 65 ms gecikmeli kapsüllerle ve atımdan atıma değişecek şekilde tasarlanmaktadır. Ateşleme işlemi adi kapsül ve emniyetli fitil ile gerçekleştirilmektedir. İşletmede kullanılan atım parametreleri özgül şarj değerleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Atım parametreleri

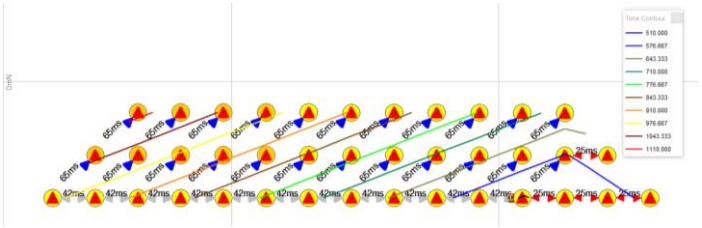
Parametre	Birinci Patlatma	İkinci Patlatma	Üçüncü Patlatma
Delik Sayısı	39	23	39
D (mm)	165	165	165
K (m)	10	10	10
B (m)	4	4	4
S (m)	4	4	4
T (m)	4-5	4-5	4-5
U (m)	1,5	1,5	1,5
H (m)	11,5	11,5	11,5
L (m)	6,5-7,5	6,5-7,5	6,5-7,5
Wa (m)	120-195	120-195	120-195
Özgül Şarj (kg/m^3)	0,758	0,680	0,800
Toplam Patlayıcı Miktarı (kg)	5402	3378	5984
Teorik Kübaj (m^3)	7126	4968	7488

D: Delik çapı K: Basamak yüksekliği
B: Dilim kalınlığı S: Delikler arası mesafe
T: Sıkılama U: Alt delme H: Delik boyu

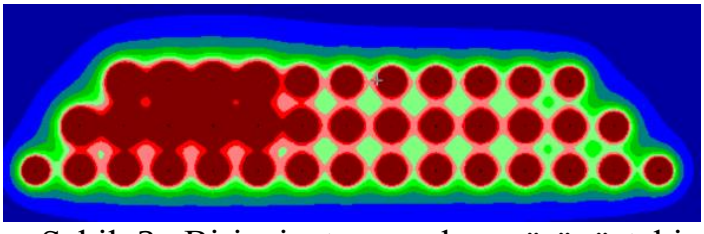
L: Şarj boyu Wa: Bir delikteki patlayıcı miktarı

3 JKSIMBLAST YAZILIMI İLE PATLATMA TASARIMI

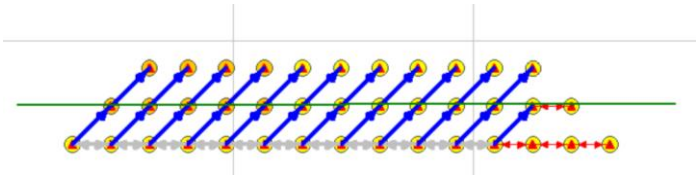
JKSimBlast, patlatma tasarımı, düzenlenmesi, performans analizleri ve yönetimi amacıyla kullanılan, JKTech tarafından geliştirilmiş ve global uygulama alanına sahip bir simülasyon yazılım sistemidir. Çeşitli ana modüllere sahip yazılım yerüstü, yeraltı ve tünel patlatmalarında mühendislere ve patlatma ekiplerine optimizasyon imkânı tanımaktadır (JKTech, 1998). Bu çalışmada açık ocak patlatma tasarımı amacıyla kullanılan 2DBench modülü kullanılmıştır. Patlatma tasarım özellikleri, patlayıcı özellikleri ve ateşleme düzenleri JKSimBlast yazılımına aktarılmış ve Eti Bakır A.Ş Bakır Madeni'nde gerçekleştirilmiş üç patlatma simüle edilmiştir. Ateşlemenin zaman konturları oluşturulmuş ve düşey-yatay kesitler alınarak enerji dağılımları incelenmiştir. Birinci atıma ait JKSimBlast'tan alınmış zaman konturları, kesit ve enerji dağılım görüntüleri Şekil 2-6'da gösterilmiştir.



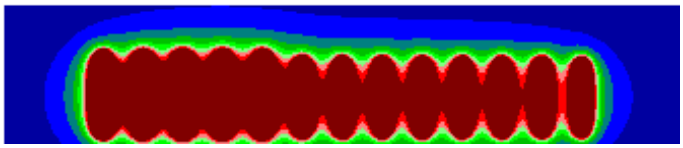
Şekil 2. Birinci atımda gecikmeler ve zaman konturları



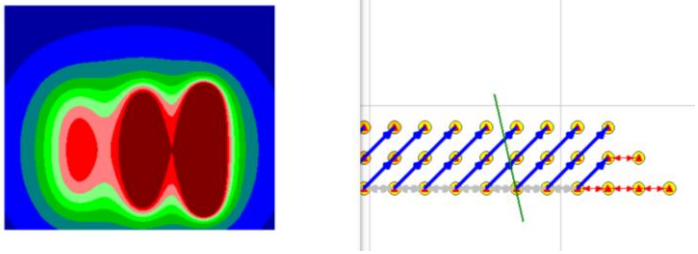
Şekil 3. Birinci atımın plan görünüşteki enerji dağılımı (MJ/t)



Şekil 4. Birinci atım için alınan yatay kesit.



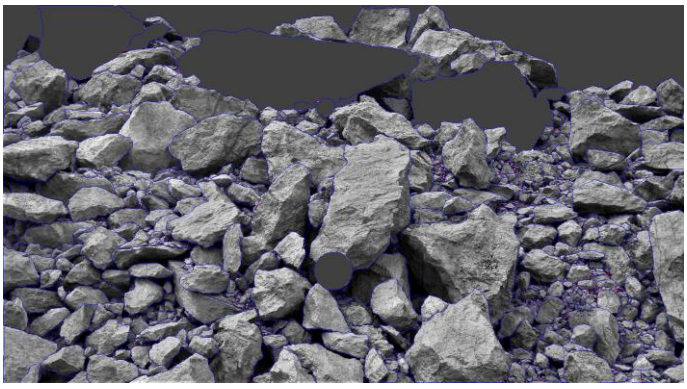
Şekil 5. Birinci atımda yatay kesitin enerji dağılımı (MJ/t).



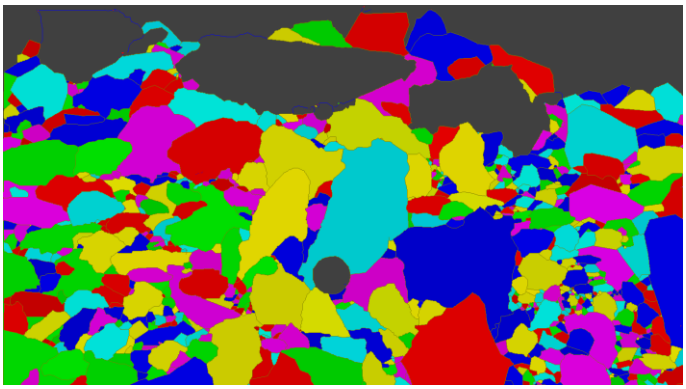
Şekil 6. Birinci atımda düşey kesitin enerji dağılımı (MJ/t) ve kesit çizgisi

4 PARÇALANMA ETÜDÜ

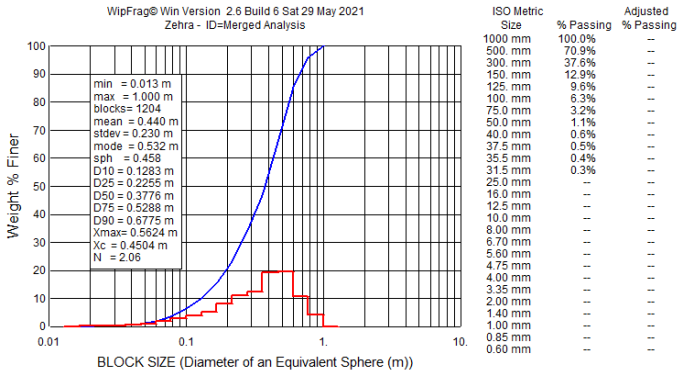
Yığın parça boyut dağılımının görüntü işleme yoluyla analizi için Wipware Inc. tarafından geliştirilmiş WipFrag yazılımı kullanılmıştır. Üç atımın analizinde kullanılan ölçekli ham fotoğraflar, işlenmiş fotoğraflar ve WipFrag aracılığıyla elde edilmiş parça boyut dağılım eğrileri verilmiştir. Birinci atıma ait WipFrag çalışmaları ve çıktıları Şekil 7-9'da gösterilmiştir.



Şekil 7. Birinci atımın orta kısmı için ağlanmış fotoğraf



Şekil 8. Birinci atımın orta kısmında boyut kontrolü



Şekil 9. Birinci atımın parça boyut dağılım eğrisi

5 SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Eti Bakır A.Ş. Murgul İşletmesi'nde yapılan 3 atım incelenmiştir. İşletmede kullanılan patlayıcı maddeler, patlatma ve ateşleme düzenleri açıklanmıştır. Literatürdeki Olofsson, Bhandari ve Arıoğlu'nun yaklaşımlarından yararlanılarak delik yükü ve delikler arası mesafeler hesaplanmış olup, sahada uygulanan değerler ile kıyaslanmıştır. Hesaplanan teorik dilim kalınlığı 4,70-5,77 metre arasında değişmektedir. Delikler arası mesafe için hesaplanan teorik değerler 4,81-7,21 metre aralığındadır. Hesaplamalar sonucu sahada uygulanan değerlerin, teorik değerlerle çoğunlukla uyuştuğu sonucuna ulaşılmıştır.

Atımların özgül şarj değerleri 0,680-0,800 arasında hesaplanmıştır. JKSimBlast yazılımında bu atımların verileri ile plan görünüş, yatay ve düşey kesitlerde enerji dağılımları incelenmiştir. Enerji dağılımı hesaplamaları MJ/t birimiyle gerçekleştirilmiş olup skalada kullanılan değer 7 MJ/t alınmıştır. Atımlarda incelenmiş aynı anda patlayan maksimum şarj değerleri birinci atım için 340 kg, ikinci atım için 312 kg, üçüncü atım için 384 kg'dır. Tüm atımlar için 8 ms'lik dilim içinde patlayan maksimum delik sayısı 2'dir.

Atım sonrası yığından alınan ölçekli fotoğrafların WipFrag yazılımına yüklenmesi ve parça sınırlarının çizilmesi işlemlerinden sonra her bir atım için parça boyut dağılım eğrileri elde edilmiş ve üç atımın sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen ortalama parça boyutu 34,27-46,05 cm aralığında, karakteristik boyut 45,04-58,46 cm aralığında ve üniformite indeksi 1,62-2,06 aralığında ölçülmüştür.

KAYNAKLAR

Aksoy G., 2016. K.B.İ. Çakmakkaya-Damar Maden Sahalarının Kısa Ve Uzun Vadeli Maden Planlaması İçin Jeoistatistiksel Olarak İncelenmesi Ve Sahada Oluşabilecek Şevlerin Stabilizasyonu Etüdü Projesi Raporu

Eskikaya Ş. ve diğerleri, 1992. KBİ Çakmakkaya ve Damar Sahalarının Kısa ve Uzun Vadeli Maden Planlaması İçin Jeoistatistiksel Olarak İncelenmesi ve Sahada Oluşabilecek Şevlerin Stabilizasyonu Etüdü Projesi- Nihai Rapor, İTÜ Yer. Bil. Uyg. Ve Araş. Mer. Projesi.

Hüdaverdi, T. 2004. KBİ Karadeniz Bakır İşletmesi Murgul Ocakları İçin Patlatma Faaliyetlerindeki Büyük Atımların Optimum Çalışma Şartlarının Araştırılması (yüksek lisans tezi). İTÜ, İstanbul

JKTech, 1998. JKSimBlast Blast Simulation Evaluation And Management Software User Manual, Queensland.

MTA Genel Müdürlüğü, 1996. Artvin-Murgul, Çakmakkaya ve Damar Sahalarında Yürütülen Şev Stabilitesi Etüdü 2. faaliyet raporu. Aralık-1995-Nisan 1996 dönemi, Ankara.

EPB TBM'lerde Kil Yapışma Probleminin Deneysel Zemin Şartlandırma İle İncelenmesi

Investigation of Clay Adhesion Problem in EPB TBMs by Experimental Soil Conditioning

F. Yıldırım, E. Avunduk, H. Çopur
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Mezuniyet tasarım projesinin odaklandığı temel konu, EPB TBM'lerin killi zemin kazıları sırasında karşılaştığı yapışmaya bağlı tıkanma problemini laboratuvar ortamında uygulanabilen zemin şartlandırma deneylerini kullanarak incelemektir. Elde edilen laboratuvar verileri ışığında zemin – köpük – kazı performansı arasındaki ilişkiyi anlaşılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda optimum zemin şartlandırma değerleri ortaya koyulmuştur. Bu çalışmalar kapsamında, EPB TBM'lerin operasyonel parametleri olan tork – itme kuvveti, ve perofrmans parametleri olan net kazı hızı, EPB duraklama süresi, arazi deformasyonu, spesifik enerji ve dolayısıyla kazı maaliyetleri daha iyi hesap edilip daha gerçekçi sonuçlara ulaşılabilecektir.

Anahtar Kelimeler: EPB TBM'lerde kil yapışması, zemin şartlandırma deneyleri, performans tahmini

ABSTRACT The main focus of the graduation design project is to examine the sticky clogging problem encountered by EPB TBMs during clayey soil excavations by using soil conditioning test that can be applied in the laboratory. In the light of the laboratory data obtained, the relationship between soil – foam – excavation performance was tried to be understood. As a result of these studies, optimum soil conditioning values were revealed. The scope of the studies, the operational parameters of EPB TBMs, torque – thrust force, and performance parameters, which are net excavation speed, EPB pause time, land deformation, specific energy, and therefore excavation costs, will be better calculated and more realistic results can be achieved.

Keywords: Clay adhesion, soil conditioning tests, performance estimation in EPB TBMs

1 GİRİŞ

Sanayinin gelişmesiyle birlikte şehirlerdeki insan nüfusu artmıştır. Sürekli artan insan nüfusunun ulaşım ihtiyacını karşılamak ve şehir planlamasını düzgün bir şekilde yapabilmek için çeşitli projeler geliştirilmiştir. Bu nedenle tünecilik projeleri yıllar içerisinde hız kazanmıştır. Bir yandan oluşturulan projelerin verimliğini arttırıp diğer yandan tünelcilik faaliyetinden doğacak iş güvenliği riskini ve çevreye verilen zararı asgari düzeyde tutmak amacıyla tünel açma makineleri (TBM'ler), şehir tünelciliğinde özellikle Pasa Basınçlı Tünel Açma Makineleri (EPB TBM'ler) kullanılmaktadır. Su tablası altında yumuşak zeminlerde çalışan EPB TBM'lerin kesici kafa ve burgulu konveyörlerinde sıkça yapışmaya bağlı tıkanma problemi yaşanmaktadır. Bu problem tünel proje sürelerini uzatmakta ve ekstra maliyetlere neden olmaktadır. Bu çalışma kapsamında, İTÜ Maden Mühendisliği laboratuvarında bulunan kaolen

zemini üzerinde yapılan zemin şartlandırma deneyleri ile EPB TBM'lerde yaşanan kil yapışma problemini incelemektir. Elde edilen sonuçlar ışığında zemin şartlandırmanın EPB TBM kazı performansına olan etkileri daha iyi anlaşılacak ve EPB TBM performansı tahmin etmek amacıyla çözümler üretilecektir.

2 ZEMİN ŞARTLANDIRMA DENEYLERİ

Zemin şartlandırma deneyleri köpük ve köpük – zemin karakterizasyon özelliklerini anlamak amacıyla yapılmıştır.

2.1 Zemin Karakterizasyon Özellikleri

Kullanılan zemin özellikleri daha önce yapılan deneylerden alınmıştır, ayrıca deney yapılmamıştır.

2.2 Köpük Karaterizasyon Deneyleri

İTÜ Maden Mühendisliği laboratuvarında bulunan laboratuvar ölçekli köpük üretme cihazı ile üretilen köpüğün özelliklerini belirlemek amacıyla köpük yarı ömür ve yoğunluk deneyleri yapılmıştır. Köpük yarı ömür deneyinde EFNARC 2005 standartları takip edilmiştir.

2.3 Zemin – Köpük Karakterizasyon Deneyleri

Deneylerde kullanılacak olan köpük kimyasalını seçmek amacıyla temin edilen köpük kimyasalları üzerinde çeşitli deneyler yapılarak, zemin-köpük etkileşiminin karakteristik özellikleri belirlenmiştir. Deneyler boyunca, köpük genleşme oranı (FER) , köpük enjeksiyon oranı (FIR) ve köpük konsentrasyonu değeri (CF) değiştirlerek deney tekrarlanır. Çalışma kapsamında, FIR değerleri 20 – 30 – 50 arasında, FER değerleri 8 – 12 – 16 arasında, su değeri %26 ve CF değeri %2 olarak sabit tutularak, güç ve yapışma ölçümü karıştırma deneyi, düşen konik panetrometre deneyi, kanatlı kesme deneyi uygulanmıştır. Bu deneyler boyunca EFNARC 2005 standartları kullanılmıştır.

3 DENEYSEL SONUÇLARI

Plastik limit değeri 25,5% ve likit limit değeri 48% olduğu bilinen kaolen zeminin tıkanma – yapışma riski ve kıvamı hakkında bilgi edinebilmek için numunenin Hollman ve Thewes, 2013 tarafından geliştirilen yapışma – tıkanma grafiğindeki yeri tespit edilmiştir. Kaolen numunesinin orta derece yapışma özelliğinde olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan laboratuvar ölçekli köpük üretme cihazında üretilen farklı FER değerlerindeki köpüklerin drenaj sürelerini ve yoğunluklarını tespit etmek için köpük yarı ömür ve yoğunluk deneyleri yapılmıştır.

Tablo 1. Farklı FER değerlerine göre Drenaj süreleri

	Drenaj süresi (sn)							
FER	5 ml	10 ml	15 ml	20 ml	25 ml	30 ml	35 ml	40 ml
8	16	28	40	53	65	80	96	115
12	103	126	149	173	203	234	277	330
16	186	215	248	280	317	360	412	475

Tablo 2. Farklı FER oranlarına göre köpük ağırlık ve yoğunluk değerleri

FER	Ağırlık (g)	Yoğunluk (g/cm^3)
8	149,30	0,120
12	98,13	0,081
6	75,10	0,063

Tablo 1 ve Tablo 2'den açıkça görülmektedir ki artan FER değeri ile birlikte köpük drenaj süresi de artmaktadır ve köpük yoğunluk değeri azalmaktadır.

Köpük özelliklerini belirledikten sonra zemin – köpük etkileşiminin özelliklerini belirlemek amacıyla farklı FER (8 – 12 – 16) ve FIR (20 – 30 – 50) değerleri ile yapılan deneyler sonuçları Tablo 3 – 4 – 5'de özetlenmiştir. FER değerinin ve FIR oranın artması ile birlikte güç ölçümlü yapışma deneyinde kaolen zeminin mikser kesici bıçağa yapışma eğilimini arttığı ve buna bağlı olarak güç sarfiyatının yükseldiği tespit edilmiştir. En yüksek yapışma değeri olan 1397,3 g ve en yüksek güç değeri olan 53 W FER 16 – FIR 20 değerlerinde gözlemlenmiştir (Tablo 5). Konik penetrasyon testinde FER değeri yükseldikçe penetrasyon değerinin azaldığı; ancak FIR değerinin artması ile birlikte itici

gücün şartlandırılmış zemin içerisindeki ilerleyişinin arttığı tespit edilmiştir. En yüksek penatrasyon değeri 34,7 mm olarak FER 8 – FIR 50 değerinde ölçülmüştür. Öte yandan şartlandırılmış zeminin gelen itici kuvvete karşı oluşturduğu kesme dayanımı aynı penetrayon deneyinde olduğu gibi FER değerinin artması ile birlikte yükselmekte fakat FIR değerinin artması ile birlikte azalmaktadır. Hatta zemin kesme dayanımı FER 8 – FIR 50'de o kadar küçüktür ki deney sonuç vermemiştir. Şartlandırılmış numunenin zemin üzerindeki yayılışını anlayabilmek için yapılan yayılma tablası deneyindeki sonuçlar gösteriyor ki FER değerinin artması ile birlikte şartlandırılmış kaolen zeminin kohezyon kuvveti artmakta ve numune zemin üzerinde düşük yayılma eğilimi göstermektedir; ancak FIR oranının ve vuruş sayısının artması ile numune zemin üzerinde geniş alanlara yayılmaktadır. Zeminin tabla üzerinde en geniş ölçüleri FER 8 – FIR 50 – 45 Vuruş değerlerinde 10 cm olarak ölçülmüştür. Kaolen zemini köpük eklenmeden önce sadece su içeriği (%26) ile şartlandırılmıştır. Yalnız su içeriği ile yapılan deney sonuçlarından (Tablo 3) en yüksek net güç (83 W), yapışma (1423,1 g), zemin kesme dayanımı (29,42 kP) ve en düşük penetrasyon (14,35 mm) ve yayılma tablası değeri (2,9 cm) olarak not edilmiştir.

Tablo 3. FER 0'da yapılan zemin şartlandırma deney sonuçları

FIR (%)	Net Güç (W)	Yapışma (g)	Penetrasyon (mm)	Zemin Kesme Dayanımı (kPA)	Yayılma Tablası (cm)		
					15 Vuruş	30 Vuruş	45 Vuruş
0	83	1423,1	14,35	29,42	2,9	4,53	5,65

Tablo 4. FER 8'de yapılan zemin şartlandırma deney sonuçları

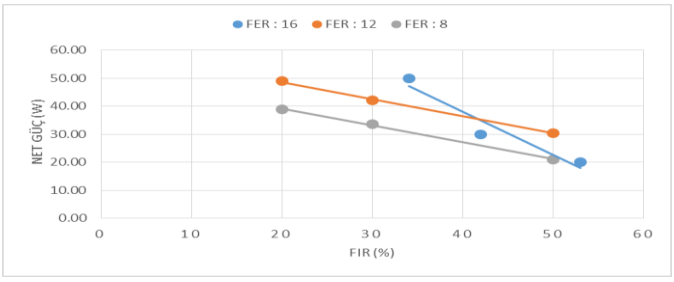
FIR (%)	Net Güç (W)	Yapışma (g)	Penetrasyon (mm)	Zemin Kesme Dayanımı (kPA)	Yayılma Tablası (cm)		
					15 Vuruş	30 Vuruş	45 Vuruş
20	39,0	1061,3	22,8	19,6	4,1	6,2	7,5
30	33,5	226,3	26,4	9,8	4,6	6,6	8,4
50	21,0	179,3	34,7	vermedi	6,7	9,1	10,0

Tablo 5. FER 12'de yapılan zemin şartlandırma deney sonuçları

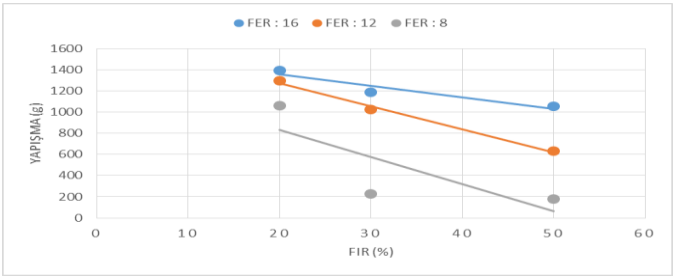
FIR (%)	Net Güç (W)	Yapışma (g)	Penetrasyon (mm)	Zemin Kesme Dayanımı (kPA)	Yayılma Tablası (cm)		
					15 Vuruş	30 Vuruş	45 Vuruş
20	49,0	1295,3	20,4	24,5	3,4	5,1	6,5
30	42,0	1028,6	21,8	19,6	4,5	6,0	7,3
50	30,5	630,3	25,7	14,7	4,6	6,9	8,3

Tablo 6. FER 16'da yapılan zemin şartlandırma deney sonuçları

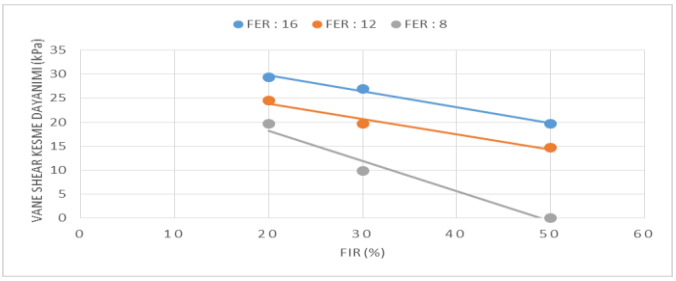
FIR (%)	Net Güç (W)	Yapışma (g)	Penetrasyon (mm)	Zemin Kesme Dayanımı (kPA)	Yayılma Tablası (cm)		
					15 Vuruş	30 Vuruş	45 Vuruş
20	53	1397,3	18,4	29,4	2,8	4,7	5,9
30	42	1188,8	22,8	26,9	3,7	5,3	6,7
50	34	1053,3	25,4	19,6	4,5	6,9	8,30



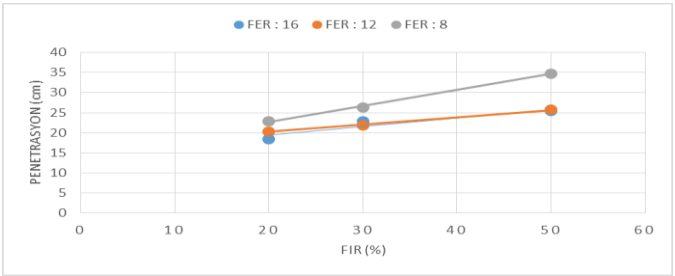
Şekil 1. Farklı FER değerlerine göre net güç ve FIR arasındaki ilişki



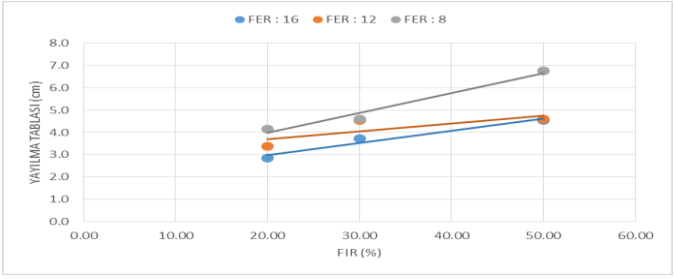
Şekil 2. Farklı FER değerlerine göre yapışma ve FIR arasındaki ilişki



Şekil 3. Farklı FER oranlarına göre kesme dayanımı ve FIR arasındaki ilişki



Şekil 4. FER değerlerine göre penetrasyon ve FIR arasındaki ilişki



Şekil 5. Farklı FER oranlarına göre yayılma tablası ve FIR arasındaki ilişki – 15 Vuruş

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kaolen zeminin sadece su içeriği ve köpük içeriği ile yapılan deney sonuçlarından FER 8 – FIR 50 ile şartlandırılmış zeminde yapılacak olan EPB TBM kazısının günlük ilerleme oranı yüksek, sadece su ile şartlandırılmış zemine göre enerji sarfiyatının ve tork ihtiyacının daha düşük olacağı laboratuvar koşullarında yapılan deneylerce bilimsel olarak ortaya konmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu mezuniyet tasarım projesi çalışmasının ortaya çıkmasını sağlayan, çalışmalar sırasında gerekli yardımı ve desteği esirgemeyen, **Sn. Prof. Dr. Hanifi ÇOPUR'a** ve laboratuvar çalışmaları sırasında yardımcı olan **Sn. Dr. Emre Avunduk'a** teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

.Hollmann, F. S., & Thewes, M.(2013). *Assessment method for clay clogging and disintegration of fines in mechanised tunnelling. Tunnelling and Underground Space Technology.*

EFNARC. (2005). Specification and guidelines for the use of specialist products formechanized tunnelling (TBM) in soft ground and hard rock. *Recommendation of European Federation of Producers and Contractors of Specialist Products for Structures.*

Pasa Basınçlı Tünel Açma Makinelerinin (EPB) İtme Kuvvetlerinin Teorik İncelenmesi ve Bir Uygulama

Theoretical Investigation of The Thrust Forces of Earth Pressure Balance Tunnel Boring Machines (EPB TBM) and an Application

M. Maral, C. Balcı

İstanbul Technical University, Mining Engineering Department, İstanbul

ÖZET Geçmişte ve günümüzde yer altı yapıları ulaşım, altyapı, depolama, askeri vb. amaçlı birçok kez inşa edilmiştir. Gelişen teknolojik çalışmalar sayesinde daha hızlı ve güvenli kazı yapılmasını sağlayan mekanize kazı makineleri özellikle TBM'ler geliştirilmiştir. TBM'ler çalıştıkları zemin ortamına göre sınıflandırılmaktadır. Bu makinelerden en yaygın olarak kullanılanları ise hem kaya ortamda hem zemin ortamında çalışabilen EPB TBM ve Slurry TBM'lerdir. Bu çalışmada ise EPB TBM kullanılan bir metro projesinde kazı aşamasında tasarımsal parametreler belirlenmesi örneklenmiştir. Bu proje kapsamında ilk olarak jeolojik ve geoteknik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar göre tünel güzergâhının geçtiği geomekanik harita belirlenmiştir. Bu güzergah boyunca genellikle killi zemin ve sağlam kaya ortamı bulunduğu için EPB TBM kullanılma kararı alınmıştır. Daha sonra ise kaya ve zemin ortamında tüneli destek sistemi olmadan kritik kesitlerde stabilite analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler göre EPB TBM'in çalışma modu belirlenmiştir. Kapalı modda çalıştığı durum için uygulanma gereken ayna basınç değeri teorik olarak 2-3 bar olarak hesaplanmıştır. EPB TBM ile kazı yapılan projelerin güvenli, ekonomik ve zamanında bitmesi için kazı boyunca kazı ortamına ve diğer parametrelere göre belirlenmesi gereken diğer bir parametre ise itme kuvvetidir. Son olarak ise hem kaya hem zemin ortamında eşit örtü yüksekliği için itme kuvveti etki etken 6 farklı etken kuvvet teorik olarak hesaplanmıştır.
Anahtar Kelimeler: Pasa Basınçlı TBM, Ayna Basıncı, JSCE, İtme Kuvveti

ABSTRACT Past and present underground structures, transportation, infrastructure, storage, was built for military purposes many times. With the developing technological studies, mechanized excavation machines have been developed that enable faster and safer excavation. The most widely used type of these machines today are full-face tunnel boring machines called TBM. TBMs are classified according to the ground conditions in which they operate. The most widely used of these machines are EPB TBM and Slurry TBM, which can operate both in rock and ground environments. In this study, the determination of design parameters during the excavation phase of a subway project using EPB TBM is exemplified. Within the scope of this project, first geological and geotechnical studies were carried out. It was decided to use EPB TBM as there are generally clayey ground and solid rock environment along this route. Then, stability analyzes were carried out at critical sections in the rock and soil ground conditions to be a support system for the tunnel. Theoretically, the face pressure value that should be applied for the case when it works in closed mode is calculated as 2-3 bar. In order for the projects excavated with EPB TBM to be completed safely, economically and on time, another parameter that must be determined according to the excavation environment and other parameters during the excavation is the thrust force. Finally, 6 different effective forces were calculated theoretically for the equal overburden height in both rock and ground sections.
Keywords: EPB TBM, Face Pressure, JSCE, Thrust Force

1 GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışma, Şubat 2021 tarihlerinde gerçekleştirilen zorunlu maden mühendisliği stajı sırasında yapılan çalışmaları kapsamaktadır. Bu proje kapsamında yaygın olarak TBM makinelere hakkında genel bilgiler elde edilmesi ve şehir tünelcilik faaliyetlerinde sıklıkla kullanılan TBM tipi makinelerinin örneklem ile açıklanması hedeflenmiştir. Pasa Basınçlı Tünel Açma Makinelerin kazı sırasında uygulaması gereken basınç ve itme kuvvetinin teorik olarak hesaplanmasının bir örnekle açıklanmıştır. Proje kapsamında Bu projede bir metro inşaatı güzergahı boyunca kaya ve zemin ortamdan geçen bir tünel açma makinesinin itme kuvveti hesaplamaları ayrı ayrı yapılmıştır. İlk olarak TBM makinelerin tarihçesi ve yaygın kullanılan TBM'lerin sınıflandırılması açıklanmıştır. EPB tipi makineler hem kaya ortamında hem de zemin ortamında çalışma göstermektedirler.

Bu örnek olayda bir metro tünelinin pasa basınçlı tünel açma makinesinin güzergah boyunca kazı sırasında gerekli olacak kazı odası basınç değerleri ve itme kuvvetinin belirlemek ve bunun için gerekli olan mühendislik kriterleri verilecektir.

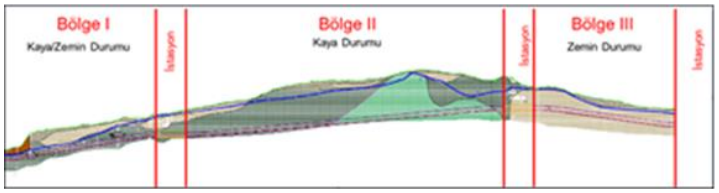
- Jeolojik-Geoteknik değerlendirme,
- TBM Makinesinin Özellikleri
- Tünel ayna stabilite analizleri (Tanı aşaması),
- Kazı haznesi basınç değerlinin belirlenmesi,
- Tünel ayna stabilite analizleri (Terapi Aşaması),
- Kazı haznesi basınç değerlerinin değerlendirilmesi,
- TBM ilerleme sırasında operasyonel işletim önerileri konuları ele alınacaktır.

Örnek proje güzergâhı yaklaşık 15.500 km uzunluğunda çift tüp raylı sistem hattından oluşmaktadır. Bu güzergâh içinde 11 (on bir) adet İstasyon yer almaktadır. TBM ile kazılacak tünel uzunluğu yaklaşık 4,5 km olmaktadır.

2 GENEL JEOLOJİ

Proje alanı TBM güzergahında; Üst Kretase-Alt Paleosen yaşlı Akveren formasyonu (Kta) ve Pliyosen-Erken Kuvaterner yaşlı Karapürçek formasyonu (TQk) ve güncel alüvyonlar gözlenmektedir. Yaklaşık 4.5 km uzunluğundaki TBM güzergahı boyunca en üst tabakada genel olarak Kontrolsüz Dolgu, Nebati Toprak (Yd) bulunmakta olup, tünelin aktif olarak geçtiği formasyonlar değişiklik göstermektedir.

TBM tüneli hat boyunca kaya biriminde, zemin biriminde ve kaya-zemin geçiş bölgelerinde ilerleyecektir. Bu durum göz önüne alınarak güzergâh geomekanik haritada 3 bölgeye ayrılmıştır (Şekil 1). Bu proje kapsamında sadece zemin ve sadece kaya birimini bulunduğu bölge 2 ve bölge 3 göre hesaplamalar yapılacaktır.



Şekil 1. Geomekanik Profil

Bölge 2 bölgesinde KTa-Kireçtaşı birim geçilmiştir. Kireçtaşı için yapılan laboratuvar deneylerinde serbest basma deneylerinde, σc= 18-73 (42) MPa, nokta yükleme deneylerinden yola çıkılarak k=20 katsayısı kullanılarak (1.5 x 20) σc= 30 MPa olarak belirlenmiştir. Çekme dayanımı 4.5 Mpa olarak belirlenmiştir.

Bölge III bölgesinde aralığında TQk-Siltli Kil Birim geçilmiştir. TQk Siltli-Kil birim için, SPT-N değerleri 7-89 aralığında değişmektedir. Genel olarak 10m derinlikten sonra R (>50) değerleri elde edilmektedir. Kohezyon değeri 15 kPa, içsel sürtünme açısı 32^{o} olarak hesaplanmıştır.

3 TBM ÖZELİKLERİ

EPB tipi olan Örnek projede kullanılacak TBM'e ait teknik özellikler şu şekildedir: Delme çapı 6,543m, şilt uzunluğu 10,37m, gantry uzunluğu 80m, TBM ağırlığı 400 ton, gantry ağırlığı 183 ton, maksimum izin verilen basınç 5.1 bar, tasarlanan ilerleme hızı 100mm/dk, toplam maksimum itme gücü 40000 kN şekindedir.

4 STABİLİTE ANALİZİ

Bu aşama da zemin ortamı olan bölge 3 için stabilite analizinde her bir kesit için stabilite analizi Tamez & Cornejo metoduna göre yapılmıştır. Bölge 2 deki kaya ortamı için ise Amberg –Lombardi yöntemi kullanılmıştır.

4.1 ZEMİN STABİLİTE ANALİZİ

Aşağıda, Bölge-III için her kesite ait tünel aynasında karşılaşılacak formasyonlar göz önüne alınarak kazı destek sistemsiz stabilite analiz sonuçları verilmiştir. Tünelin kazı ayna stabilite kontrolleri TBM segment genişliği göz önüne alınarak 1,5 m kazı adımı için yapılmıştır. Minimum güvenlik katsayısı olarak belirlenen 1,3 değeri altında çıkmıştır. Her bir kritik örtü yüksekliği için analiz yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 1'deki gibidir.

Çizelge 1. Analiz Sonuçları

Analiz	h	γ (kN/m3)	c'	Φ (°)	GK
AN1	26	0,5	0,5	0,5	0,5
AN2	22,5	0,5	0,5	0,5	0,5
AN3	20	0,5	0,5	0,5	0,5
AN4	19	0,4	0,4	0,4	0,4
AN5	18	0,48	0,48	0,48	0,48
AN6	17	0,51	0,51	0,51	0,51
AN7	18	0,51	0,51	0,51	0,51
AN8	18,5	0,51	0,51	0,51	0,51

γ = Birim Hacim Ağırlık (kN/m3),
c=kohezyon (kPa),
Φ : İçsel Sürtünme Açısı (°),
GK =Güvenlik Katsayısı h=Örtü Yüksekliği (m)

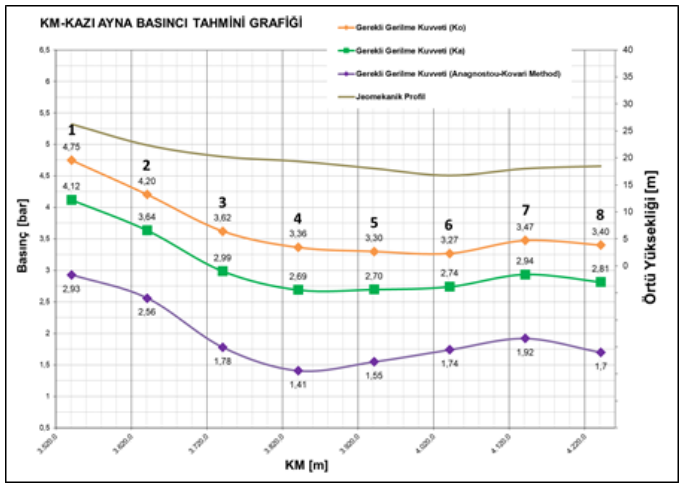
Bölge-II'de yer alan Kesit-1 (KTa Formasyonu-Kireçtaşı) için tünel ayna bölgesindeki radyal deformasyon değeri (δ0) 0,2% değerinin altında ve plastik yarıçap değeri oranı (Rp/Ro) ise 1,1 değerinden küçük olmaktadır. Bu değerlere göre tünel kavitesi ve aynasının davranış sınıfı "A" yani stabil durum çıkmaktadır. Tünel kavitesi ve aynasındaki kazı davranışı elastik davranış göstermektedir.
Çizelge 1.'de verilen örnekler gibi çok hasarı meydana getirirler.

5 KAZI AYNASI BASINÇ DEĞERLERİNİN (EPB) TAHMİNİ

Zemin ortamında ayna yüzeyinin stabil olmamasından kaynaklı EPB TBM aynaya basınç vermesi gerekmektedir. Bu basınç değerinin hesaplanmasında etkili faktörler aşağıdaki gibidir.

- Jeolojik birim
- Örtü yüksekliği
- Yeraltı su seviyesi
- Yapı, yol yükleri (Sükûnet (K0) ve aktif itme (Ka) koşulları metodu için)

Hesaplamada sükûnet (K0) ve aktif itme (Ka) koşulları metodu ve Anagnostu-Kovari meotdu ile belirlenen tahmini ayna basıncı değerleri kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucu güzergâh boyunca uygulanması gereken basınç değerleri Şekil 2'deki gibidir.



Şekil 2. Hesaplanan Ayna Basınçları

Yukarıda görüleceği üzere Bölge-III'de oluşan ayna basınç değerleri şu şekilde özetlenebilir: BM ayna basınç değerleri (Sükûnet durumunda, K0): 3.27 bar – 4.75 bar arasındadır. TBM ayna basınç değerleri (Aktif durumda, Ka): 2.69 bar – 4.12 bar arasındadır. TBM ayna basınç değeri (Anagnostou-Kovari Methoduna göre): 1.41 bar – 2.93 bar arasındadır. Bu 3 metottan gelen sonuçlar incelendiğinde Bölge-III'de uygulanması ön görülen ayna basınç kuvvetinin minimum değeri Anagnostou-Kovari metoduna göre, maksimum değeri ise tüm metotların ortalamasına göre seçilmiştir. Bunu göre ayna basınç kuvvetinin 2.0 bar – 3.0 bar arasında olacağı ön görülmüştür

6 YETERLİ İTME KUVVETİNİN HESAPLANMASI

Japonya İnşaat Mühendisleri Topluluğu (JSCE, 2006) tarafından yumuşak zeminli TBM'lerin toplam itme kuvveti ihtiyacı 5 itme bileşeninin (F1'den F5'e) toplamı olarak önerilmiştir, ancak kesici takımların penetrasyon kuvvetini aşmak için itme kuvveti (F6) (Ateş, Uğur; Bilgin, Nuh; Çopur, Hanifi, 2013) rafından önerildiği 6. Kuvvet olarak eklenmiştir. Kuvvetler;

- F1: Zemin basıncı nedeniyle kalkan ve zemin arasındaki sürtünmenin üstesinden gelmek için gereken itme kuvveti
- F2: Bölme üzerine etki eden oda basıncının üstesinden gelmek için gerekli olan itme kuvveti,
- F3: Yön değişikliklerinin neden olduğu ilerlme kuvvetinin üstesinden gelmek için gereken itme kuvveti
- F4: Şiltin kuyruk kısmındaki contalarla segmentler arasında etki eden sürtünme kuvvetinin üstesinden gelmek için gereken itme kuvveti
- F5: TBM arka tarafındaki ekipmanlarının çekme kuvvetinin üstesinden gelmek için gereken itme kuvveti,
- F6: Kesici takımların penetrasyon (normal) kuvvetinin üstesinden gelmek için gereken itme kuvveti

Bu kuvvetler hem kaya ortamı hem zemin ortamı için hesaplanmıştır. Zemin ortamında kazı yapılması gereken kuvvetler hesaplanmıştır. Her iki durumda en önemli farklılıkları gösteren kuvvetle F1, F2 ve F6 kuvvetleridir. TBM'in ilerlemesi için gerekli olan minimum toplam kuvvetler zemin ortamı için 33285 kN , kaya ortamı için 5147 kN olarak hesaplanmıştır.

7 SONUÇLAR

Yapılan analizler sonucu zemin ortamında kazı yaparken çevresel faktörelerin ve riskleri daha fazla göz önünü alınması gerektiği anlaşılmıştır. Bunnu nedeni isa yapılan analizler sonucu zemin ortamında ilerleme hattına bağlı olarak stabilitenin değiştiği ve buna uygun basıncın ayarlanması için sürekli gözlen yapılması gerektiği kanısın varıldı. Zemin ortamında daha fazla kuvvet uygulanması gerekmesi kazı işlemi sırasında makine aksamında sorunlar yaşanabileceği ve bakım-onarım faaliyetlerinin sıklığını artırılması gerektiği sonucuna varıldı. Kaya kazısı sırasında ise stabil ayna problemi olmasa bile kazılan malzemenin özellikleri, tipi, su geliri gibi parametreler takip edilmeli ve olası bir riske karşı hazır olunması gerektiği sonucuna varıldı.

Teşekkür

Bitirme çalışmasının ortaya çıkış aşamasından sonuna kadarki süreçte benden hiçbir desteğini esirgemeyen bitirme projesi danışmanım Prof. Dr. Cemal BALCI ve eğitim hayatım boyunca eğitimim konusunda bana yardımcı tüm hocalarıma teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

JSCE. (2006). Standart Specifications For Tunnelling: Shield Tunnels. Japan Society of Civil Engineers.

Ateş, Uğur; Bilgin, Nuh; Çopur, Hanifi. (2013). Estimating torque, thrust and other design parameters of different type. Tunnelling and Underground Space Technology.

Tamez, E. (1984). Stability of tunnels excavated in soils. Mexixo City: The Mexican Engineering Academy.

Lombardi, G., & Amberg, W. (1974). Une méthode de calcul élasto- plastique de l'état de. International Congress ISRM, (s. 1049-1060). Denver.

K**., Anagnostou G. Kovari** (1996). Face stability conditions with Earthpressure-balanced Shields. Tunnelling and Underground Space Technology,, 165-173.

Elmas Boncuklu Tel ve Kollu Kesme Makinelerinin Kesim Performanslarının Incelenmesi

Investigation of the Cutting Performance of Diamond Beaded Wire and Arm Cutting Machines

A. C. Özdemir, D. Tumaç
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği, İstanbul

ÖZET Ülkelerin kalkınmalarında ve geleceklerine yön vermede zengin ham madde kaynaklarına sahip olmanın önemi bilinen bir gerçektir. Bugün dünyada uygulanan ekonomik sistemlerin tümünde benimsenen ortak görüş, ham madde girdisinin üretim unsurları içindeki önemi ve vazgeçilmezliğidir. Buna bağlı olarak yer altı kaynakları bakımından zengin olan ülkeler, kalkınmalarını büyük oranda tamamlamış ülkelerdir. Bir ülkenin yer altı zenginliği her şeyden önce, o ülkenin jeolojik yapısına ve jeolojik evrimine bağlıdır (Ketin, 1983). Ülkemiz maden yataklarının sayı, çeşitlilik ve rezerv yönünden değerlendirildiğinde, hiç de küçümsenmeyecek bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Doğal taş yatakları bakımından da ülkemiz önemli bir potansiyele sahiptir. Alp-Himalaya dağları kuşağı üzerinde yer alan Türkiye toplam 5,2 milyar m³ (13,9 milyar ton) muhtemel doğal taş rezervine sahiptir. Bu bitirme tezinde de Bilecik ilinin Gökpınar köyünde yer alan Temmer Mermer Rosalia Ocağı'ndaki elmas boncuklu tel kesme makinelerinin ve zincir kollu kesme makinelerinin performans analizi ele alınmıştır. Performans analizlerinin karşılastırılmaları hazırlanmıştır.

ABSTRACT It is a known fact that having rich raw material resources in the development and direction of the countries is important. The common view adopted in all of the economic systems implemented in the world today is the importance and indispensability of raw material input in the production elements. Accordingly, countries that are rich in underground resources are countries that have completed their development to a large extent. The underground wealth of a country depends primarily on the geological structure and geological evolution of that country (Ketin, 1983). When the mineral deposits of our country are evaluated in terms of number, variety and reserve, it is seen that it has a potential that will not be underestimated at all. In this graduation thesis, performance analysis of diamond wire cutting and chain saw cutting machines in Temmer Marble Rosalia Quarry located in Gökpınar district of Bilecik province is discussed.

1 GİRİŞ

Geçmişten günümüze mermer her çağa ayrı özelikler vermiştir, aynı zamanda ülkelerin ekonomik olarak gelişmesinde ve kalkınmasında da önemli bir rol oynamaktadır. Günümüzde dünyanın en zengin ve kaliteli mermerlerinin Akdeniz ülkelerinde yer aldığı bilinmektedir. Dolayısıyla, Türkiye'de bir Akdeniz ülkesi olduğundan, önemli derecede zengin ve kaliteli mermer rezervi potansiyeline sahiptir.

Ülkemizin başarılı bir şekilde gelişmesi ve kalkınması için mevcut kaynaklarımızı en verimli şekilde değerlendirmesi gerekmektedir. Gelişmiş ülkelere bakıldığında, ülkelerin kendi doğal kaynaklarını en verimli şekilde değerlendirmesi sonucu maden sektörünün dünya ticaretindeki paylarının oldukça büyük olduğunu görmekteyiz. Ülkemiz dünya rezervlerinin %35-40'ına sahip

olmasına rağmen dünya ticaretinde olması gereken konumda değildir.

Her alanda olduğu gibi mermer üretiminde de teknolojik gelişmeleri takip etmek, mermer yataklarının randımanlı ve ekonomik ölçülerde işletilmesini sağlamak büyük ölçüde önem taşımaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte mermer ocaklarında blok mermer ve fabrikalarda işlenmiş mermer üretimi hızla artmaktadır. Bu sebeplerden dolayı yapılan bu çalışmada antik dönemlerden günümüze kadar uygulanan mermer üretim yöntemleri ve son zamanlarda meydana gelen teknolojik gelişmeler ele alınmış, elmas tel kesme makinelerinin ve zincir kollu kesme makinelerinin performansı incelenmiştir ve performansları karşılaştırılmıştır.

2 MERMER

2.1 Genel Bilgiler

Metamorfizma sonucunda kalker ve dolomitik kalkerlerin yeniden kristalleşmesi sonucu oluşan bileşim "mermer" olarak tanımlanmaktadır. İçeriği %90-98'i kalsiyum karbonat'tan oluşan mermer, düşük oranda magnezyum karbonat içermektedir. $CaCO_3$ kristalleriyle meydana gelen mermerlerde asıl mineral "kalsit" tir.

2.3 Dünyada Doğal Taş Potansiyeli

Kristal yapıdaki kalkerler olarak adlandırılan mermer yeryüzünde Alp-Himalaya kuşağında, Ege adalarında, Pakistan, Hindistan ve Çin'e kadar olan geniş bir alanda bulunmaktadır. Mermer yerine kullanabilecek birçok blok şeklinde üretim yapılan kayaçlar da mevcuttur. Bu kayaçların rezerv durumlarıyla ilgili bilgilere baktığımızda, kalker, dolomitik kalker genellikle Alp kuşağının güneyinde, Akdeniz ülkelerinin çevresinde toplandığını görmekteyiz. Şekil 2.1'de doğal taşın yaygın olduğu alanlar verilmiştir.

Şekil 2.1. Doğal Taşın Yaygın Olduğu Alanlar (Baka, 2011)

3 ELMAS TEL KESME YÖNTEMİ İLE MERMER ÜRETİMİ

3.1 Tarihi Gelişim

Elmas tel kesme yöntemi ilk defa 1970'li yıllarda mermer üretim tesislerinde blokların sayalanmasında tercih edilmiştir. Fakat aynı yıllarda ortaya çıkan Monoloma makineleri, bu makinelerin yaygın bir şekilde kullanımına olanak vermemiştir (Mannoni, 1984). Elmas tel kesme makineleri ile o zaman ocaklarda taş çıkartımı denenmiş, ancak büyük çekme ve eğilme gerilmelerine maruz kalan tellerin dirençlerinde problemler ortaya çıkmıştır.

3.2 Genel Tanım

Elmas tel kesme yöntemi; boncuklar geçirilmiş tele, elmas tel kesme makinesi tarafından verilen sonsuz döngü kuvveti sayesinde mermerin kesilmesi esasına dayanmaktadır. Elmas tel ve mermer arasındaki sertlik farkından faydalanılarak kesim işlemi yapılmaktadır.

4 ZİNCİRLİ KOLLU KESME YÖNTEMİ İLE MERMER ÜRETİMİ

Zincirli kollu kesme yöntemi çoğunlukla cüsseli, devamlı ve uygun jeolojik şartlarda kullanılmaktadır (Şekil 4.1). Zincirli kollu makinesi yatay ve dikey kesim yapabilen makinedir. Testere makineleri kesim sürecinde genellikle sürüklenmemektedir; ancak bu durum bıçak ağzındaki basınç ve makinenin altında bulunan raylara göre farklılık gösterebilmektedir.

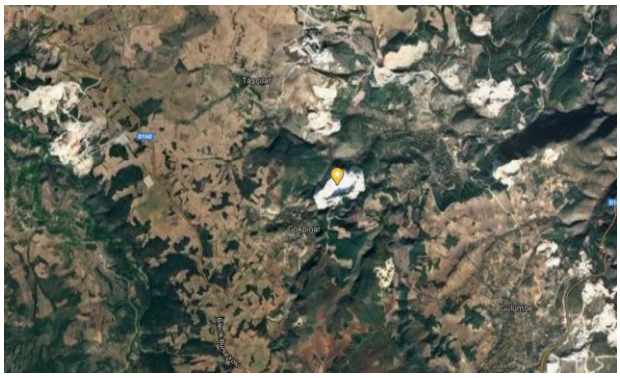
Şekil 4.1 Zincirli testere kesme makinesi

5 BİLECİK TEMMER MARBLE NATURA MERMERCİLİK OCAĞININ TANITILMASI

Türkiye'nin en büyük mermer ocaklarından birine sahip olan ve modern teknolojisiyle mermere hayat veren Temmer, 1998 yılında Afyon'da kurulmuştur.
Bugün Türkiye'de doğal taş sektörüne yön veren Temmer, 1998'de Bilecik'te, kendisine ait ilk bej mermer ocağı yatırımını yaparak, zamanla burayı Türkiye'nin en büyük ocaklarından biri haline getirmiştir. Mermer ocağı çalışmalarına büyük bir hızla devam eden Temmer, yıllar içerisinde Afyon, Eskişehir, Muğla gibi Türkiye'nin önemli mermer rezerv alanlarında ocaklar açarak, ocak sayısını altıya çıkarmıştır.

5.1 Ocağın Konumu Hakkında Jeolojik Bilgiler

Türkiye'nin en büyüklerinden biri ve Bilecik'in en büyük bej ocağı olma özelliği taşıyan Rosalia Ocağı, Temmer'in ilk ve en büyük kapasiteli ocağıdır. 1998 yılında açılan ocakta, bugün yıllık 200.000 ton blok mermer çıkartılmaktadır.
Tamamı Temmer'e ait olan modern ve geniş bir makine parkuru bulunan Rosalia Ocağı'nın görünür rezervi en az 50 yıl daha işlenebilecek bir konumdadır. Ocağın konumu şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Ocağın Lokasyonu

5.2 Kullanılan Makine ve Ekipmanlar

Bu bölümde Natura mermecilik Bilecik ocağında kullanılan makineler tanıtılacaktır. Aşağıdaki Çizelge 5.1'de ocakta kullanılan makineler ve markaları genel olarak verilmiştir.

Çizelge 5.1. Bilecik mermer ocağında kullanılan makine türleri

Makine Türü	Makine Markası ve Modeli
Loader	Cat 980H
Ekskavatör	Hidromek 370
Ekskavatör	Hitachi zaxis 350LCH
Zincirli Kollu Kesici	Demmak DZK-3400
Rampalı Sayalama	Demmak RTSM-20
Delik Delici Makine	Hidrobarsan
Elmas Tel Kesme	Arıman tel kesme

6 SAHA ÇALIŞMALARI

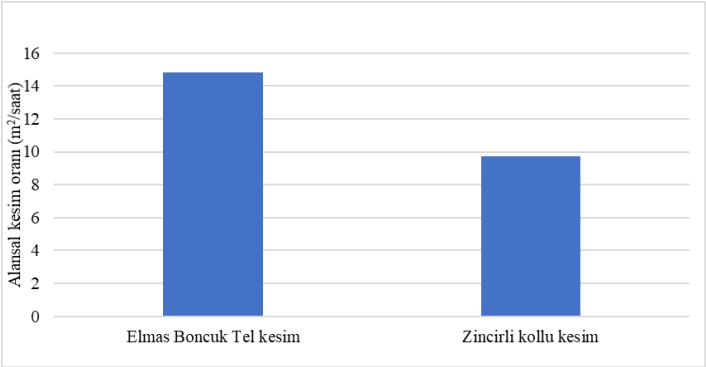
Bu çalışma için gerekli saha çalışmaları ve performans ölçümleri, Bilecik'te faaliyet gösteren Temmer Mermer tarafından Gökpınar'da işletilen Rosalia ocağında yapılmıştır. Sahada elmas tel ve zincir kollu kesici ile yan kesim işlemleri gözlemlenmiş, performans hesaplamaları yapılmış ve performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Elmas boncuklu tel ve zincirli kollu kesici

ile yapılan yan kesim ölçümlerinin özeti ise Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Performans karşılaştırması

Kesim Şekli	Ölçüm Numarası	Kesim Performansı (m^2/saat)	Ortalama (m^2/saat)
Elmas boncuklu tel ile yan kesim	1	14.11	14.80
	2	14.72	
	3	15.38	
	4	1.5	
	5	14.81	
Zincir kollu kesici ile yan kesim	1	10.5	9.74
	2	7.94	
	3	10.9	
	4	8.25	
	5	11.45	

Şekil 6.1'de ise her iki makinenin yan kesim performanslari grafik olarak karşilaştirilmiştir.



Şekil 6.1. Kullanılan makinelerin performans karşılaştırmaları

7 SONUÇLAR

Ocakta yürütülen çalışmalara dair yapılan bir diğer gözlem ise elmas telde kullanılan boncuk sayısıdır. Tel kesme makinesine koşulan elmas telde, yapılan ölçümler sonucu metre başına 32 elmas boncuk düştüğü görülmektedir. Tel dizilimi göz önüne alınacak olursa sıkılamaların dört boncukta bir yerleştirildiği dikkat çekmektedir. Kullanılan boncuk çapları sabit tutulmuş olup, bu çap 11 mm'dir. Sıkılama kullanımında amaç; tel kopmalarında saçılan boncuk sayısının en aza indirilmesidir.

Yan kesme işlemlerinde kullanılacak olan makinelerin raylara da iyice oturtulması gerekmektedir. Tam anlamıyla bir yataylık sağlanamaz ise bu durum kesim performansını negatif etkilemektedir.

Her iki makinenin yan kesim için performansı karşılaştırıldığında elmas tel kesim hızının zincirli kollu kesme hızına oranla %52 daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Öncelikle tezimi bitirmemde büyük rol oynayan, tez yazım süreci boyunca bana her adımda yol gösteren, destek ve yardımlarını esirgemeyen ve daima anlayışlı olan tez danışmanım Prof. Dr. Deniz TUMAÇ'a teşekkür ederim. Tez yazım aşamasında bana çok yardımcı olan arkadaşlarıma ve son olarak bu hayatta her şeyimi borçlu olduğum her zaman yanımda duran sevgili annem ve babama sonsuz teşekkürler ediyorum.

KAYNAKLAR

Capuzzi, Q., 1980, Modern Technology and Mechinery for Marble Quarrying, Benetti Macchine Srl, Sayfa 96, Roma, İtalya.

Kekeç, N., 2001, Tel Kesme Makinelerinde Elmaslı Tellerde Kesme Performansının Belirlenmesi Üzerine Bir İnceleme, Sayfa 30-46, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği, *Yüksek Lisans Tezi*, Isparta.

Kızıltepe, T., 1990, Elmas Tel Kesme Makinelerinin Kullanımında Bazı Püf Noktalar, *Mermer Yapı ve Dekorasyon Dergisi*, Sayı 26, Sayfa 26-28, İstanbul Mermerciler Derneği Yayını, İstanbul.

Kun, N., 2000, *Mermer Jeolojisi*, Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi, Sayfa 1-16, İzmir.

Onargan, T. ve Köse, H., 1997, Mermer Ocak İşletmeciliği, Kesme Teknolojisi, Ekonomisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Yayınları, Yayın No : 220, Sayfa 209, İzmir.

Gümüştaş Madencilik Tic. A.Ş. Gümüşhane Hazine Mağara Yeralti Işletmesi'nin Havalandirma Sisteminin Incelenmesi

Investigation Of The Ventilation System Of The Gümüştaş Mining Gümüşhane Hazine Mağara Underground Mine

B. Yanıkoğlu, A. Fişne, A. Soylu
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu bitirme çalışmasının amacı, Gümüştaş Madencilik Gümüşhane Hazine Mağara Yeraltı İşletmesi'nin mevcut havalandırma sisteminin incelenmesi ve olası iyileştirmelerin planlanmasıdır. Çalışmada Gümüştaş Madencilik Gümüşhane Hazine Mağara Yeraltı İşletmesi genel hatlarıyla tanıtılmış; ocak, jeoloji ve üretim yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Madenin havalandırma sistemi incelenmiş ve mevcut sorunların giderilmesi için çözümler planlamıştır. Yeraltında yapılan aktiviteye bağlı olarak çalışanların solunumu, yayılan gaz hacmi, toz miktarı, dizel araçlardan yayılan gaz hacmi ve hava hızı limitlerine bağlı olarak ocağın hava ihtiyacı hesaplanmıştır. AutoCAD programı vasıtasıyla elde edilen ocak planı Ventsim Visual 4 programına aktarılarak havalandırma şebekeleri sanal ortamda oluşturulmuştur. Belirlenmiş olan hava miktarı şebekeye dağıtılmış, havalandırma sistemlinin ve sistemi oluşturan elemanların incelemesi yapılmıştır. Sistemin basınç kayıpları, eşdeğer ocak aralıkları hesaplanmış ve sistemde kullanılması gereken vantilatöre ait güç ve rotor çapı bilgileri verilmiştir.

ABSTRACT The aim of this project is to analyze the existing ventilation system of Hazine Mağara Underground Mine and planning the possible inprovements. Firstly, the study provides a general information about Hazine Mağara Underground Mine. The mine's ventilation system has been analyze and solutions have been planned for the elimination of existing problems. The air requirement of mine was calculated depending on the breathing rate of the workers, the emitted gas volume, the amount of dust, the gas volume emitted from the diesel vehicles and the air velocity limits. The mine plan obtained through the AutoCAD was transferred to the Ventsim and the ventilation networks were created and simulated in the virtual environment. The determined amount of air was distributed to the network. Pressure losses of the system, equivalent mine openings are calculated. The power and rotor diameter information of the ventilator that should be used in the system are determined.

1 GENEL BİLGİLER

Gümüştaş Hazine Mağara maden sahası, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Gümüşhane ilinin 2 km güneybatısında bulunmaktadır. Ruhsat sahası 1200'lerden kalma eski bir maden işletmesi olan Hazine Mağara bölgesini kapsar. Polimetalik Pb-Zn-Cu (Au-Ag) yatağı olarak tanımlanır. Yeraltı işletmesi olarak üretim yapılmaktadır. Üretim yöntemi olarak ara katlı göçertme ve kaz-doldur yöntemi kullanılmaktadır.

1.1 Coğrafi Konum

Doğu Karadeniz Bölgesinde yer alan Gümüşhane ili; doğusunda Bayburt, batısında Giresun, kuzeyinde Trabzon ve güneyinde Erzincan ile komşudur. Yüzölçümü 6.575 km2 olan Gümüşhane, 38° 45' - 40° 12' doğu boylamları ile 39' 45' - 40' 50' kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 1210 metredir. Yeryüzü şekilleri bakımından Köse, Kelkit ve Şiran ilçelerinin yer aldığı güney kesimi yüksek bir plato özelliği

gösterirken, Merkez, Torul ve Kürtün ilçelerini kapsayan kuzey kesimi oldukça engebelidir. İlin en yüksek noktası 3.331 metre ile Abdal Musa Tepesidir.

1.2 Gümüşhane Bölge Jeolojisi

Bu bölümde, Doğu Pontidler ile Gümüşhane ve yakın çevresinin genel ve maden jeolojisi ve bölgede yer alan kıymetli metal (Au, Ag), baz metal (Cu, Zn, Pb) yatak ve alterasyon zonları çeşitli kaynaklardan ve araştırmalardan yola çıkarak anlatılmıştır.

2 ANA BAŞLIK OCAĞIN MEVCUT ALTYAPISI VE HAVALANDIRMA SİSTEMİ

Ocağın yeryüzü ile iki bağlantısı bulunmaktadır. Bunlardan biri; şantiye bölgesine yakın ve yaklaşık 20 m2 kesiti ocağa hava, personel, ekipman ve malzeme nakliyatının yapıldığı giriş galerisidir. 1470 kotunda bulunmaktadır. Bir diğeri ise 1565 kotunda ve üzerinde emici fan bulunun 10m2 kesitli havalandırma galerisidir. Ocak içinde üretim, hazırlık ve diğer bölümleri dolaşan kirli hava hazine mağara içinden geçerek bu galeriden dışarı çıkmaktadır.

3 HAVALANDIRMA SİSTEMİNİN PLANLANMASI

Ocak içi hava dağılımındaki düzensizliklerin giderilmesi için havalandırma şebekesinde bazı düzenlemeler yapılmıştır. Bu düzenlemeler bazı yolların devre dışı bırakılması veya şebekeye bazı yeni yolların eklenmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan düzenlemelerden elde edilen sonuçlar havalandırma simülasyon çalışmaları ile test edilmiş ve optimum çözüm bulunmaya çalışılmıştır.

3.1 Hava Yollarının Dirençlerinin Belirlenmesi

Havalandırma şebeke analizinin güvenirliği büyük ölçüde hava yollarının dirençlerinin hatasız olarak belirlenmesine bağlıdır. Hava yolunun direnci iki ayrı yöntemle hesaplanabilmektedir. Bunlar; Atkinson Eşitliği'nin kullanılması ve ocak yollarının geometrik büyüklüklerinden yararlanarak yapılan hesaplamalardır.

4 VANTİLATÖR ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Vantilatör seçiminde öncelikli parametre "Aksiyel" ve "Radyal" vantilatör tipleri arasındaki seçim olmaktadır. Her şeyden önce seçilecek vantilatör ocak direnci ve hava miktarı değişikliklerinde uygun verim göstererek çalışabilmelidir. Aksiyel vantilatörler kademe sayıları değiştirilebilmesi nedeniyle ocak direncinde meydana gelebilecek artma veya azalmaları karşılayabilmektedir. Ayrıca, gerek duyulduğunda seri bağlanmaları ve ters yönde çalıştırılmaları da mümkündür. Bu nedenle yeraltı madenciliğinde genellikle aksiyel vantilatörler tercih edilmektedir.

5 SONUÇLAR

Bu projede Gümüştaş Madencilik ve Ticaret A.Ş.'nin Gümüşhane Hazine Mağara'da bulunan "Yeraltı Maden İşletmesinin Havalandırma Sisteminin İncelenmesi ve Optimizasyonu" konusunda çalışmalar yapılmıştır. Uygulanmakta olan havalandırma sisteminin nicelik ve nitelik bakımından 08-24 Ocak 2021 tarihleri arasında işletmede incelemelerde bulunulmuştur. Yetkililerden ocak ile ilgili bilgiler alınmış, ocakta gözlemler yapılmıştır. Ocağın havalandırma şebekesinin bilgisayar ortamında oluşturulması ve analizi için Ventsim Visual 4 havalandırma simülasyon programı kullanılmıştır. Programa veri olarak öncelikle işletme tarafından hazırlanan üretim planı "dxf" formatından Ventsim'e aktarılmış ve havalandırma şebekeleri oluşturulmuştur. Ardından şebekeyi oluşturan her bir hava yolu için geometrik

şekil ve boyut, sürtünme faktörü vb. parametreler programa girilmiştir. Ayrıca ocağa verilecek toplam hava miktarı farklı kriterler dikkate alınarak hesaplanmış ve hava dağılımı program yardımıyla analiz edilmiştir.

Problemlerin çözümü için ocağın temiz hava ihtiyacı, işçi sayısı, toz miktarı, kullanılan patlayıcı madde miktarı ve dizel araçlardan yayılan gaz hacmi ile ocak içerisinde meydana gelebilecek hava kaçaklarının ve havalandırılması gereken garaj, depo vb. gibi boşlukların ihtiyacı da dikkate alınarak 140 m3/s olarak belirlenmiştir. Ocağa ihtiyacı olan 140 m3 /s hava gönderilmesine rağmen 1430, 1410 ve 1390 kotlarında istenen ve gerekli olan hava dağılımı ocağın mevcut şebekesinde sağlanamamaktadır. Ocak genelinde hava dağılımının istenilen şekilde gerçekleştirilmesi için mevcut ocak şebekesinde düzenleme yapılmıştır. İlk olarak üretim kotlarına temiz hava girişlerinin olması için ocak ana hava giriş galerisinden söz konusu katlara bağlantı galerileri eklenmiştir. Bu sayede her kata diğer katlarda veya ocağın bir başka yerinde kirlenmemiş hava sevk edilebilecektir. Ayrıca üretim kotlarında kör galeriler birbirleri ile irtibatlandırılmış ve gerekli yerlere hava kapıları eklenerek arınlara gerekli havanın ulaşması sağlanmıştır.

Gerekli hava miktarının belirlenmesinin ardından havanın şebeke içinde dağılımı gözlemlenmiş ve düzenlemeler yapılmıştır. Açılması planlanan galeri ve fereler ile üretim kotlarına temiz havanın doğrudan ulaşması sağlanmıştır. Ocakta hava akışının düzenlenmesi ve kaçakların engellenmesi amacıyla hava kapıları gerekli görülen noktalara yerleştirilmiştir. Ocak havalandırma şebekesini oluşturan hava yollarında meydana gelen basınç kayıpları Atkinson Eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte kullanılan bilgiler Gümüştaş Madencilik tarafından hazırlanan üretim planlarından alınmıştır. Vantilatör güç değeri 279 kW olarak belirlenmiş ve eşdeğer ocak açıklığı 4,36 m2 olarak hesaplanmıştır. Madenin aktif olarak üretim yapılan kısmı için "Geniş Ocak" tanımı yapılmıştır. Gerekli vantilatör rotor çapı 3,15 m bulunmuştur. Ocak toplam direnci mevcut ocak şebekesi için 0,07228 N.s2 /m8 ve yeniden düzenlenmiş ocak şebekesi için 0,07578 N.s2 /m8 olarak hesaplanmıştır. Ocaktan 140 m3/s hava geçirilmesi durumunda ocakta meydana gelecek basınç farkı mevcut ocak şebekesi için 1469 Pa ve yeniden düzenlenmiş ocak şebekesi için 1497.7 Pa olarak belirlenmiştir. Bu durumda her iki şebeke için yaklaşık 1500 Pa'lık fan seçilmesi uygun olacaktır. Hesaplanan bu veriler ışığında seçilen ve halihazırda işletmede bulunan 315 kW ve 3,5 m rotor çapına sahip aksiyel vantilatör uygun bulunmuştur.

TEŞEKKÜR

Bitirme çalışmam sırasında hiçbir desteğini benden esirgemeyen danışmanım Doç.Dr. Abdullah FIŞNE'ye ve lisans hayatım süresince bilgi ve deneyimlerini bana aktaran tüm hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım süresince bana yol gösteren araştırma görevlisi Anıl SOYLU'ya teşekkür ederim.

Hayatımın her anında bana destek olan ve bu günlere gelmeme imkân sağlayan annem Arzu ÇETİN ve babam Erdoğan YANIKOĞLU'na varlıkları ve kattıkları değer için teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Akın A.K., 2018. "Gümüşhane ve Kurum Vadisi Madencilik Tarihi",*Akmetal Madencilik AŞ Madencilik Tarihi Araştırmaları-1*.

Ayvazoğlu, E., 1986. "Madenlerde Havalandırma ve Emniyet" İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Ofset Atölyesi.

Durucan, Ş., Güyagüler, T., "Yeraltı Madenciliğinde Çevre Sorunları ve Kontrol Yöntemleri", Genel Maden İşçileri Sendikası Yayını, Demircioğlu Matbaası, Ankara.

DMT, 1991. "Grundriss der Bergtechnik", Verlag Glüchauf GmbH, Essen.

Hartman, H. L., Mutmansky, J. M. and Wang, Y. J., 1982. "Mine Ventilation and Air Conditioning", John Wiley & Sons, New York.

Maden ve Taşocakları İşletmelerinde ve Tünel Yapımında Tozla Mücadeleyle ilgili Yönetmelik, 1990. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Resmi Gazete, Sayı. 20635.

Reuther, U.E., 1989. "Lehrbuch der Bergbaukunde", Verlag Glückauf GmbH-Essen.

Saltoğlu, S., 1983. "Madenlerde Havalandırma ve Emniyet İşleri", İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul.

Saraç, S., Önder, M., 1997. "Uzun Galeriler için Tali Havalandırma Sistemlerinin Tasarımı", Türkiye 15. Madencilik Kongresi, s. 219 – 226.

Sargın S., Demir Ş., 2018. "İnsan Mekân İlişkisi Ölçeğinde Kent Kimliği ve Gümüşhane Örneği", The Journal of International Scientific Researches.

Skochinsky, A. and Komarov, V., 1969. "Mine Ventilation", MIR Publishers, Moscow.

Tozla Mücadele Yönetmeliği, 1990. "Maden ve Taşocakları İşletmelerinde ve Tünel Yapımında Tozla Mücadeleyle İlgili Yönetmelik".

Ventsim Visual User Guide, 2011. Ventsim Software, Capalaba Queensland Australia.

Kaya Kesme Hızının Mini Konik Keskiler Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması

Effect of Rock Cutting Speed on Mini Conical Chisel Cutters

C. Akın, C.Balcı, F.S.Sarbangholi
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu bitirme çalışmasının amacı, kaya kesme hızının mini konik keskiler üzerindeki etkilerinin araştırılmasıdır. Çalışmada öncelikle performans tahmin modelleriyle ilgili bilgiler verilmiş daha sonra kaya kesme başlığında kesici aletler hakkında bilgiler verilerek konik keski tanıtılmıştır. Taşınılabilir doğrusal kaya kesme setinde yaptığımız deney başlığı altında deneyde kullanılan Marmara beyaz mermer hakkında ve taşınılabilir doğrusal kaya kesme seti tanıtılmaktadır ve yaptığımız deney sonucunda elde edilen veriler analiz edilmektedir. Bu çalışmanın esas amacı 3, 12.5 ve 25 cm/sn lik kesme hızlarının 2, 3 ve 5 mm derinliklerinde mini konik keskiler üzerindeki normal kuvvet, yuvarlanma kuvveti ve spesifik enerji değişimlerinin araştırılmasıdır.

ABSTRACT The aim of this finishing work is to investigate the effects of rock cutting speed on mini conical chisels. In the study, firstly, information about the performance estimation models was given, then the conical chisel was introduced by giving information about the cutting tools in the rock cutting head. Under the title of the experiment we performed on the portable linear rock cutting set, the Marmara white marble used in the experiment and the portable linear rock cutting set are introduced and the data obtained as a result of our experiment are analyzed. The main purpose of this study is to investigate the normal force, rolling force and specific energy changes on mini conical chisels at 2, 3 and 5 mm depths at cutting speeds of 3, 12.5 and 25 cm/s.

1 GİRİŞ

Kaya üzerindeki farklı kesme koşullarını simüle etmek için Yeni Taşınılabilir Doğrusal Kaya Kesme Setinde (PLCM) yapılan Marmara beyaz mermerinin kesme deneyleri için karot veya küp şeklinde hazırlanmış olan kaya numuneleri kullanılmaktadır. Kaya kesme işleminden önce kaya numuneleri düzgün bir şekilde kesilip metal kutuların içerisine uygun bir şekilde yerleştirilip üzerine betonlama işlemi için özel bir harç olan grout harcı kullanılmıştır. Bu çalışmada Taşınılabilir Doğrusal Kaya Kesme Setinde elde edilecek en önemli bilgi keskiye 3 farklı yönde gelen kuvvetlerin ölçülmesidir. Taşınılabilir Doğrusal Kaya Kesme Setinde mini konik bir kesiciyle yapılan Marmara beyaz mermerinin kesimi farklı hız ve derinlik değerleri kullanılarak yapılmaktadır. Bu çalışma için 2 tona kadar kuvvet ölçebilen bir dinamometre tasarlanmıştır ve bu dinomamometrenin üst ve alt plakasını birleştiren 4 ayağına deformasyon ölçer köprüsü oluşturacak gerilimölçer yerleştirilerek bu sayede ön ve arka ayakların farkı kesme kuvvetini, yan ayakların farkı yanal kuvveti ve tüm ayaklara gelen

kuvvetlerin ortalaması normal kuvveti vermektedir. Bu kuvvetler yük hücresi sayesinde elektrik sinyaline dönüştürülerek bir bilgisayara aktarılmıştır ve böylece kesicinin kuvvet değerlerine ne tür etkisinin olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada öncelikle deneyin nasıl yapıldığı ve deneyde elde edilen veriler analiz edilerek hangi sonuçlara ulaştığımızdan oluşmaktadır.

2 LABAROTUVARDA UYGULANAN DENEY

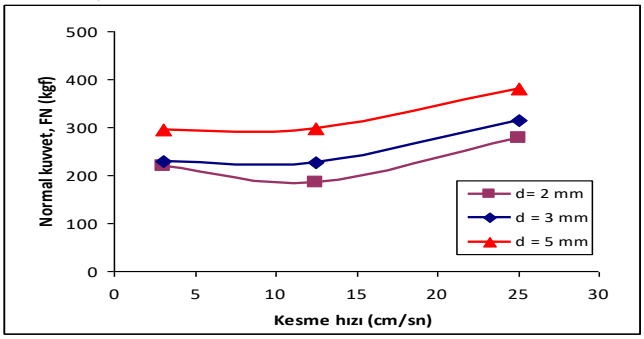
Marmara beyazı üzerinde taşınabilir doğrusal kaya kesme deney setinde 60° uç açılı, 45° dalma açısı, ve 15° temizleme açısına sahip olan mini konik keski kullanılarak ve keskiler arası mesafe (s) değeri 10 mm olarak ayarlanıp kesme derinliği (d) değerleri 2, 3 ve 5 mm olarak ayarlanmış yardımlı ve yardımsız PLCM deneyleri yapılmıştır. Yapılan deney programı Çizelge 2.1 de verilmektedir. Deneyin amacı kesme hızının normal kuvvet, yuvarlanma kuvveti ve spesifik enerji üzerindeki etkilerinin araştılmasıdır.

Çizelge 2.1 Yapılan Deney Programı

Numune Adı	Keski Tipi	d(mm)	Yardımsız Kesme	Yardımlı Kesme
Marmara Beyaz	Konik Keski	2	✓	✓
Marmara Beyaz	Konik Keski	3	✓	✓
Marmara Beyaz	Konik Keski	5	✓	✓

2.1 Marmara Beyaz Mermer Numunesi Üzerinde Yapılan Yardımlı PLCM Kesme Deneyleri için Kesme Hızı ile Normal Kuvvet Arasındaki İlişki

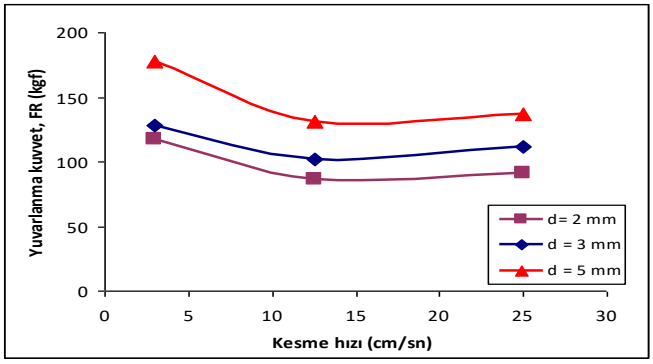
Marmara beyaz kayası ile yapılan kesme deneylerinde kesme hızı arttıkça normal kuvvet değerlerinde artış olmaktadır. Kesme hızı ile normal kuvvet arasındaki ilişki Şekil 2.1 de verilmiştir. Kesme hızı 3 cm/sn iken derinlik 2 mm'den 5 mm ye arttırıldığında normal kuvvette yaklaşık %34'lük bir artış olmuştur. Kesme hızı 12.5 cm/sn iken derinlik 2 mm'den 5 mm ye arttırıldığında normal kuvvette yaklaşık %60'lık bir artış olmuştur. Kesme hızı 25 cm/sn iken derinlik 2 mm'den 5 mm ye arttırıldığında normal kuvvette yaklaşık %37'lik bir artış olmuştur.



Şekil 2.1 Marmara Beyaz Numunesi Üzerinde Yapılan Yardımlı PLCM Kesme Deneyleri için Kesme Hızı ile Normal Kuvvet Arasındaki İlişkisi

2.2 Marmara Beyaz Mermer Numunesi Üzerinde Yapılan Yardımlı PLCM Kesme Deneyleri için Kesme Hızı ile Yuvarlanma Kuvveti Arasındaki İlişki

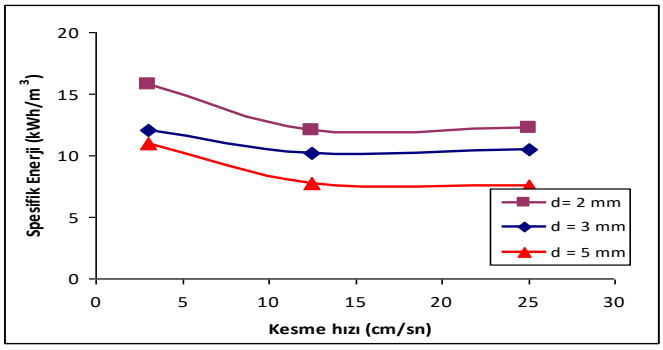
Marmara beyaz kayasında yapılan kesme deneylerinde kesme hızı arttıkça yuvarlanma kuvvet değerlerinde azalma olmaktadır. Şekil 2.2 'de de görüldüğü gibi kesme derinliği 2,3 ve 5 mm'de yapılan PLCM kaya kesme deneylerinde kesme hızı (3 cm/sn, 12.5 cm/sn, 25 cm/sn) ile yuvarlanma kuvvet arasında azalan bir ilişki vardır. Kesme hızı 3 cm/sn iken kesme derinliği 2 mm'den 5 mm'ye arttırıldığında yuvarlanma kuvvetinde yaklaşık %51'lik bir azalma olurken, kesme hızı 12.5 cm/sn iken kesme derinliği 2 mm'den 5 mm'ye arttırıldığında yuvarlanma kuvvetinde yaklaşık %52'lik bir azalma olmaktadır ve kesme hızı 25 cm/sn iken kesme derinliği 2 mm'den 5 mm'ye arttırıldığında yuvarlanma kuvvetinde yaklaşık %50'lik bir azalma olmaktadır.



Şekil 2.2 Marmara Beyaz Numunesi Üzerinde Yapılan Yardımlı PLCM Kesme Deneyleri için Kesme Hızı ile Yuvarlanma Kuvveti Arasındaki İlişkisi

2.3 Marmara Beyaz Mermer Numunesi Üzerinde Yapılan Yardımlı PLCM Kesme Deneyleri için Kesme Hızı ile Spesifik Enerji Arasındaki İlişki

Kesme hızı arttıkça birim hacimdeki kayacı kesmek için harcanan enerjide düşüş olmaktadır. Kesme hızı 3 cm/sn'de her bir kesme derinliğinde de en yüksek spesifik enerji elde edilmiştir. 12.5 cm'sn'lik kesme hızından sonra spesifik enerjide değişim çok fazla olmamaktadır. Kesme hızı ile spesifik enerji arasındaki ilişki Şekil 2.3 de gösterilmiştir. Kesme hızı 3 cm/sn iken kesme derinliği 2 mm'den 5 mm 'ye arttırıldığında spesifik enerjide yaklaşık %30'luk bir azalma meydana gelirken, kesme hızı 12.5 cm/sn iken kesme derinliği 2 mm'den 5 mm'ye arttırıldığında spesifik enerjide yaklaşık %36'lık bir azalma olmaktadır ve kesme hızı 25 cm/sn iken kesme derinliği 2 mm'den 5 mm ye arttırıldığında spesifik enerjide yaklaşık %39'luk bir azalma olmaktadır.



Şekil 2.3 Marmara Beyaz Numunesi Üzerinde Yapılan Yardımlı PLCM Kesme Deneyleri için Kesme Hızı ile Spesifik Enerji Arasındaki İlişkisi

3 DENEYSEL PARAMETRELER

3.1 Keski Kuvveti

Tam ölçekli doğrusal kesme testlerinde yüksek güvenlikle elde edilen kesme kuvvetleri; kesici takımlarının ve kazı makinelerinin kesilebilirliğini değerlendirmek için hayati bir öneme sahiptir (W.Shao, 2014). Kesme esnasında konik keskiye gelen kuvvetler normal kuvvet, kesme kuvveti ve yanal kuvvet olarak 3 e ayrılır.

3.2 Kesme Derinliği

Kazı sistemlerinde en önemli özellik kesme derinliğidir. Kesme derinliği arttıkça kesici takıma etki eden kuvvetler doğrusal olarak artar ve ayrıca kesilen alanın hacmi de parabolik olarak artar. Bununla birlikte kesme derinliği spesifik enerji ile ters orantılıdır. Belirli bir kesme derinliğinden sonra ise daha derin kesmenin bir avantajı yoktur. Kesme derinliği "d" ile gösterilir.

3.3 Kesme Düzeni

Komşu kesici takımlarının arasındaki mesafe satır aralığı/kesme aralığı olarak tanımlanır. Kaya kesme makinelerinin tasarımında ve çalışmasında kesme aralığı çok önemli bir göreve sahiptir (Özsağna, Bitirme Tezi). Kesme sistemi için minimum spesifik enerji veren belirli bir kesme derinliği için optimum çizgi aralığı vardır. Ayrıca kesme aralığı çok küçük ise spesifik enerji o kadar yüksek seviyededir ve aşırı ezilme meydana gelir diğer yandan satır aralığı çok büyük olduğu durumlar için ise yükseltiler meydana gelir ve yine spesifik enerji yüksek seviyededir. Her bir kesici için optimum bir s/d oranı vardır.

3.4 Spesifik Enerji

Bir kayanın birim hacim kazmak için yapılan iştir (Pomeroy, 1963) ve mekanik bir kazı sisteminin en önemli parametrelerinden biridir. Bu değer SE ile ifade edilmektedir ve birimi kWh/m^3 veya MJ/m^3 ile gösterilmektedir. Spesifik enerji değerleri geçmişte birçok araştırmacı tarafından kaya özellikleriyle ilişkilendirilmiştir. Keski ucunun kesilebilirlik verimliliği esasen spesifik enerji tarafından değerlendirilir hem

de takım kuvveti ve diğer kaya özellikleri de spesifik enerji tarafından değerlendirilir. Pomeroy'un 1963 te spesifik enerjiyi bulmak için ürettiği formül aşağıda yer almaktadır.

$$SE = FR/Q$$

Bu Eşitlikte;
SE: Spesifik Enerjidir (MJ / m^3), FR: Ortalama Yuvarlanma Kuvvetidir (kN), Q: Birim Kesme Uzunluğu Başına Verimdir (m^3/ km)

4 SONUÇLAR

Spesifik enerji tanımı gereği birim başı kütleye harcanan enerji anlamına geldiğinden dolayı bu çalışma sonuçları olarak spesifik enerji değişimi 12.5 cm/sn den sonra pek fazla değişmediği için bu çalışmada optimum kesme hızı 12.5 cm/sn olarak alınır. Çok düşük hızlardaki enerji tüketimi de fazladır hatta sığ derinliklerde daha fazla enerji harcanır bu yüzden daha düşük enerji harcanması için en uygun koşul kesme hızının optimum şartlara yani bu çalışma için 12.5 cm/sn hızına getirilmesi gereklidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada verdiği destekten dolayı Prof. Dr. Cemal BALCI ve Faraz Shoaee SARBANGHOLİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım

KAYNAKLAR

Pomeroy, C. D. (1963). The breakage of coal by wedge action. *Colliery Guardian*, *207*(5354), 672-677

Shao, W., Li, X. S., Sun, Y., & Huang, H. (2014). Laboratory comparison of SMART* CUT picks with WC picks. In *Advanced Materials Research* (Vol. 1017, pp. 323-328). Trans Tech Publications Ltd.

Özsağnak. E. (2017) : Yüksek Lisans Tezi. İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü.

Madenlerdeki Delme Tekniği Yöntemlerinin İncelenmesi
Investigation of Drilling Technique Methods in Mines

İ. Ö. Temir, Ö. Acaroğlu Ergün
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu çalışmada, madenlerde kullanılan sondaj tekniklerinin, saha özellikleri ve koşulları gibi çeşitli parametreler dikkate alınarak seçim esaslarına değinilmiştir. Kayaç delinebilirliği ve karakteristik özelliklerinin delme tekniği seçimindeki etkileri ve delicilerin bu koşullarda nasıl seçilmesi gerektiğinden bahsedilmiştir. Madenlerde kullanılan farklı tipte ve çalışma metodundaki deliciler ve ekipmanlar ve bunların çalışma parametreleri detaylı olarak anlatılmıştır. Delme maliyetlerini doğrudan ve dolaylı olarak etkileyen çeşitli parametrelerden bahsedilmiştir. Delici makinelerin günümüz fiyatlarıyla maliyet karşılaştırmaları değerlendirilmiş, delme tekniği yöntemi ve delici özelliklerinin proje koşullarına göre belirlenmesi ile en ekonomik yöntemin bulunabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Delme Tekniği, Delme Maliyeti, Delici Makineler

ABSTRACT In this study, the selection principles of the drilling techniques used in the mines are mentioned, taking into account various parameters such as site characteristics and conditions. The effects of rock drillability and characteristics on the selection of drilling technique and how drillers should be selected under these conditions are mentioned. The equipment and working parameters of the drills of different types and working methods used in mines are explained in detail. Various parameters that directly and indirectly affect drilling costs are mentioned. Cost comparisons of drilling machines with today's prices were evaluated, and it was seen that the most economical method could be found by determining the drilling technique method to be chosen and the project conditions of the driller.

Keywords: Drilling Techniques, Drilling Cost, Drilling Machines

1 SONDAJ İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

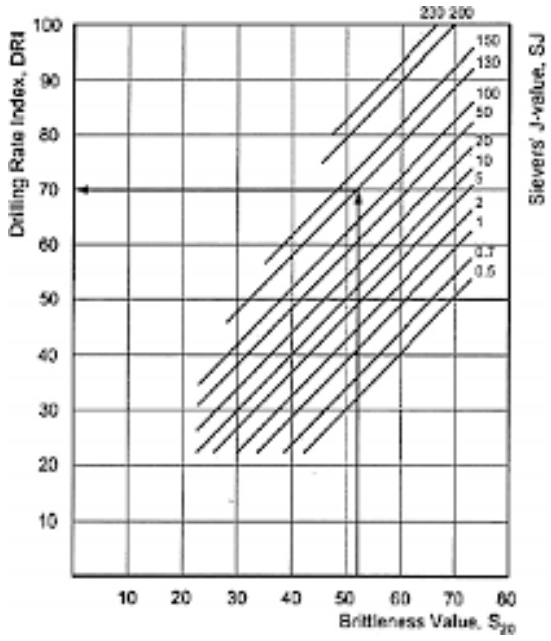
1.1 Madencilik ve Sondaj

Madencilik, değerli minerallerin yerüstü ve yer altı madencilik araçlarıyla doğal kaynaklardan çıkarılmasıdır. Sondaj, tüm maden arama prosedürlerinin en önemli adımlarından biridir ve önemli bir bütçe ayrılması gerekebilir. Mineralizasyonun ekonomik değerini ve lokasyonunu belirleyen en önemli adım sondajdır.

Kaya kazısı dışında başka amaçlarla da delik delinmektedir. Kullanılacak makinenin tipi, delik düzeni ve delik çapı gibi nitelikler yapılacak işe göre belirlenmektedir.

Bu tezde ise Kayaçların jeolojik kökeni, delinebilirlik özellikleri gibi kayaçların mühendislik parametrelerinin delici seçimine etkisini, delicilerin sınıflandırılma koşullarını, delme işleminde kullanılan ekipmanları ve çalışma parametrelerini inceleyerek maden sahalarında delme planlamalarının ve maliyetlerinin analizi yapılmıştır.

Şekil 1: Delinebilirlik Oranı İndeksi



2 DELME TEKNİKLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Delme işleminin gerçekleştirildiği amaçlar, genelden oldukça özel uygulamalara kadar büyük farklılıklar gösterir. Bu nedenle de tıpkı delme amaçları gibi delme teknikleri de çok değişik şekillerde sınıflandırılabilir (Tatiya, 2013).

2.1 Mekanik Unsurlara Dayalı Sınıflandırma

Deliciler kullanılarak kayaçlar darbeli veya döner darbeli hareketlerle kırılır. Temel fark, darbeli delmede kırmanın, döner delmede ise sıyırmanın baskın olması ve iki sistemin kombinasyonunda bir birleşik hareket olmasıdır. Bu mantığa göre deliciler, döner darbeli (rotary-percussive) ve döner (rotary) olarak sınıflandırılmaktadırlar. Bu sınıflandırmadaki yöntemlerin madenlerde başlıca kullanılanları üstten döner darbeli delme, delik dibine döner darbeli delme ve döner delmedir. Bu yöntemler arasında seçim arazinin koşullarına göre seçilmektedir.

2.1.1 Üstten Döner Darbeli Delme

Düşük enerji tüketimi ve düşük sondaj dizisi maliyetlerinden dolayı öncelikli olarak tercih edilirler. Yüzey madenlerinde ve inşaat şantiyelerinde 76–127 mm delik çapları olağan aralıktır.

2.1.2 Delik Dibi Döner Darbeli Delme

DTH matkapları, matkabın matkap dizisine yerleştirilmesi açısından geleneksel matkaplardan farklıdır. Yüzey madenlerinde 85–165 mm delik çapları bu deliciler için olağan bir aralıktır (Zou, 2017).

2.1.3 Döner Delme

Yüksek verimlilik ve iyi penetrasyon oranları sağladığı için, döner delme zorlu sondaj koşullarında rakipsizdir. Yüzey madenlerinde ve inşaat şantiyelerinde 90-165 mm delik çapları olağan aralıktır. Matkap üzerindeki baskı gücünün kısıtlanmış olmasından dolayı döner deliciler ile eğimli delik delmek zordur. Genel olarak, kaya sertliği Moh's çizelgesine göre 4' ün altındaysa, döner delme, kayanın aşındırıcı olduğu durumlar dışında avantaj sağlar.

2.2 Montaj Şekillerine Dayalı Sınıflandırma

Genel olarak kaya deliciler, elle tutulan veya monte edilmiş olarak sınıflandırılabilir. Elde tutulan matkaplar arasında elektrikli matkap, jackhammer, jackdrill veya jackleg ve stoper bulunur. Monte edilmiş matkaplar "drifters" olarak bilinir. Her tip pnömatik matkap, farklı üreticilerden çeşitli boyutlarda ve çalışabilecekleri parametreler aralığında mevcuttur.

2.3 Güç İletim Şekline Dayalı Sınıflandırma

Tahrik gücüne bağlı olarak matkaplar pnömatik, elektrikli ve hidrolik kaya deliciler olarak sınıflandırılabilir (Tatiya, 2013).

2.3.1 Elektrikli Matkaplar

Tutacaklı veya kolona monteli şekilde olabilir. Yumuşak kayalarda delmek için uygundur. Keşif ve araştırma amaçlı elmas matkaplar gibi patlatma deliği delme ve karotlu delme için kullanılabilir.

2.3.2 Pnömatik Matkaplar

Düşük maliyetli, basit tasarımlı ve zorlu koşullarda kullanım için uygundur. Bu matkaplar, basınçlı hava giriş gücü açısından düşük verimlilik dezavantajına sahiptir. Gürültülü çalışırlar ve egzozları buğu ve sis üretir. Kayanın herhangi bir sertlik derecesi için uygundurlar.

2.3.3 Hidrolik Matkaplar

Hidrolik matkaplar, yüksek basınçlı hidrolik yağın çift etkili bir pistona aralıklı olarak uygulanmasıyla çalışır; yağ uygulama sıklığı, pistonun hareketiyle kayan veya dönen bir valfin hareketiyle veya her ikisinin bir kombinasyonu ile kontrol edilir.

Penetrasyon oranları yüksektir ve çelik ömrü daha uzundur. Pnömatik matkaplara kıyasla delme verimliliği daha yüksektir. Sert kayalarda daha az frekanslı daha büyük vuruşlar, kırılgan kayaçlar için ise yüksek frekanslı kısa vuruşlar uygulanabilir. Hidrolik matkaplar yüksek sermaye yatırımı gerektirdiğinden yüksek verimi hedefleyen yeni madencilik girişimleri ve tünellerde kullanılması uygundur.

3 DELME EKİPMANLARI

3.1 Delme Ekipmanları

Sondajı oluşturan ana işlemler, kazma, temizleme, taşıma ve güç aktarma işlemi olup, bunlar değişmeyen bir dizi işlemlerdir. Bir delik açmak için kaya delicinin yanı sıra bazı sondaj ekipmanları gereklidir. Belirli bir delme işini gerçekleştirmek için çeşitli aksesuar kombinasyonları seçilebilir.

3.1.1 Tijler

İçi boş ve birbirine takılan, kuyuda sondaj dizisini askıda tutan ve içinden sondaj sıvısı geçebilen çeliklere tij denir. Çubukların uzunluğu ve çapı, delik / uç boyutuna ve delik derinliğine bağlıdır.

3.1.2 Şank Adaptörü

Darbe enerjisini, dönüş turunu ve besleme kuvvetine çubuklara iletmek için kaya matkabı aynasına sabitlenen elemanlardır.

3.1.3 Manşonlar

Manşonlar, matkap dizisini istenen uzunluğa uzatmak ve enerjiyi bir çubuktan diğerine sonuna kadar aktarılacak şekilde tijleri birleştirmek için gereklidir.

Doğru bağlantı türü, doğru matkap çeliği bağlantısını destekler ve bağlantıdaki enerji kaybını en aza indirir.

3.2 Matkaplar

Tijlerin ucunda delme işlemini yapan delicilere matkap denir.

3.2.1 Rotari Darbeli Delici Matkapları

Insert, düğme, özel ve DTH matkaplar bu tip matkaplara örnek olarak sunulabilir. Bu matkap tipleri kendi içlerinde de çeşitlenmektedirler. Sondaj deliği boyutuna, kaya tipine ve kayanın aşındırıcılığına göre uygun matkaplar değişebilir.

3.2.2 Rotari Matkaplar

Kırıntı ve karot örneği almalarına göre iki gruba ayrılırlar. Kırıntı örneği alanlarda kesme ve öğütme işlemleri sonucunda oluşan kırıntılar, su ve sondaj çamuru veya diğer taşıyıcılar ile yerüstüne taşınırlar. Karot örneği alanlarda ise sondaj işlemi sırasında, bir taraftan delme işlemi devam ederken diğer taraftan da formasyondan kesilen malzemenin silindir boru şeklindeki örnek alıcı (karotiyer) içerisine girmesi sağlanır.

3.3 Örnek Alıcılar

Bazı sondajların ana amacı, formasyonlardan örnek almaktır. Bu işlemi sağlamak için kuyuda çalıştırılan örnek alıcı hem kesme işlemini yapar hem de kesilen örneği beraberinde taşıyarak kuyuyu temizler. Örnek alıcılar kesme temizleme işlemini beraber yaparlar (Marjoribanks, 1997).

4 DELİCİLERİN ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

Delme yöntemlerinde, baskı, dönme, darbe ve üfleme olmak üzere temel dört bileşen mevcuttur. Döner Darbeli delicilerde (üstten darbeli ve DTH) bu dört bileşen mevcuttur. Döner (Rotari) delici metotta ise darbe bileşeni olmayıp, darbenin delmedeki görevi baskı kuvvetinin artırılması ve dönme torku sayesinde yapılmaktadır.

4.1 Rotari Darbeli Delici Çalışma Prensibi

Rotari darbeli delicilerde, çekiç pistonu mafsal adaptörüne veya tije darbe uygulamadan önce, belirli bir hıza kadar hızlandırılır. Üretilen kinetik enerji matkap ucuna basınçlı şok dalgası halinde iletilir. Şok dalgası matkaba ulaştığında, enerji kayaca iletilir, böylece kayaç parçalanır ve matkap kayaç içinde ilerler. Şok dalgasının çok az bir kısmı tijlere geri yansır. Darbeli delmede, darbe enerjisi, darbe frekansı, dönme hızı, baskı kuvvet ve üfleme hızı faktörleri ilerleme hızını belirlemektedir.

4.2 Döner (Rotari) Delici Çalışma Prensibi

Döner delme işleminde, delinecek tabakada matkabın döndürülebilmesi için gerekli tork, optimum düzeyde ilerleme sağlanabilmesi için matkap üzerine uygulanacak baskı, delme işi esnasında oluşan kırıntıları deliğin dışına atmak ve matkap ucunu soğutmak için üfleme havası ve delinecek kayaca uygun olarak seçilecek matkap tipi gerçekleştirilmesi gerekli hususlardır.

Döner matkaplar, kayayı parçalamak için matkabın dönme hareketini ve basınç kuvvetini kullanır. Kayaçtan kırıntı koparılması, darbeli delme işlemine benzemektedir. Matkabın kompresörü tarafından sağlanan basınçlı hava yardımıyla kırıntılar delikten dışarı atılır.

5 DELME PLANLAMASI VE MALİYET

İşletmede yapılması planlanan sondaj işlemleri öncesinde delme düzeni ve patlatma tekniği kayacı faal biçimde kıracak halde planlanmalı ve kayacın denge durumunun bozulmasından kaçınılmalıdır. Delme ve patlatma dizaynına yeterli dikkati göstermek ve gerekli makina ve ekipmanları doğru seçmek son derece önemlidir.

Uygun delme yöntemi (üstten darbeli, DTH veya döner delme) kullanım alanlarına göre seçilmelidir. Delme yöntemleri, delik çapına ve kaya delinebilirliğine göre seçilir (Tamrock, 1989).

Çalışma alanlarına göre bir delme makinesi seçimi, kazının boyutuna ve her bir işlem adımının gerekli verimliliğine göre belirlenir. Ancak, küçük ölçekli şantiyeler için sondaj makinesi seçme kriterleri, orta ve büyük ölçekli şantiyeler için olanlardan farklıdır. Çünkü küçük çaplı çalışmalarda delici verimi önemli bir etken değildir (Chen ve diğ.,1997).

Genel manada kayaç kazı maliyetinin %30-60'ı delme maliyetidir. Toplam açık işletme maliyetinin %10-20'si ise delme ve patlatma maliyetidir. Delme maliyeti makina, malzeme ve işçilik maliyetlerinden oluşmakta olup, delme maliyeti bu kalemlerin toplamıdır (Yıldız ve Köse,2003).

Çizelge 1: FlexiROC D65 DTH delici makinenin teknik özellikleri.

Fiyatı	731.796 $ + KDV
Delme yöntemi	DTH
Delik çapı	110 mm- 203 mm
Kaya delici/ DTH çekiç boyutu	4"; 5"; 6"
Maksimum delik derinliği	55,5 m
Motor	403 kW

Çizelge 2: FlexiROC T35 üstten darbeli delici makinenin teknik özellikleri.

Fiyatı	353.701 $ + KDV
Delme yöntemi	Üstten Darbeli
Delik çapı	64 mm- 115 mm
Maksimum delik derinliği	28 m
Motor	168 kW

Çizelge 3: IDM30 rotari ve DTH delici makinenin teknik özellikleri.

Fiyatı	1.300.000 $ + KDV
Delme yöntemi	Rotary ve DTH
Delik çapı	150-165 mm
Rotary head torku	3.21 kNm
Maksimum delik derinliği	30 m
Motor	217 kW- 357 kW

6 SONUÇ

Madenlerde kullanılan delme teknikleri, saha durum ve koşulları öncelikli olmak üzere birçok farklı etmen göz önünde bulundurularak seçilebilmektedir.

Delme işleminde kontrol edilebilen ve edilemeyen parametreler söz konusudr. Kayaçların delinebilirliliğine etki eden, sertlik, basınç dayanımı vb. gibi çeşitli fiziksel ve mekanik özellikleri kontol edilemeyen parametrelerdir. Delik delme işleminin hangi amaçla yapılacağı, delik çapını ve kullanılacak tekniği belirlemekte önemlidir. Matkap tipi, delme hızı, basınç, tork, darbe frekansı vb. gibi çeşitli işletim parametreleri ise kontrol edilebilir parametrelerdir. Bu çalışmada delinebilirlik açısından önemli kayaç özellikleri ve makine işletim parametreleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Delme metodları uygulanırken,seçilecek delici makinelerin maden işletmelerinin planlamasına ve çalışma metoduna uygun olması ve delici makine ve ekipmanlarının seçiminin bunlara göre yapılması önemli bir hususdur. Bu nedenle bu çalışmada delme tekniği yöntemleri ve bunlara ait ekipmanlar detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Ülkemizde yapılan delme işlemlerinde DTH ve üstten darbeli delicilerin rotari delicilere kıyasla daha çok kullanıldığını söylemek mümkündür. Bunun sebebi, rotari delicilerde ilk yatırım miktarının fazla oluşu ve pahalı ünitelere ihtiyaç duyulmasıdır. Ancak büyük ölçekte yapılan çalışmalarda ve uzun süreli işlerde rotari yöntem tercih edilir. Aşırı sert olmayan kayaç oluşumlarında ise üstten darbeli deliciler daha kullanışlı olması nedeniyle tercih edilir. Aynı zamanda enerji maliyetlerinin düşük olması avantaj sağlamaktadır. Sapması düşük olduğundan uzun deliklerin delinmesi gerektiği durumlarda, ayrışmış oluşumlarda veya elverişsiz formasyonlarda DTH deliciler tercih edilebilir. Buna ek olarak DTH deliciler ile kazılan büyük çaplardaki deliklerin metre başına maliyeti, döner sondajdan daha düşük olabilmektedir.

Delme maliyetleri doğrudan ve dolaylı olarak çeşitli parametrelerden etkilenmektedir. İlk yatırım, amortisman, yakıt giderleri, işçilik, bakım, onarım maliyetleri vb. tüm giderler delme maliyetlendirmesinin içinde olup, bu çalışmada maliyetlerin nasıl hesaplandığı incelenip örnekler verilmiştir. Maliyet karşılaştırmaları yapılarak seçilecek delme tekniği yöntemi proje koşullarına göre belirlenerek en ekonomik yöntemin bulunabileceği görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez danışmanım olup bitirme çalışmamın ortaya çıkarılması sırasında ve sonraki süreçte desteğini ve yardımını benden esirgemeyen **Sn. Doç. Dr. Ömür Acaroğlu Ergün'e** çok teşekkür ederim. Ayrıca lisans hayatım boyunca bilgi ve deneyimlerini paylaşan tüm İTÜ Maden Mühendisliği bölüm hocalarıma da teşekkürlerimi sunarım. Desteklerini benden esirgemeyen aileme teşekkür ederim. Üniversitede geçirdiğimiz süre boyunca kattıkları güzellikler için tüm arkadaşlarıma teşekkür etmek isterim.

KAYNAKLAR

Marjoribanks, R. W, 1997, Mineral Exploration Drilling. *Geological Methods in Mineral Exploration and Mining, 39–69*

Sandvik Tamrock, 1999, Rock Excavation Handbook for Civil Engineering *(Editör M. Heinio)*

Tamrock, 1989, Handbook of surface drilling and blasting *(Editör J. Naapuri).*

Yıldız, R. ve Köse, H., 2003, "Açık İşletmelerde Delik Delme Metodları ve Delici Makinalar", Kütahya.

Zou, D., 2017, Theory and Technology of Rock Excavation for Civil Engineering, Hong Kong.

Doğal Taşların Fiziksel-Mekanik Özelliklerinin Delme Oranı İndeksi (DRI) Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması

Investigation into the Effects of Physical-Mechanical Properties of Natural Stones on Drilling Rate Index (DRI)

M.U.Tarı, D. Tumaç
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Ülkelerin büyümesinde ve gelişmesinde ekonomi çok önemli bir yere sahiptir. Güçlü bir ekonominin temeli için mevcut yeraltı kaynaklarına yeterince önem vermek gerekir. Bu bağlamda ülkeler için maden çok önemli bir yere sahiptir. Madencilik her şeyin başladığı yer olarak tanımlanabilir. Bir kaynağın çıkarılması, işlenmesi ve bu sayede satılması ve birçok maddenin üretilmesine olanak tanıdığı için çok çeşitli alanlarda hizmet vermektedir. Dolayısıyla önemli madenlere sahip ülkelerin kalkınması ve gelişmesi daha kolaydır. Ülkemiz de maden konusunda gerek maden yatakları çeşitliliği, gerekse rezerv açısından oldukça önemli bir konumdadır. Ülkemiz jeolojik yapısından ötürü çeşitli doğal taşlara ve 5,2 milyar m^3 muhtemel doğal taş rezervi ile dünya rezerv sıralamasında ilk sıralarda yer almaktadır (Çetin Turhan, 2003). Türkiye, doğal taşlardan olan mermer ve traverten gibi önemli kaynaklara da ciddi oranda sahiptir. Yapılan bu çalışmada beş farklı doğal taşın delme oranı indeks değerleri (DRI) ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Taş, DRI, Rezerv

ABSTRACT Economy has a very important role in the growth and development of countries. The foundation of a strong economy is to give sufficient importance to the resources and raw materials available. In this context, mining has a very important role for countries. Mining can be defined as where everything started. It provides services in a wide variety of fields as it enables the extraction, processing and thus sale of a resource and the production of many items. Therefore, countries with important mines are easier to develop and progress. Our country is in a very important position in terms of both mineral deposits and reserves. Our country has various natural stones due to its geological structure and it is at the top of the world reserve ranking with 5.2 billion m^3 of probable natural stone reserves. Turkey also has important resources such as marble and travertine, which are natural stones. In this study, drilling rate index values (DRI) and mechanical properties on various marbles and travertines were investigated.

Keywords: Natural Stone, DRI, Reserve

1 GİRİŞ

Türkiye Alp Dağları'nın bir parçasıdır ve sahip olduğu rezerv ile doğal taş konusunda önemli bir yere sahiptir. Dünyadaki mermer rezervlerinin yaklaşık %40'ı Türkiye'de bulunmaktadır. Endüstriyel anlamda "mermer" olarak tanımlanan, günümüzde ise doğal taş olarak sınıflandırılan ve iyi cila alan, ticari anlamda da değer taşıyan her türlü kayaç mermer olarak tanımlanır. Taşın

özelliğinden bağımsız olarak büyük bloklar halinde kesit alınabiliyor olması, bloklar elde edilebilmesi ve cilalanabiliyor olması mermer olarak tanımlanabilmesi için yeterlidir. Ülkemiz doğal taş rezervleri bakımından çok ciddi kaynaklara sahiptir. Yaklaşık 5.1 milyar m^3 (13.9 milyar ton) doğal taş rezervine sahip olduğumuz düşünülmektedir. Ayrıca 550 çeşit doğal taş çeşidi de ihraç edilmektedir. Çok eski zamanlardan beri çıkarılan mermer, teknolojinin de gelişmesiyle birlikte son 30 yılda doğal taş madencilik sektöründe önemli bir yere sahip olmuştur ve ülkemize ciddi gelir kazandırma potansiyeline sahiptir. Bu çalışmada Afyon ve Isparta'dan alınan beş farklı doğal taş üzerinde fiziksel ve mekanik özelliklerinin delme oranı (DRI) üzerindeki etkilerinin araştırılması yapılmıştır.

2 TÜRKİYE'DE VE DÜNYA'DAKİ DOĞAL TAŞ POTANSİYELİ

Ülkemizin de yer aldığı Alp-Himalaya Kuşağı önemli rezerve sahip olduğundan dolayı ülkemiz doğal taş rezervi olarak dünyanın önde gelen ülkelerindendir. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığının verilerine göre ülkemiz 5,1 milyar m^3 (13,9 milyar ton) muhtemel doğal taş rezervine sahiptir. Dünyadaki doğal taş rezervinin ise 15 milyar m^3 olduğu tahmin edilmektedir. Ülkemizin dünya doğal taş rezervinin yaklaşık 1/3' lük bir kısmına sahip olduğu tahmin edilmektedir. Doğal taş üretimi ve ihracatı yapan ülkeler arasında Türkiye önemli bir konumda bulunmaktadır.

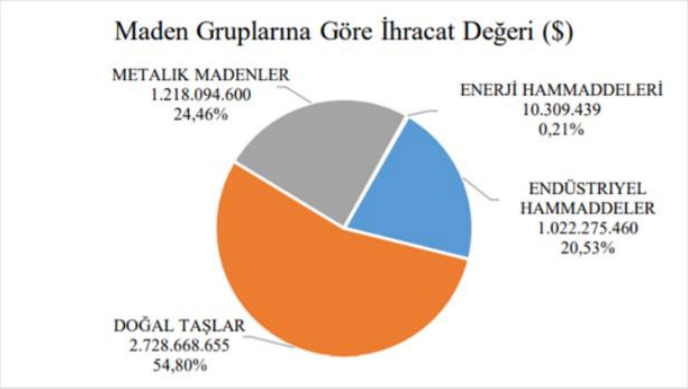
Türkiye doğal taş üretimi açısından önemli konuma sahip bir ülkedir ve bu doğal taş pazarında önemli bir konuma girmemizi sağlamaktadır. Türkiye'deki doğal taş rezervine ait bilinen ilk değerlendirmelerde rezerv 1966'da MTA tarafından yaklaşık 5.000.000.000 m^3 olarak ölçülmüştür. İTÜ Maden Fakültesi öğretim üyelerinin 1990-1994 yılları arasında Devlet Planlama Teşkilatı isteği doğrultusunda yaptığı ölçümlerde ise bilimsel doğal taşlar 3.870.000.000 m^3, renkli kireçtaşları ve travertenler 2.720.000.000 m^3, sert taşlar 101.700.000 m^3 olarak belirlenmiş ve bu ölçümler Tablo 2.1.'de belirtildiği gibi Türkiye Doğal Taş Envanteri başlığı altında toplanmıştır (Yüzer, Güngör, & Aydoğan, 2018).

Tablo 2.1. Türkiye Doğal Taş Rezervi (mta, 1966)

Rezerv Türü	m^3	Ton
Bilinen Rezervler	589.000.000	1.590.000.000
Muhtemel Rezerveler	1.545.000.000	4.171.000.000
Mümkün Rezervler	3.027.000.000	8.172.000.000
Toplam Potansiyel	5.161.000.000	13.934.000.000

Doğal Taşların İthalat ve İhracatı

Türkiye maden ihracatı içerisinde de doğal taşlar ciddi bir öneme sahiptir. MTA verilerine göre Şekil 1.1'de görüleceği üzere 2019 yılı içerisinde değer olarak en büyük pay doğal taş ihracatına aittir. 2019 yılında 171.503.062.745 $, olarak gerçekleşen ülkemiz toplam ihracatının 4.979.348.154 $ kısmı madencilik sektörüne aittir.



Şekil 2.1. 2019 yılı maden ihracatı içinde ürün gruplarının dağılımı

3 MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde Afyon Gri Mermer, Afyon Kaplan Postu, Emirdağ Gümüş Traverten, Emirdağ klasik traverten ve Şuhuf Açık Gri Bej olmak üzere beş farklı doğal taş numunesi üzerinde yapılan deneylerin yöntemi ve elde edilen sonuçları verilmiştir.

3.1 Doğal Taşların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Bitirme çalışması çerçevesinde Afyon ve Isparta'dan alınan beş adet doğal taş numunelerine uygulanan fiziksel ve mekanik deneyler ve detayları aşağıda verilmiştir.

3.1.1 Yoğunluk tayini

Silindirik olarak hazırlanan karotların çap ve boy ölçümleri kumpas yardımı ile ölçülmekte ve ölçülen değerler kayıt altına alınmaktadır.

3.1.2 Schmidt çekici sertlik tayini

Araziden alınan blok numuneler üzerinde L-9 tipi Schmidt çekici kullanılarak en az çekicin uç çapına eşit mesafe boşluk bırakılarak ayrı ayrı noktalar üzerinde 20'şer defa ölçüm yapılıp, bunların içerisinden en yüksek 10 değerin ortalaması alınarak hesap edilmiştir.

3.1.3 Shore Scleroscope sertliği

Doğal taşların shore sertliğini elde etmeye yarayan bu deneyde, blok numuneler üzerinde 15-20 adet okuma farklı noktalar üzerinde alınmaktadır. Bu değerlerin ortalaması ise kayacın Shore sertliğini vermektedir.

3.1.4 Akustik P ve S dalga hızı deneyi

Doğal taş numunelerinin sıkışma (P) ve makaslama (S) dalgalarının yayılma hızlarının ölçümünü içeren bu deney sayesinde, malzemenin dinamik elastisite modulü ve dinamik poisson oranı tahmini yapılmaktadır.

3.1.5. Dolaylı (Brazilian) çekme dayanamı (BTS) deneyi

Disk şeklinde hazırlanmış numunelerin çapsal yükleme koşulları altında dolaylı yoldan çekilme dayanımını elde etmek için uygulanan yöntemdir. 0,25 kN/s yükleme hızı ile gerçekleştirilmekte ve numunenin 30 saniye içinde kırılması beklenmektedir.

3.1.6. Tek eksenli basınç dayanımı (UCS)

Silindirik örneklerin eksenel yükleme koşullarında basınç dayanımlarının tayininde kullanılmaktadır. NX (54,7 mm) çapında karotlar ile gerçekleştirilen deneyde boy/çap oranı 2,5-3 arasında yer almaktadır.

3.1.7 Elastisite modül tayini

Silindirik doğal taş numuneleri eksenel basınç altında yüklenerek gerilim-deformasyon grafikleri çizilmekte ve elastisite modulü değeri hesaplanmaktadır.

3.1.8. Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI) deneyi

Cerchar aşındırıcılık deneyi 70 N ağırlık altında Rockwell sertliği 55 olan bir pin yardımı ile 10 mm uzunluğunda taze kırılmış kaya yüzeyinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerin yürütüldüğü yüzeyler dolaylı çekme dayanımı testi sonrası elde edilen parçalar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ardından, pin ucunda gerçekleşen aşınma her iki eksende ölçülüp ortalaması alınarak aşındırıcılık değeri elde edilmektedir.

3.1.9. Doğal taşların fiziksel ve mekanik deneylerinin toplu sonuçları

Kaya mekaniği laboratuvarında gerçekleştirilen fiziksel ve mekanik deneylerin toplu sonuçları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Fiziksel ve mekanik deneylerin toplu sonuçları

Numune	Yoğunluk (g/cm^3)	UCS (MPa)	BTS (MPa)	Esta (GPa)	P Dalga Hızı (m/sn)
Afyon Gri Mermer	2.71	44.7	4.99	15.03	3696.61
Afyon Kaplanpostu	2.7	81.3	6.94	16.68	3707.85
Emirdağ Gümüş Traverten	2.52	28.37	3.93	11.56	3652.37
Emirdağ Klasik Traverten	2.53	37.33	4.22	13.41	3143.01
Şuhut Açık Gri Bej	2.65	41.68	5.68	16.56	2395.73
Numune	**S Dalga Hızı (m/sn)**	**Edyn (GPa)**	**Schmidt Hammer**	**Shore Hardness**	**CAI**
Afyon Gri Mermer	2136.44	31.1	53.6	48.15	1.26
Afyon Kaplanpostu	2124.55	30.74	54	46.35	2.09
Emirdağ Gümüş Traverten	2116.42	28.12	45.9	41.85	1.44
Emirdağ Klasik Traverten	1822.31	20.62	57.4	54.05	1.2
Şuhut Açık Gri Bej	1600.58	14.98	59.6	52.5	1.57

3.2. Delme Oranı İndeksinin (DRI) Belirlenmesi ve DRI Sonuçları

Çalışılan doğal taşların delinebilirliklerinin değerlendirilmesinde, Sievers minyatür delme (SJ) ve kırılganlık (S20) deneylerine bağlı olarak belirlenen delme oranı indeksi (DRI) kullanılmıştır. DRI hesabında Dahl, 2003 tarafından geliştirilen abak kullanılmıştır. Doğal taşların DRI değerleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

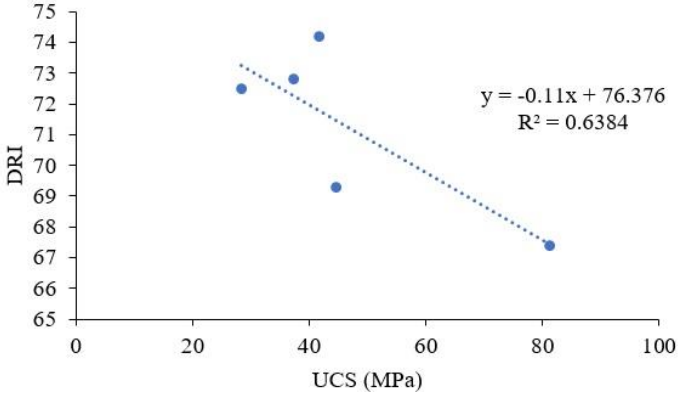
Tablo 3.2. Doğal taşların DRI sonuçları

Doğal Taş Adı	DRI Değeri	Sınıfı
Afyon Gri Mermer	69.3	Yüksek
Afyon Kaplanpostu	67.4	Yüksek
Emirdağ Gümüş Traverten	72.5	Çok Yüksek
Emirdağ Klasik Traverten	72.8	Çok Yüksek
Şuhut Açık Gri Bej	74,2	Çok Yüksek

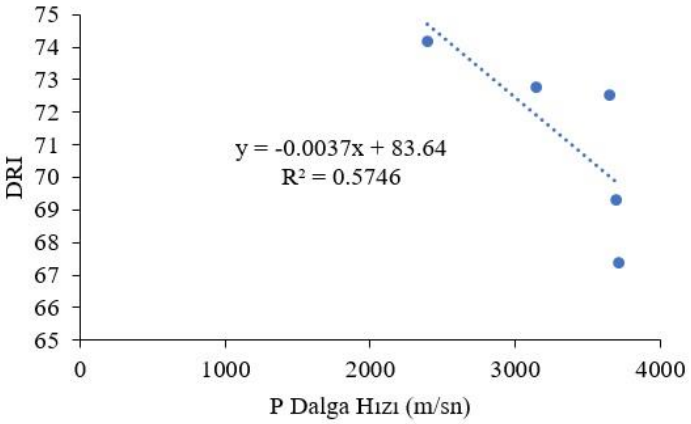
4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışılan beş farklı doğal taş numunesinin gerçekleştirilen fiziksel ve mekanik deneylerinin sonuçları, delinebilirlik deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

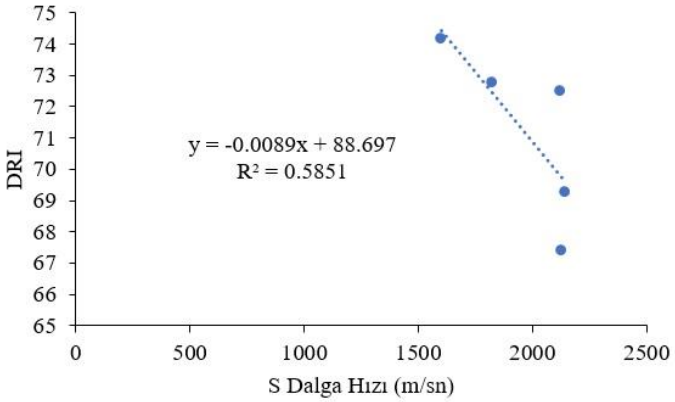
Artan UCS değeriyle birlikte DRI'ın beklendiği gibi azaldığı görülmüştür. BTS ile yapılan karşılaştırmada genel eğilimin beklenildiği gibi aşağıya doğru olduğu ancak istatistiksel olarak çok zayıf bir ilişkinin (R^2=0,01) olduğu belirlenmiştir. DRI ile Schmidt çekici sertliği arasında istatistiksel olarak mantıklı bir ilişki olmadığı söylenebilir (R^2=0,04). DRI Shore Scleroscope sertliği arasında artan ancak zayıf bir ilişki olduğu görülmüştür (R^2=0,1). Schmidt ve Shore yüzey sertliklerinin DRI ile olan ilişkileri eğilim yönü olarak literatüre ters düştüğü gözlenlenmiştir. P dalgası (R^2=0,58) ve S dalga (R^2=0,57) hızlarının DRI ile azalan ve anlamlı ilişkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kayaç CAI aşındırıcılıklarının DRI ile 0,71'lik bir doğruluk oranı ile azalan bir ilişki verdiği görülmüştür. E_{dyn} ile DRI'nın 0,70'lik bir doğruluk oranı ile azalan bir ilişki verdiği görülmüştür. Elde edilen anlamlı ilişkiler Şekil 4.1-4'te verilmiştir. Çalışmanın doğruluğunun artırılması için daha fazla numune üzerinde çalışılması önerilmektedir.



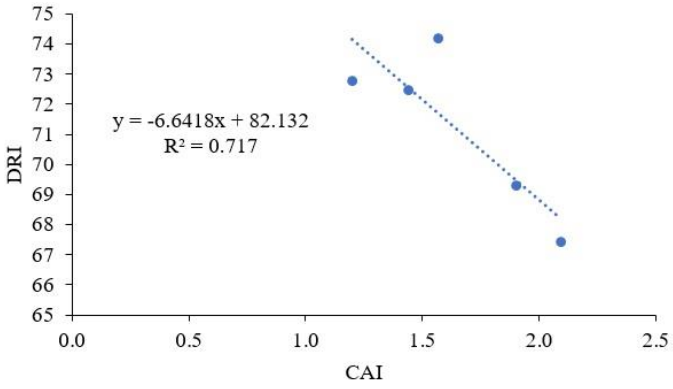
Şekil 4.1. DRI ile UCS arasındaki ilişki



Şekil 4.2. DRI ile P dalga hızı arasındaki ilişki



Şekil 4.3. DRI ile S dalga hızı arasındaki ilişki



Şekil 4.4 DRI ile CAI arasındaki ilişki

KAYNAKLAR

Çetin T., 2003, Türkiye Mermer Potansiyeli, Üretimi ve İhracatı, GÜ, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt 23, Sayı 3

Mta.gov.tr, 2019, Maden Tetkik Arama ve Genel Müdürlüğü, 2019 Yılı Maden Dış Ticaret, http://www.mta.gov.tr/

Yüzer, Güngör, & Aydoğan, 2018, Doğal Taşın Öyküsü Kitabı

Mta.gov.tr, (2018), Maden Tetkik Arama ve Genel Müdürlüğü, **http://www.mta.gov.tr/**

Bilfer Madencilik Ayazmant Demir-Bakır Açık İşletmesinin Sayısal Modelleme Yöntemi Kullanılarak Şev Stabilite Analizi

Bilfer Mining Slope Stability Analysis Of Ayazmant Demır-Copper Open Pıt Using Numerical Modelling

N. F. Balcı, H. Tunçdemir
İstanbul Technical University, Mining Engineering Department, İstanbul

ÖZET Şevler günümüz dünyasında önemli bir yere sahiptir. Doğada kendiliğinden veya mühendislik uygulamaları sonucu oluşmaktadır. İnsanlar geçmişten günümüze bu şevlerin stabilitesi konusunda birçok mücadele vermişlerdir. Şevler günümüzde tünelcilik, baraj inşaatları, açık ocak maden işletmeleri gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Mühendislik çalışmalarında kullanılan bu şevlerin tasarımı, planlaması ve operasyonlarının her aşamasından birçok zorlukla karşılaşılmaktadır. Bu bitirme çalışmasında ise bir açık ocak maden işletmesinin şev geometrisi ve jeolojik bilgileri kullanılarak şev modeli oluşturulup, Rocsience SLIDE2 programı yardımıyla bu şev modellerinin dairesel kaymalara karşı stabilite analizleri için en kritik kayma dairelerine göre güvenlik katsayısı (GK) değerleri Eşdeğer Mohr-Coulomb parametrelerini dikkate alan Basitleştirilmiş Bishop metodu kullanılarak elde edilmiştir. Çalışmanın sonunda elde edilen güvenlik katsayısı değerleri yorumlanmıştır.
Anahtar Kelimeler: Şev Stabilite, Sayısal Modelleme, Rocscience, Güvenlik Katsayısı

ABSTRACT Slopes have an important place in today's world. It may occur spontaneously in nature or as a result of engineering applications. People have struggled for the stability of these slopes from past to present. Today, slopes are widely used in areas such as tunneling, dam constructions, open pit mining operations. Many challenges are encountered at every stage of the design, planning and operations of these slopes used in engineering studies. In this thesis study, a slope model was created using the slope geometry and geological information of an open pit mining operation, and with the help of the “Rocsience SLIDE2” program, the safety factor (FS) values according to the most critical slip circles for stability analyzes of these slope models against circular slips were calculated using the equivalent Mohr-Coulomb parameters. Obtained using the simplified Bishop method. The safety factor values obtained at the end of the study were interpreted.
Keywords: Slope Stability, Numeric Modelling, Rocscience, Safety Factor

1 GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışma, Eylül-Ekim 2020 tarihlerinde gerçekleştirilen zorunlu maden mühendisliği stajı sırasında yapılan çalışmaları kapsamaktadır. Çalışmanın ana kapsamı, Ayazmant Demir-Bakır Açık Ocak Maden İşletmesi’nin şev stabilite incelemesi gerçekleştirilmesidir. Şev stabilitesi cevher üretimi, dekapajı, yol dolgusu gibi işlemler şev tasarımı için büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında şev analizi “Sayısal Modelleme” işlemi uygulanarak yapılmıştır. Bu analiz yöntemi diğer şev analiz işlemlerinden farklı olarak gerilmelerin

göçme yüzeyinin altına veya üstüne dağılımını incelemektedir. Ayrıca, ilerleyen göçme ve eğim hareketlerini derinlemesine incelemektedir. Bu çalışma kapsamında açık işletmenin belirli bölgesindeki şevlerin eğimlerini analiz etmek için Slide2 adı verilen RockScience firmasına ait yazılım kullanılmıştır.

Şev stabilitesi jeolojik koşullar, sismik faaliyetler, su seviyesindeki değişimler ve yüzeyi etkileyen basınçlar gibi birçok parametreye göre analiz edilmektedir. Bu çalışmanın ana amaçlarından biri Ayazmant Demir-Bakır Açık İşletmesinde bulunan şevlerin temel olarak taşıdıkları yükleri belirlemektir. Bununla birlikte potansiyel şev kaymalarını ve meydana gelebilecek göçmelerin ana hatlarını belirlemektir.

Bu çalışmada kullanılacak Sayısal Modelleme yöntemi için gerekli veriler zorunlu staj süresince yapılan incelemeler ve firma tarafından alınan veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, eksik olan veriler için daha önce yapılmış deneysel veriler kullanılmıştır.

2 ŞEV STABİLİTESİ

İnsanlar geçmişten günümüze şevler ve şevlerin stabilitesi ile mücadele etmişlerdir. Şevlerin tarihine bakıldığında insanlar hem doğal şevleri hem de yapay şevleri kullanmışlardır. Doğal şevler deprem, erozyon, sel ve rüzgâr gibi doğa olaylarından etkilenmektedir. Yapay şevler ise insan ve çevre faktörlerinden etkilenmektedir. Mühendislik açısından şevler ile ilgili problemler; doğal şevlerin kayma mekanizmaların incelenmesi, yapay şevlerin projelendirilmesi ve stabilitesi bozulmuş şevlerin hasarının giderilmesi veya gerekli önlemlerin alınması gibi konuların incelenmesidir.

Geoteknik çalışmalarda şevin yüzeyi "şev" olarak adlandırılmaktadır (Önalp ve Arel, 2004). Şevler günümüzde tünelcilik, baraj inşaatları, açık ocak maden işletmelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Mühendislik çalışmalarında kullanılan bu şevlerin tasarımı, planlaması ve operasyonlarının her aşamasından birçok zorlukla karşılaşılmaktadır. Bu çalışmada üzerinde durulacak olan açık işletme şevlerinin temel tasarım amacı; güvenlik, kazanımı, projenin ekonomikliği açısından optimum kazı çalışmalarını sağlayabilmektir. Çünkü, şev stabilitesi kabul edilebilir riski minimumda tutmak ve cevher kazanım oranını en yüksek seviyeye çıkarmak gibi madencilik açısından önemli konuları kapsamaktadır. Eğer şevlerin stabilizesi düzgün şekilde tasarlanmazsa ve şevler bozulursa aşağıdaki Çizelge 1.'de verilen örnekler gibi çok hasarı meydana getirirler.

Çizelge 1. Şevlerin Meydana Getirebileceği Hasarlar

Güvenlik/Sosyal Kayıplar	**Ekonomik Kayıplar**	**Çevresel Kayıplar**
Can Kaybı Veya Yaralanma	Cevher Kayıplar	Çevresel Etkiler/Zararlar
İşçi Gelirinin Kayıpları	Ekipman Kayıplar	Artan Düzenlemeler
Çalışan Güveninin Kaybı	Operasyonların Aksaması	Kapatma Hususları

Bu çalışma kapsamında ilk olarak şev konusu ile ilgili tanımlar, tasarımı ve analiz yöntemleri anlatılmıştır. Sonrasında nümerik analiz Slide2 yazılımı kullanarak gerçekleştirilmiştir.

2.1 Şev Stabilitesini Etkileyen Faktörler

Bu bölümde şevlerin stabilitesine etki eden faktörler kısaca anlatılmıştır. Bir şevin stabilitesi doğrudan belirlenen güvenlik katsayısına bağlıdır. Güvelik katsayısı (f), doğal faktörler ve projenin verilerine bağlı bir fonksiyon ile ifade edilmektedir. Doğal faktörler incelendiğinde zemin ve kaya kütlelerinin mekanik değerleri kullanılarak ortalama dayanım değerleri elde edilmektedir. Bu değerler zamanın fonksiyonu olarak azalmaktadır. Örneğin, tüm kaya kütleleri ayrışma/aşınma olayına maruz kalmaktadır ve bu olayın derecesi basınç, çekme, kayma, elastik modül gibi mekanik değerleri olumsuz etkilemektedir (Arıoğlu ve Tokgöz, 2005).

Mühendislik çalışmalarıyla meydana getirilen şevler temel olarak iki parametreden etkilenmektedir. Bu parametreler doğal faktörler ve proje faktörleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğal faktörler zemin türüne, fiziksel büyüklüklere, süreksizlik yönelimleri ve su seviyeleri gibi parametrelere bağlıdır. Proje faktörleri ise şev açısı, şev yüksekliği, drenaj, stabilizasyon işlemleri gibi etkilere bağlıdır. Aşağıdaki Şekil 1.'de şevi etkileyen parametreler ve örnekleri verilmektedir.

Şekil 1. Şev Stabilitesini Etkileyen Faktörler

2.2 Şev Hareket Türleri

Şev hareketleri farklı değerlendirme şekilleri dikkate alınarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmalarda kullanılan faktörlerin temel olarak dikkate alınan bölümleri aşağıda belirtilmektedir:

- Hareketin tipi, boyutu, sebepleri ve hızı
- Hareket eden kütlenin malzeme bilgileri
- Hareket eden kütle ile altında kalan kütleler arasında bağlantı
- Zeminlerdeki su seviyesi

3 AÇIK OCAK ŞEV STABİLİTE TASARIMI

Açık ocak tasarımının temel amacı güvenlik, üretim ve mali getiriler açısından optimum bir kazı çalışma sistemini sağlamaktır. Bu bağlamda, açık ocak şevlerinin maden ocağının üretim ömrü boyunca stabil durumunda şevler oluşturulması gereklidir. Yani, açık ocakta bulunan her şev basamağının ve genel olarak açık ocağın minimum ölçüde kabul edilebilir risk ile tasarlanarak maksimum cevher üretim oranı sağlayabilmek için açık ocak madeninin şevlerinin stabil olması gerekmektedir.

3.1 Açık Ocak Şevlerinin Geoteknik Modeli

Bir açık ocak maden şevi için geoteknik model bir temel taşı olarak kabul edilmektedir. Geoteknik model oluşturulmadan önce tasarım aşamaları belirlemek ve şev eğim tasarımları ilk olarak hazırlanmalıdır. Geoteknik modeller 4 farklı model kullanılarak oluşturulmaktadır. Yapısal, jeolojik, kaya kütlesi ve hidrojeoloji modelleri geoteknik modelleri oluşturmaktadır (Read & Stacey, 2019).
Tüm bileşenlerden gelen bilgiler toplandığında, her bir geoteknik çalışma alanı ve tasarımı için aşağıda önemli tasarım değerleri sağlanmalıdır:

- Alterasyon derecesini içeren malzeme tipleri
- Kaya kütlesi dayanım değerleri
- Kaya kütlesi sınıflandırma bilgisi
- Kaya kütlesinin her alanının elastik modülü
- Yeryüzündeki su seviyesi için gözeneklerdeki su basınç değerleri

4 ŞEV STABİLİTESİ ANALİZ YÖNTEMLERİ

Şevler yatay ile belirli bir açıda duran yüzeylerdir. Baraj, yol ve açık ocak madencilik şevleri gibi insan yapısı olabileceği gibi doğal olarak da meydana gelmiş şevler bulunmaktadır. Oluşması ne şekilde olursa olsun şevler yer çekimi kuvveti, kayma kuvveti gibi birçok etkiye maruz kalmaktadırlar. Bu sebeple şev stabilite analizi, kayıpların önüne geçmek için büyük öneme sahiptir. Şev stabilitesinin bozulmaması için karşı koyan kuvvet şev sisteminin yüzeyi boyunda oluşan kayma mukavemetidir. Statik halde stabilite analizi için izlenen yöntem genelde öngörülen göçme yüzeyine göre güvenlik katsayısının doğru şekilde hesaplanması gerekliliğini doğurmaktadır. Bu güvenlik katsayısı, şevde göçmeye karşı koyan tüm etkilerin stabiliteyi bozmaya yönelten etkilere olan oranıdır.
Teorik olarak şevlerin stabil sayılabilmesi için güvenlik katsayısı değerinin 1'den büyük olması gerekmektedir. Güvenlik katsayısı analizi varsayılan kayma yüzeyine göre zeminde oluşan etkilerin hesabıyla ortaya çıkarılan formüller kullanılarak yapılabileceği gibi, bilgisayar destekli analiz ve deneysel modeller ile de tespit edilebilmektedir (Konuk, 2005).

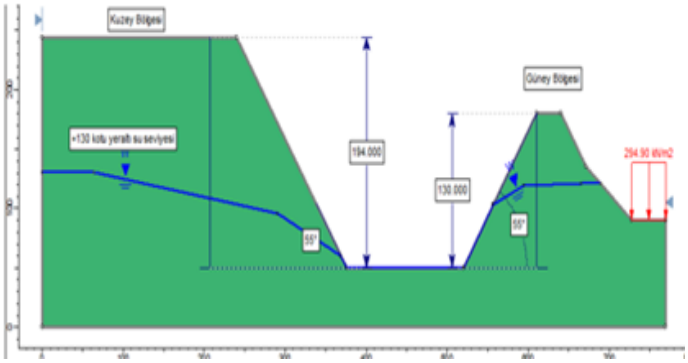
Güvenlik katsayısı tespit etmek için birçok farklı yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada analiz için dilim metotları kullanılmıştır. Bu metotlar şunlardır:

- Fellenius
- Bishop
- Janbu
- Spencer
- Lowe ve Karafiath
- Morgenstern-Price

Bu tez çalışmasında yapılan nümerik analizde "Basitleştirilmiş Bishop" metodu baz alınmıştır.

5 SONUÇLAR

Nümerik analiz için Basitleştirilmiş Bishop metodu seçilmiştir. Bu metot ile SLIDE2 programında güvenlik katsayısı değeri kuzey ve güney şevleri için tayin edilmiştir. Yapılan analiz için şev üzerindeki kontak zonlardan alınan numunelerle yapılan kesme deneyi verileri ve yine yapılan incelemeler sonucu tüm şev kütlesinin GSI=35 kaya sınıfında olduğu varsayılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki Şekil 2.'de SLIDE2 yazılımına aktarılan şev modeli verilmiştir.



Şekil 2. Slide2 Programına Aktarılan Şev Kesit Geometrisi

Sonuçlara göre güney şevleri için 55° derece genel şev açısı ve 130 m şev yüksekliği göze alınarak ortalama güvenlik katsayısı 1.82, kuzey şevleri için 55° derece genel şev açısı ve 200 m şev yüksekliği göze alınarak ortalama güvenlik katsayısı 1.567 olarak bulunmuştur. Ayrıca, güney bölgesi şevleri 130 m ile kuzey bölgesinden daha az yükseklikte olmasına rağmen bu bölge su birikim bölgesine komşu olduğundan güvenlik katsayısı düşmektedir ve her iki bölge için 1.5-1.9 arası güvenlik katsayıları değeri elde edilmiştir.

Çizelge 2. Nümerik Analiz ile Elde Edilen Güvenlik Katsayıları

	Kesme Deneyi	**GSI=35**	**Ortalama Değer**
Kuzey Şevleri	1.163	1.971	1.567
Güney Şevleri	1.209	2.420	1.815

Bu modeller ile oluşturulacak şevler için elde edilen güvenlik katsayısı değerleri ile ocakta herhangi bir stabilite sorunu oluşması beklenmemektedir. Fakat, şevlere yeterince geniş basamaklar uygulanırsa kama ve düzlemsel tip bölgesel kaya bloklarının düşmesi sorunlarına tampon bölge oluşturacağı için tavsiye edilebilir. Ayrıca, ocak derinleştikçe şev kütlesi yamaçlarında daha büyük potansitel kama ve blok kayma durumları gözlenirse geniş topuk uygulamaları basamaklar oluşturulması tavsiye edilebilir. Bu tip şev hareketlerinin yakından takip edilmesi olası problemlerin önüne geçmek için oldukça önemlidir.

TEŞEKKÜR

Bitirme çalışmasının ortaya çıkış aşamasından sonuna kadarki süreçte benden hiçbir desteğini esirgemeyen bitirme projesi danışmanım Doç. Dr. Hakan Tunçdemir'e ve eğitim hayatım boyunca eğitimim konusunda bana yardımcı tüm hocalarıma teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Önalp A. (1983). İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi 2, 1. Baskı. Trabzon: K.T.Ü Yayınları.

Arıoğlu, E. ve **Tokgöz, N.**, 2005. Çözümlü Problemlerle Şev Stabilite Analizi "Şev Stabilitesine Toplu Bakış" (Editör), İstanbul, s. 1-28

Konuk, Ç., 2005. "Şev Stabilite Analizi ve Şevlerde Deprem Etkisinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 3-29

Eti Maden Bigadiç Bor İşletmesi'nde Kullanılan Sondaj Makinasının Performans Analizi

Performance Analysis Of The Drilling Machine Used At Eti Mine Bigadic Boron Works

S. Öztürk, C. Erdoğan, Ö. Acaroğlu Ergün
(İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul)

ÖZET Bu tez kapsamında öncelikle açık ocaklarda gerçekleştirilmekte olan delme faaliyetlerinden bahsedilmiş, genel olarak patlatma deliklerinin açılması ve kullanılan ekipmanlar hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra Eti Maden Bigadiç Bor İşletmeleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. Yürütülen delme patlatma faaliyetlerinden bahsedilmiştir ve üretim yöntemleri açıklanmıştır. Saha çalışmalarında değişik baskı basıncı değerlerinde delme hızları ölçülmüş ayrıca alınan kayaç parcaçık numuneleri üzerinde elek analizi deneyleri yapılarak elek analizi parametreleri belirlenmiştir. İşletmede kullanılan makinaların en yüksek delme hızını veren optimum baskı basıncı değeri belirlenmiş, elek analizi parametreleri ile olan bağıntısı bulunmuş ve elde edilen verilerin ışığında yorumlanmıştır.
Anahtar Kelimeler: Delme Teknikleri, Delme Hızı, Elek Analizi

ABSTRACT Firstly, within the scope of this thesis drilling activities carried out in open pits are mentioned and general information about the drilling of blast holes and the equipment used in was given. Then, general information about Eti Maden Bigadiç Boron Operations is given. The drilling and blasting activities carried out are mentioned and the production methods are explained. In field studies, drilling speeds were measured at different pressure of feed force values, and sieve analysis parameters were determined by performing sieve analysis experiments on the rock chip samples taken. The optimum feed force pressure value, which gives the highest drilling speed of the machines used in the enterprise, was determined; its correlation with the sieve analysis parameters was found and interpreted in the light of the obtained data.
Keywords:, Drilling Techniques, Drilling Speed, Sieve Analysis

1 INTRODUCTION

1.1 Rotary Drilling

Rotary drilling with tricone bits is the most common method that is used in open pit mines to create blastholes. The development in open-pit coal mining activities in the world, as well as the release of ANFO; a low-cost, high-energy-efficient explosive, encouraged manufacturers to develop large-capacity equipment with high penetration power. In the meantime tricone bits, which were first used in oil fields in past, became popular in mining, and compressed air was utilized to clean drilling cuttings.

This drilling method is versatile as it covers a wide variety of formations, from soft soils to very hard rock, whose use replaces once popular systems. It is used on floors of various variations such as jet piercing. Rotary drilling with tricone bits is the most common method that is used in

open pit mines to create blastholes. Rotary rock drills essentially consist of a power source, a series of pipes, individually or in series, that transmits the load, rotation, and purge air to a part with steel teeth or tungsten carbide bit that is directly contact the rock (Jimeno L.C., 1995).

Mineral composition and grain size provide specific drilling qualities in each of the many types of volcanic, sedimentary, and metamorphic rocks. Rock joints or fractures, bedding or other types of foliation, and alteration, which can be simple surface erosion or more complex chemical alteration processes, such as those commonly associated with porphyry copper ore complexes, can have a significant impact on the drillability of rock.

1.2 Rotary Drilling Bits

The drill string used in rotary drilling is made up of various pieces, but the drill bit is the most crucial one. The drill bit breaks the rock formation with its teeth or cutting edges and allows the blast hole to move in the desired direction. Two basic bits are used in blasthole drilling; drag bit and tricone bit.

Today, blasthole drilling is almost entirely done with tricone bits, with the exception of some weak rock formations. Tricone bits with meshing cones were introduced in oil well drilling practice in past. Later, with the technological developments, tricone bits started to be used in the mining industry.

Different types of carbide inserts are firmly fixed into the holes drilled in the cones by another manufacturing technique called shrink fitting on tungsten carbide inserted bits. Because tungsten carbide is a significantly stronger and more abrasion-resistant material than milled tooth bits, carbide inserted bits often outperform milled tooth bits under similar conditions. Tricone bit type shown in Figure 1.1 (Gokhale B.V., 2011).

In this study, the drilling operations and the change in the performance of the drill was examined by changing the f pressure values of feed force applied to a drill in Eti Mine Boron Works.

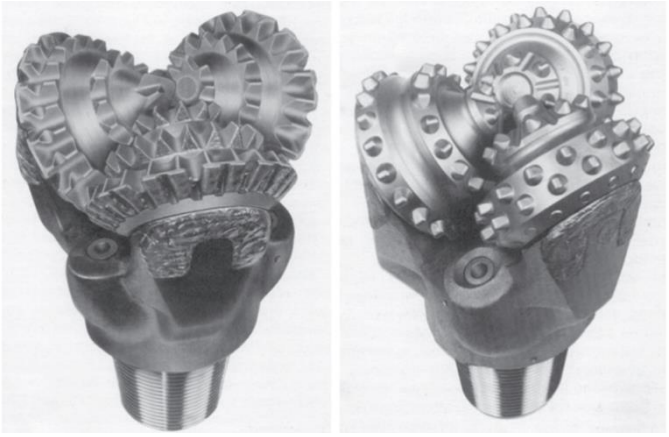


Figure 1.1: Milled tooth and tungsten carbide tricone bits (Gokhale B.V., 2011)

2 ETI MINE BIGADIC BORON WORKS DRILLING OPERATIONS

2.1 General Information About Eti Mine Bigadiç Boron Works

Eti Mine Works is responsible for producing, operating, and marketing boron minerals in Turkey in accordance with applicable legislation. Eti Mine Works is a multinational corporation with operations in mining, metallurgy, and chemical through its Bandırma Boron and Acid Factories, Kırka Boron, Emet Bor, Bigadiç Bor Operation Directorates, and Bandrma Logistics unit, as well as foreign representatives.

Bigadiç Boron Works was found inside the boundaries of Osmanca Village, 12 kilometers northeast of the Bigadiç district which is shown in the Figure 2.1. The Bigadiç Boron Basin is formed of volcanic sedimentary rocks. Unconformably settled Paleozoic-Mesozoic rocks were found on Miocene dated units.

Figure 2.1 Location of the Eti Mine Bigadiç Boron Works by Airbus, Landsat map data, 2021

2.2 Geological formation of the Bigadiç Area

The Bigadiç Boron Basin is formed of volcanic / volcano-sedimentary rocks. Unconformably settled Paleozoic-Mesozoic rocks were found on Miocene dated units. Miocene units are listed in the following order: basal volcanic unit, basal limestone unit, lower tuff unit, lower borate unit, upper tuff unit, upper borate unit, and basalt. Before the Miocene, large-scale faulting occurred in Pazeozoic-Mesozoic-aged rocks. As a result, various elevations and depressions have occurred. These ups and downs have resulted in the formation of several mountains, hills, and basins. In this location, it is in the NE-SW directions of the fold axes. The layers are mainly inclined towards the northwest or southeast, with slopes ranging from 5 to 35 degrees. The region's mineralization occurred in two distinct zones known as the lower and higher borate zones. Mineralization has been observed in the lower borate zone of the Tülü open pit, as well as the higher borate zone of the Simav and Acep open pits. The thickness of the lower borate zone ranges between 35 and 130 meters, whereas the thickness of the upper borate zone is between 20 and 110 meters (Helvacı and Alaca, 1991).

3 PERFORMANCE ANALYSIS OF THE DRILLING MACHINE

At Eti Mine Bigadiç Boron Works, studies were carried out with drilling machine. As a result of the applications, rock chip samples were taken and sieve analysis tests were applied to these samples.

3.1 Field Studies

Drilling machine studies were carried out at Eti Mine Bigadiç Boron Works. On three different days, the drilling machine in the Simav open pit was operated under three different feed force (pull down) pressure, accompanied by the operator. Parameters of drilling machines was worked on in this study is given Table 3.1. Drilling speed and machine performance were measured when operating at 20, 25, and 30 bar pressure for the

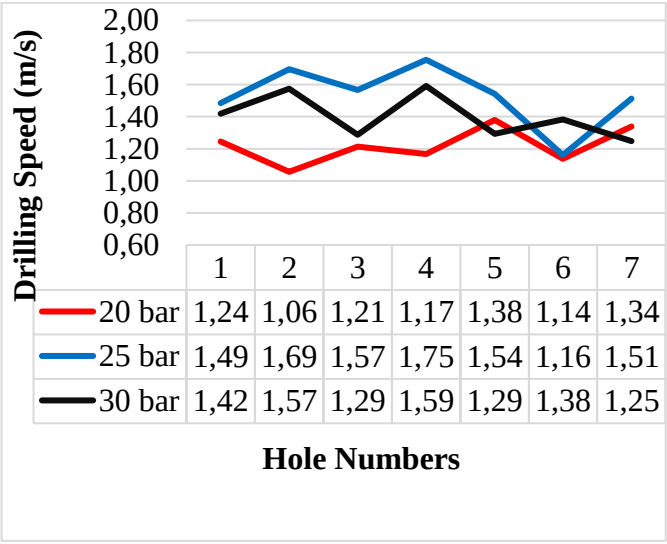
feed force. Drilling speeds at the each situation were recorded within the scope of the data collected in the field as shown Figure 3.1.

Table 3.1 Atlas Copco DM50 Technical Specifications

Drilling method	Rotary and DTH
Hole diameter	149 - 229 mm
Hydraulic pulldown	200 kN
Weight on bit	20400 kg
Hydraulic pullback	98 kN
Single pass depth	10.66 m
Maximum hole depth	53.3 m
Feed speed	44.5 m/min
Retract speed	62.5 m/min
Torque	0 –9,762 Nm
Estimated weight	35 – 43 tones

3.2 Sieve Analysis

Rock chip samples were taken as a result of the drilling applications and sieve analysis tests were applied on these samples in the Rock Mechanics Laboratory of Istanbul Technical University Mining Faculty. Optimum operating conditions were determined with the particle size distributions obtained from these experiments. Drilling speed and D50 values are shown in the Table 3.2 within the scope of the data obtained from the experiment. Figure 3.2 and Figure 3.3 show the comparison between D50 values, drilling speed and pressure of feed froces at 20, 25 and 30 bar. As seen from these figures and tables, optimum drilling speed was obtained at 25 bar pressure while D50 size was increasing as a sign of efficient drilling.



	1	2	3	4	5	6	7
20 bar	1,24	1,06	1,21	1,17	1,38	1,14	1,34
25 bar	1,49	1,69	1,57	1,75	1,54	1,16	1,51
30 bar	1,42	1,57	1,29	1,59	1,29	1,38	1,25

Figure 3.1 Drilling speeds at different pressure of feed force

Table 3.2 D50 values of sieve analysis.

SN	FFP	D50	DS
1	20	2.12	1.24
2	20	2.82	1.21
1	25	3.22	1.54
2	25	2.77	1.51
1	30	2.57	1.29
2	30	2.22	1.25

SN: Sample Number, FFP: Pressure for Feed Force (bar), D50: D50 Value (mm), DS: Drilling Speed (m/min)

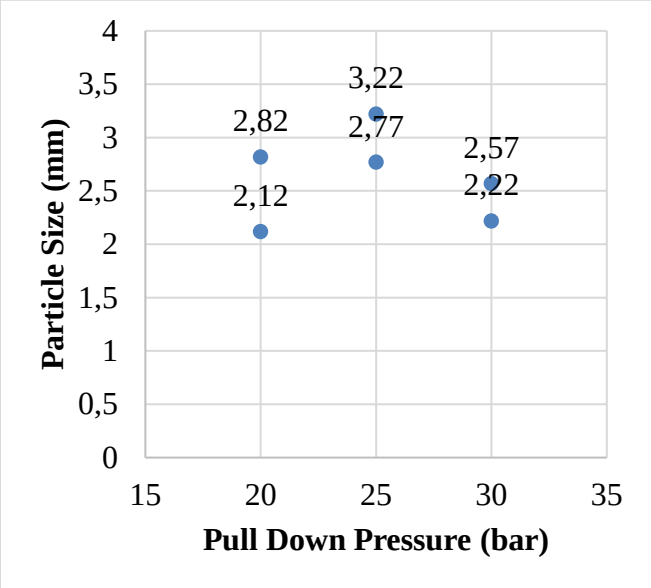


Figure 3.2 Comparison of particle size and pressure of feed force

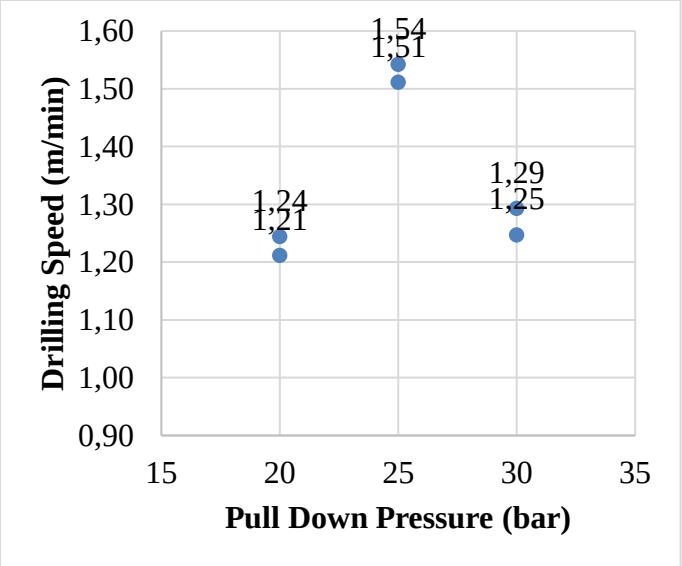


Figure 3.3 Comparison of drilling speed and pressure of feed force

4 CONCLUSION

As a result of the study, it was determined that the drilling speed as 1.22 m/min at 20 bar and 1.53 m/min at 25 bar, respectively, and 1.40 m/min at 30 bar has been obtained. However, as a result of the blockages in the nozzle at 30 bar, the speed of the drilling process decreased. There was no such situation at 25 bar. As seen from the result 25 bar has given the highest speed. It was also observed that the rod had to be withdrawn continuously due to clogging in the nozzle at 30 bars.

According to the results of the particle size analysis, it was observed that there is consistency between the particle size parameters and the pressure values. Reducing the particle size parameters causes unnecessary energy consumption. It is expected that particle size parameters increased as drilling speed is increasing. In this study 25 bar feed force pressure gives highest drilling speed as increasing D50 obtained sieve analyses as a sign of efficient drilling.

REFERENCES

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2018. İşletme tanıtım 2018.

Gokhale B.V., 2011. Rotary Drilling and Blasting in Large Surface Mines, pp. 83-114.

Helvacı, C. ve Alaca, O., 1991. Bigadiç Borat Yatakları ve Çevresinin Jeolojisi ve Mineralojisi, *MTA*, Cilt. 113.

Jimeno L.C., 1995. Drilling and Blasting of Rocks, Netherlands, pp. 1-63.

Experimental Optimization of Soil Conditioning for EBP TBMs
EPB TBM'ler için Deneysel Zemin Şartlandırma Optimizasyonu

G. Kılıçgedik, H. Çopur, E. Avunduk
İstanbul Technical University, Mining Engineering Department, İstanbul

ABSTRACT This study aims to contribute to the relatively new academical field of soil conditioning by attempting to optimize experimentally soil conditioning for EPB TBMs. This attempt includes conducting foam characterization and soil-foam mixture characterization experiments in the soil conditioning laboratory of ITU Mining Engineering Department. The test results show very similar increases in both spreading and slumping with the increasing FIR value. Consequently, it is suggested that the mini slump test be used instead of slump test because of the correlation with the proven DIN flow table test. The second outcoming suggestion is that one of the two tests (mini slump and DIN flow table) could be used at the characterization of soil conditioning phase in a tunneling operation if time was inadequate. The optimum FIR value for the given experimental conditions are obtained between 30% and 40% based on mixing with power measurement, DIN flow table and mini slump tests.
Keywords: EPB TBM, Soil conditioning, Excavation performance, Optimization.

ÖZET Bu çalışma, EPB TBM'ler için deneysel zemin şartlandırmayı optimize etmeye çalışarak nispeten yeni olan zemin şartlandırma alanına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Bu girişim, İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü Zemin Şartlandırma Laboratuvarında köpük karakterizasyonu ve zemin-köpük karışımı karakterizasyon deneyleri yapılarak gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları, numunelerin artan FIR değeri ile hem yayılmada hem de mini slump çökme değerlerinde çok benzer artışlar göstermiştir. Sonuç olarak, kanıtlanmış DIN yayılma tablası testi ile korelasyon nedeniyle slump testi yerine mini slump testinin kullanılması önerilmektedir. Ortaya çıkan ikinci öneri, zamanın yetersiz olması durumunda bir tünel açma işleminde zemin şartlandırma aşamasının karakterizasyonunda iki testten birinin (mini slump veya DIN yayılma tablası) kullanılabileceğidir. Verilen deney şartlarında, güç ölçümlü karıştırma, DIN yayılma tablası ve mini slump deneylerine dayanarak optimum FIR değerinin %30 ile %40 arasında olduğu bulunmuştur.
Anahtar Kelimeler: EPB TBM, Zemin şartlandırma, Kazı performansı, Optimizasyon.

1 INTRODUCTION

1.1 General Information and Purpose

This study aims to explain and shed light on this relatively new solution -that is soil conditioning- to better tunneling practices -mostly in urban areas-, and conducts tests and experiments to contribute to the optimization of soil conditioning for EPB TBMs according to the results of these tests.

1.2 Scope of Review, Parameters and Method

In order to reach the goals aimed in the previous section, this study will focus on experimental studies, which will take place first in the laboratory then in computer and on paper. Field studies are not within the scope of this study for compelling reasons related to Covid-19 pandemic. The laboratory studies will not cover soil characterization experiments due to

insufficient time in the laboratories. Foam characterization test are included in the scope of this study. These are, foam half-life tests and foam density tests. The plasticization effect of foam tests is not included due to insufficient time. The foaming agent used in the experiments is SIKAFOAM TBM 110 FB, which is a standard foaming agent and is applicable to the soil sample of this study, which is a silty sand formation. This agent will be used in different FER values during the tests. Ultimately, the mini slump test and the DIN flow table test and their results will be compared, and the optimum soil conditioning in terms of FIR, determined.

2 EXPERIMENTAL PROCEDURES AND PARAMETERS

In this section, the procedures of the experiments and the standards to be followed during the tests are explained. The experiments are categorized in 3 groups: soil characterization, foam characterization and soil-and-foam mixture characterization experiments. This study will not cover soil characterization experiments, the characteristics of the soil samples obtained from Mahmutbey-Mecidiyekoy Metro Tunnel project site are taken from the Ph.D. study of E. Avunduk (2018).

2.1 Foam Characterization Experiments

Foam characterization experiments are conducted for the optimization of the foam to be used in soil conditioning experiments. These two tests are going to be conducted: foam density, and foam half-life tests. EFNARC 2005 suggestions are to be followed in this study and during the tests. Foam concentration of 2% is kept constant and foam expansion ratio is varied as 12 and 16 during these tests.

2.2 Soil-Foam Mixture Characterization Experiments

The completion of soil characterization and foam characterization tests allow soil-foam characterization tests to start (This study will not cover soil characterization tests). It can be expected that the soil sample used in this study, which is sandy, would decrease the excavation performance as it would spread out during transportation because of its low natural water content. This is why this soil sample needs soil conditioning with water and foam, and the soil-foam mixture characterization tests are conducted in this study. Characterization tests on the conditioned soil (soil-foam mixture) are to be carried out to examine the effects of the soil-foam interaction and conditioning on the technical properties of the soil. The tests to be conducted under this section are: mixing test with power measurement, mini slump test, and DIN flow table test. These tests, for the purposes of this study, will be done with varying FIR values of 20%, 30% and 40% at constant W of 15%, FER of 12 and CF of 2%.

3 RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES

3.1 General Introduction of the Soil Sample Used in the Experiments

The soil sample used in this study was taken from the excavation of Mecidiyeköy - Mahmutbey metro line. The exact location was Kazım Karabekir station. Geological features of the location of the sample is summarized hereafter based on the Ph.D. study of E. Avunduk (2018):

- Specific gravity: 1.90 g/cm3
- Natural water content: 17%
- USCS: SW-SC
- Liquid limit: 27.3%
- Plastic limit: 0%

Additionally, particle-size distribution of the soil sample shows that it constitutes of 87% sand, 10% silt, and 3% clay and gravel.

3.2 Results of Foam Characterization Experiments

The result of the foam density test can be seen in Table 3.1. It can be seen that as the FER value increases, the foam density decreases. So, in order to determine and control the density of the foam to be used in soil conditioning practices, the FER value could be set accordingly.

The results of the foam half-life test and comparison between the two foam samples are presented in Figure 3.1, and as can be seen there, the FER 12 foam sample has less

half-life then the FER 16 foam. So, it is important to include the FER value of a foam into the calculations before soil conditioning practices take place, as the half-life of foam is crucial for the excavation performance because as the foam decays, it loses its soil conditioning purposes. The appropriate FER value of a foam that will be used as a soil conditioner for an excavation should be pre-determined according to the expected and actual time period that the foam will decay over.

Table 3.1: Foam Density Test Results

FER	Density
12	0.084
16	0.063

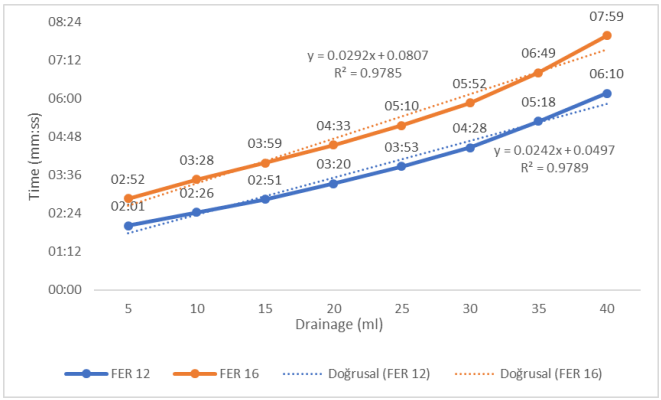


Figure 3.1. The results of foam half-life test plotted.

3.3 Results of Soil-Foam Mixture Characterization Experiments

The results of mixing test with power measurement can be seen in Figure 3.2.

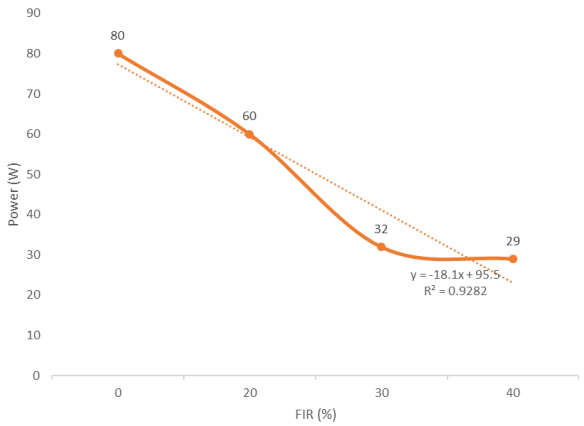


Figure 3.2. The results of mixing test with power measurement plotted.

This graph indicates that increasing the FIR value over 30% decreases the power consumption of the mixer in a marginal amount. In other words, the optimum FIR value is around 30%.

The results of mini slump test can be seen in Figure 3.3.

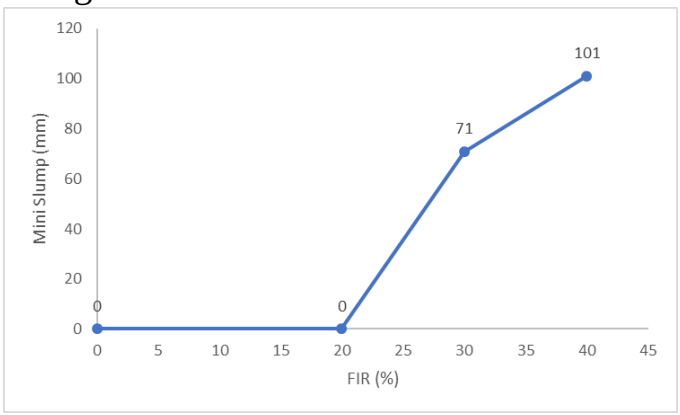


Figure 3.3. Mini slump test results plotted.

It is seen that without the soil being conditioned using foam over 20% FIR rate, the tests would fail. It was seen that the FIR 40% conditioned soil sample had liquidized form, and FIR 30% had pasty consistency. Hence, the optimum FIR value is concluded as between 30-40% from this test.

The results of DIN flow table tests can be seen in Figure 3.4.

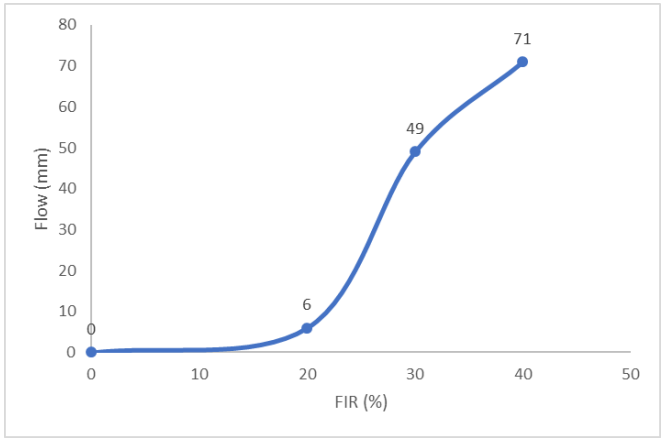


Figure 3.4. Flow table test results plotted.

As can be seen, the results strongly resemble mini slump test results. Each of the 4 soil samples showed same behavior in this test as in the mini slump test. Optimum FIR rate is seen again as 30-40%.

3.4 General Assessment of the Results of the Experiments and Optimization

The variation and relation (Fig. 3.5) between mini slump and DIN flow table test results show strong correlation. Avunduk et.al. (2017) has found a 95% relation between the two tests. In this study however, the relation is found as 99%. Consequently, both studies have indicated strong correlation between the two tests.

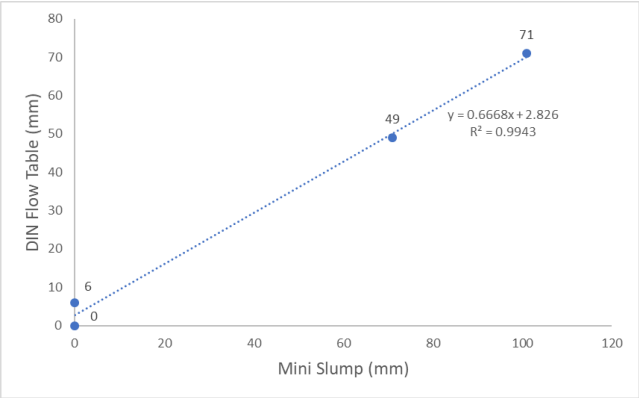


Figure 3.5. Relationship between Mini slump and DIN flow table.

4 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

From the studies conducted in the scope of this study, the following conclusions are obtained:

• The optimum ground properties are searched at constant values of water content (15%), CF (2%), and FER (12) by using SIKAFOAM TBM 110 FB as surfactant during the soil-foam mix characterization tests; only the FIR value is subject to change. Hence, it is seen that the optimum FIR value is between 30 and 40% in these conditions.

• The comparison between DIN flow table test and the mini slump test shows strong correlation. Therefore, using only one of these tests when time is inadequate, would provide reliable results. However, it is recommended that both tests be conducted when time allows it for more reliable evaluations.

It is recommended that the experiments be diversified and multiplied to provide a broader perspective.

ACKNOWLEDGMENTS

Thanks to Prof. Dr. Hanifi Çopur for his contributions on the topic of his expertise and his advisory.

Thanks to Dr. Emre Avunduk for his contributions in the soil conditioning laboratory of ITU Mining Engineering Department.

REFERENCES

American Society for Testing and Materials. (2005). Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass: ASTM D 2216-05. ASTM International.

ASTM, C. (2012). Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete.

ASTM, C. (2014). Standard practice for mechanical mixing of hydraulic cement pastes and mortars of plastic consistency. ASTM West Conshohocken, PA.

ASTM, D. (2007). Standard test method for particle-size analysis of soils.

Avunduk, E. (2018). Zemin Şartlandırmanın EPB TBM Performansina Etkilerinin Araşıirılması (Doctoral Dissertation, Istanbul Technical

Avunduk, E., Tumac, D., Tolouei, S., Copur, H., Balci, C., Bilgin, N. (2017). Effect of

conditioning on soil workability determined by mini-slump and flow table tests. World Tunnel Congress, Bergen-Norway, 9-15 June, 10 p.

Babendererde, S., Hoek, E., Marinos, P. G., & Cardoso, A. S. (2005). EPB-TBM face support control in the Metro do Porto project, Portugal. In Proceedings 2005 Rapid Excavation & Tunneling Conference, Seattle, USA (pp. 3-4).

Bilgin, N., Copur, H., Balci, C. (2014). Mechanical excavation in mining and civil industries, CRC Press.

Borio, L., Peila, D., Oggeri, C., & Pelizza, S. (2008). Characterization of soil conditioning for mechanized tunneling. Italy, IATTMED, 8.

Çopur, H. (2021). Mechanization in Mining and Tunneling Excavations. Lecture Handouts, Istanbul Technical University, Mining Engineering Department.

Copur, H., Avunduk, E., Tumac, D., Balci, C., Bilgin, N., Mamaghani, A.S., Tolouei, S., Erkus, G., Acun, S., Ates, U. (2018). Effect of Soil Conditioning on Performance of an EPB TBM: from Laboratory to Mahmutbey-Mecidiyekoy Metro Tunnels in Istanbul. In: World Tunnel Congress, Dubai-UEA,21-26 April, 10 p.

DIN EN 12350-5, Testing fresh concrete, Part 5: Flow table test. DIN Deutsches Institut für Normung.

EFNARC, (2005). Specification and guidelines for the use of specialist products for mechanized tunneling (TBM) in soft ground and hard rock. Recommendation of European Federation of Producers and Contractors of Specialist Products for Structures.

Guglielmetti V., Grasso. P., Mahtap. A., Xu. S. (2007). Mechanized Tunnelling in Urban Areas Design Methodology and Construction Control, Taylor and Francis.

Langmaack, L., Feng, Q. (2005). Soil conditioning for EPB machines: Balance of functional and ecological properties. In: World Tunnel Congress, Istanbul.

Maidl, B., Herrenknecht, M., Maidl, U., Whehrmeyer, G. (2012). Mechanized shield tunneling, Ernest and Sohn publications.

Elmas Boncuklu Tel Kesme Makinasının Performans Analizi

Analyzing the Performance of the Diamond Wire Cutting Machine

Z. F. Özdemir
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu bitirme çalışmasının amacı. Elmas boncuklu tel kesme makinasının performans analizini yapıp doğal taş sektöründeki üretim verimini arttırmaktır.
Çalışmada önce Dereli Mermer Granit AŞ. genel olarak tanıtılmış, ocak hakkında bilgiler verilmiştir. Açık ocakta kullanılan makinaların performansına etki eden motor gücü, tel uzunluğu, elmas boncuk sıklığı, kesilen taşın özellikleri, jeolojik-jeoteknik, mekanik ve teknik-operasyonel, kasnak açısı gibi etkenler baz alınmıştır. Kesilen taşların analizleri yapılmış olup taşın yapısının elmas boncuklu tel kesme makinasının performansına ne denli etki ettiği gözlemlenmiştir. Gözlemlenen makinaların tamamı su ile çalışmaktadır. Doğal taş türleri ve doğal taş üretim yöntemlerinden bahsedilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Elmas, Tel, Performans, Mermer.

ABSTRACT The aim of this graduation project is analyzing the performance of the diamond wire cutting machine and increase the production efficiency in the natural stone sector. In the study, first, Dereli Mermer Granit A.Ş open pit was introduced and information was given about the quarry. Factors such as engine power, wire length, diamond bead density, the properties of the cut stone, geological- geotechnical, mechanical and technical-operational, pulley angle, which affect the performance of the machines used in open pit, were taken as basis. The cut stones were analyzed and it was observed how much the structure of the stone affected the performance of the diamond wire saw. All of the machines observed work with water. Natural stone types and natural stone production methods were mentioned.
Keywords: Diamond, Wire, Performence, Natural Stone.

1 INTRODUCTION

Natural Stone are kind of rock that contains Calcium Carbonate ($CaCO_3$) and Magnesium Carbonate ($MgCO_3$). Natural stones are metamorphic rocks. Metamorphic rocks are formed by metamorphoses by factors such as temperature and pressure. The best known natural stones are marble, granite and travertine. In the sector language natural stone means marble. The rock which one can polish and cut accepted as marble. Marble, which takes its name from Marmara Island in Balıkesir, is a metamorphism rock formed by the recrystallization of limestones and dolomitic limestones under temperature and pressure. Marble quarry management started in the early dates of the civilization periods, although its basic principles have not changed, it has taken its current form with the arrival of mechanization that provides high production capacities to this area. Marble have been used for differrent purposes throughout history. People used natural Stones for graves, accessiories,

kitchens, statues, flooring. Marble is the most consumed natural stone. Major consumption areas; construction industry and decoration. Marble is also used in many different sectors. For example, provender containts marble dust and this is really important for animals because marble powder meets the calcium needs of animals.

2 BACKGROUND

There are differents methods used to produce marble. Most of marble mining areas are open pit. Open pit areas call quarry. Underground methods are generellay not used because of drilling, blasting and large excavation tools. Thus, there are very few underground mines for marble.

There are some main methods for quarries. These can be listed as follows:

1-)Diamond wire cutting production
2-)Circular saw block cutting machine production
3-)Flame jet production
4-)Water jet production
5-)Chain saw machine production

2.1 Diamond Wire Cutting Produciton

There are some equipments for diamond wire cutting machine. They are diamond wire, drilling machine, auxiliary equiptments. There are Electric power of 18-55 kW depending on the type the motion of the rotating and diamond wire with the motor transferring power to the flywheel center. This center can be entirely hydraulic or mechanical. Hydraulic center machine has an advantage againts mechanical center machine. Hydraulic center machine can provide that adjusting of the first working speed but in that case this requires more initial cost against to mechanical center machine.

3 DIAMOND WIRE CUTTING MACHINE

In parallel with the increase in marble production, significant changes have been made in marble extraction technology in our country in the last twenty years. Instead of removing marble with the traditional drilling and cracking method, it quickly abandoned the modern diamond wire cutting method. The production flow chart of block marble production with the diamond wire cutting method is given below:

1-)Drilling holes by drilling
2-)Cutting the main mass with a wire cutting machine
3-)Tipping of the cut mass
4-)Sizing the overturned mass
5-)Transportation of blocks to the stockpile

Çizelge 1. Technical characteristics of the sizing machine (Demmak DASM 25)

Main Motor Power	kW/HP	18,5/25
Moving Motor Power	kW/HP	0,75/1
Type of Wire	Diamond	
Wire Turning Capacity	M (max)	20
Cutting speed	m^2 /hour	6-8
Working Angle	°	360
Rail length	m	3
Water Needs	lt/hour	300

4 PARAMETERS AFFECTING PERFORMANCE OF DIAMOND WIRE CUTTING MACHINES

In marble block management, when an investigation is made to determine the marble cutting efficiency in the diamond wire cutting process, the issue that generally gains importance in quarry enterprises is the change in the production amount, depending on the cutting speed in m2/hour, aily or hourly.

In marble block management, when an investigation is made to determine the marble cutting efficiency in the diamond wire cutting process, the issue that generally gains importance in quarry enterprises is the change in the production amount, depending on the cutting speed in m2/hour, daily or hourly.

The factors affecting the performance of diamond wires are not limited to the properties of the wire. In the Dereli Mermer Granit A.Ş marble quarry; main factors affecting performance;

* Features of the diamond wire,
* The stage and local areas where it is used,
* Physical and chemical properties of the cut stone,
* New Use of Wires and Unfilling on Diamond Beads,
* Renewal and re-arrangement of wire elements worn out after a certain cut,
* Diamond bead alignment difference,
* Wire cutting machine features,
* The position of the wire cutting machine,
* Wire cutting machine retraction speed adjustment
and wire circumferential speed adjustment,
* The size of the cut and the length of the wire used depending on it,
* Having a horizontal cut or a vertical cut.

Diamond wires; Due to it is made by spraying 0.35-1.2 carats of diamond particles on the matrix on the steel thimble, the content of the matrix and the diamond grain sizes embedded on it significantly affect the cutting performance.

Generally, when the wires are first used, the cutting diamond grains are covered with a matrix filler. In this case, the wires; Cutting speeds remain below normal values during the first 5-6 cuts.

5 PERFORMANCE MEASUEREMENTS AND ANALYSIS OF THE RESULTS

The quarry of Dereli Marble Granit A.Ş is located in Saraylar town of Marmara Island. Annual production amount is around 400,000 tons of dolomite. The chemical analysis of the produced stone is given in Table 5.1.

Table 5.1 Chemical Analysis of Dolomite in Saraylar Quarry

CONTENT	AMOUNT (%)
CaO	33,43
MgO	19,66
Al2O3	0,01
Fe2O3	<0,01
SiO2	0,86
P2O5	<0,01
Na2O	<0,01

The place to start cutting is 12 m to the left of the upper step. Cutting height is 10 meters. The distance between the upper step of the stone and the lower step of the stone is 14 m. Total working hours, total cutting amount, hourly cutting amount, shape of stone are given in Fig 5.1.

6 CONCLUSIONS AND RECCOMENDATIONS

There are many factors affecting the performance of a diamond wire cutting machine. These parameters should be considered in order to increase production speed and efficiency. Cutting performance varies according to the chemical structure and physical structure of the stone. Therefore, the structure of the stone should be analyzed. The tools to be used should be selected according to the physical and chemical structure of the stone.

Number of diamond beads on the wire can change about the situation. In the machines at Dereli A.Ş, 27 wires are placed per meter, of which the company has found the optimum number of diamond beads per metre.

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to express my sincere gratitude to my supervisor Prof. Dr. Hanifi ÇOPUR for his guidance, advice, support, encouragement and patience throughout my graduation project. It is incumbent that I express my gratitude to all my instructors at ITU, especially in the Department of Mining Engineering, who have played an important

and irreplaceable role in my undergraduate education.

A special note of thanks to Yalçın DERELİ, Osman İPEK and Nuriye GÖKMEN who provided help and feedback regarding the study materials. I am also grateful to my friends, classmates for their support, encouragement and patience throughout the period of my undergraduate studies.

Finally, I would like to express my deepest thanks to my family for their unwavering support and encouragement during my studies. A sincere thank you to my father, Ahmet ÖZDEMİR, who has never compromised on my education and always made it a priority regardless of the circumstances. I would like to express my gratitude to my mother, Şerife ÖZDEMİR, as well for her support and encouragement throughout my studies. I would like to thank my sister, Elif Makbule ÖZDEMİR, who supported me with everything throughout my education life and tried to make me successful. To Ayşe Nur, a brilliant, warm-hearted woman, thank you for being there, always by my side.

KAYNAKLAR

Aydın, G., Aydıner, K., 2009 Assessment of the Applications of Water Jet Technology in Mining Sector.

Çetin, T. 2003. Türkiye Mermer Potansiyeli, Üretimi ve İhracatı", Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, G.Ü. 23 (3), 243-256.

Çopur, H., Bilgin, N., Balcı, C., Tumaç, D., 2008. Doğal Taş Madenciliğinde Kullanılan zincirli Kesme Makinelerinin Kazı Performanslarının Optimizasyonu. TÜBİTAK Rapor No 105M017, 224s.

Magyari, A., Ilias, N., Radu, S. and Magyari, A.A. 1999. The Influence of Rocks Parameters During the Cutting Process Using high Pressure Water Jets.

Maurer, W.C., Heilhecker, J.K. and Love W.W. 1974. High-Pressure Drilling, Proceedings of 2nd International Symposium on Jet Cutting Technology, Cambridge Page : 80-89.

Urhan S., Şişman A.N. 1992 *Blok mermer üretiminde kullanılan tel kesme* yönteminin *gelişim ve önemi Madencilik, Cilt 31, No 2, s: 35-39.*

Gayrettepe-İstanbul Havalimanı Metro Hattında Dolgu Enjeksiyon Uygulaması

Backfill Grouting Injection Application in Gayrettepe-Istanbul Airport Metro Line

G. Turan, H. Tunçdemir
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

ÖZET İstanbul'un Avrupa Yakası'nda Kolin – Kalyon – Cengiz Adi Ortaklığı tarafından yapılması planlanan Gayrettepe – 3. Havalimanı Raylı Sistem Hattı'ndaki Tünel açma makinesi (TBM) ile gerçekleştirilen metro tüneli kazısı işlemi sırasında yapılan yapay geri dolgu enjeksiyon çalışması tezin konusunu oluşturmaktadır. Analiz için yapılan çalışmalar, kullanılan makinenin özelliklerine ve çalışma yapılacak sahanın jeolojik ve jeoteknik raporlarına göre oluşturulmuştur. Raporlardan alınan bilgiler ilgili bölümlerde belirtilmektedir. Rapordaki veriler şirkette bulunulan süre içerisinde veya geçmişte kayıt altına alınmış verilerle elde edilmiş olup bunlar üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu işlemler sonucunda uygulanan enjeksiyonun verileri TBM raporlarından alınarak uygulanan bölgenin jeolojik ve jeoteknik özelliklerine göre analiz edilmiştir. Analiz için Aralık 2018 – Ocak 2019 ayında S – 1082 numaralı TBM seçilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Tünel, metro, yeni hava limanı, TBM

ABSTRACT This thesis is within the scope of the artificial backfill injection work carried out during the subway tunnel excavation performed with the Tunneling Machine (TBM) on the Gayrettepe- 3rd Airport Rail System Line, which is planned to be carried out by Kolin-Kalyon- Cengiz Adi Partnership on the European Side of Istanbul. The studies for the analysis were created according to the characteristics of the machine used and the geological and geotechnical reports of the field to be studied. The information obtained from the reports is stated in the relevant sections. The data in the report has been obtained with the data recorded during the time of the company or in the past, and studies have been carried out on them. As a result of these processes, the data of the injection applied were taken from the TBM reports and analyzed according to the geological and geotechnical characteristics of the applied region. CPC numbered S – 1082 was selected in December 2018 – January 2019 for analysis.
Keywords: Tunnel, metro, new airport, TBM.

1 INTRODUCTION

1.1 Information about the Project

The planned Gayrettepe- Istanbul Airport Metro Line is one of the important subways planned to be built on the European side of Istanbul. With this line, the integration of the city with the most important public transport transfer centers and urban rail system lines will be ensured to provide fast access to the 3rd Airport. The line length is about 36 kilometers. The data were taken from the writer internship between 12.24.2018 - 01.24.2019.

Since the main target of the line is the airport transportation, unlike other urban transportation systems, it is predicted that the operating speed will be in the range of 80- 120 km / h and the distances between stations are higher.

1.2 Project Route

The station area is located on the planned Gayrettepe - New Airport Metro Line route, between Işıklar and İhsaniye villages of Eyüp district on the D020 highway (Km 27 + 928 - 28 + 106).

1.3 General Geology and Hydrogeology

1.3.1 Geological and Geotechnical Research Studies

Within the scope of geological- geotechnical studies, in addition to examining the old studies related to the field and making geological mapping around the station, 5 ground exploration drillings were carried out. During the drilling drills, in situ tests (Standard Penetration (SPT), Pressiometer (PMT), Permeability and Pressurized Water (BST) tests, index and mechanical laboratory tests on soil and rock samples taken from the drillings were performed.

1.3.2 Ground Research Drilling

For ground investigation, 2 ground exploration drillings with a depth of 29 m were made. In addition to these drillings, 3 drillings (the depths of these drillings vary between 32 m and 37 m) were also used.

1.3.3 In-Situ Tests

During the drilling, a limited number of permeability and pressurized water tests (BST) were carried out in the well with standard penetration (SPT), pressiometer (PMT).

1.3.4 Geology of Route

Although the natural morphology of the site and its surroundings has deteriorated due to intensive excavation and filling, it is understood that the station area and its surroundings are generally located in a slight (3- 4 °) slope in the south-southeast direction, and the southeast end of the station is in an old reclaimed stream bed.

In the region where İhsaniye Station is located, the geological basis is the Carboniferous Trakya Formation, which is formed by the alternation of sandstone-siltstone and claystone. On the top of the Trakya formation, there are Ağaçlı Member (TDA), which is formed from claystone-siltstone levels, belonging to the Danişmen Formation (Td), containing sand, gravel and coal intermediate levels, and stratigraphically at the top, alluvial sediments. The general geology map of the region where the study area is located is given in Figure 1. Due to the widespread excavation and fillings in and around the planned station area, the field and its surroundings are almost completely covered with irregular and variable thickness filling.

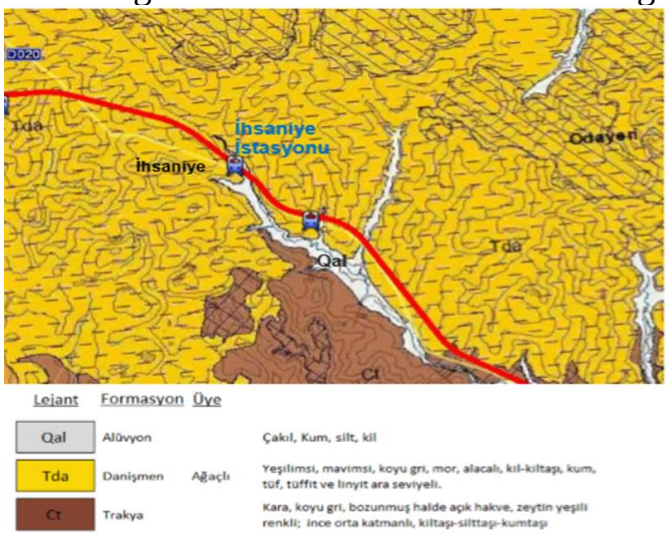


Figure 1. General Geology Map of the Area Where the Study Area is Located (IMM-Geology Studies of Istanbul)

2 BACKFILL GROUTING IN TBM TUNNELS

2.1 TBM (Tunnel Boring Machine)

TBM is the abbreviation of the initials of the words "Tunnel Boring Machine". It can be used in tunnels with circular cross-sections and diameters between 2 - 15 m in a wide range of geological formations when other excavation methods are not safe, fast, and economical. The part of the TBM that contacts the ground and performs the cutting

process is called the cutter head. The excavation process takes place as a result of rotating the cutter head at the same time by pressing the formation with a certain force and speed.

2.2 TBM TYPES

TBM types are strongly related to the geological conditions of the project. Although manufacturers give different names to TBM models, it is possible to divide TBMs into two main groups: hard rock TBMs and soft ground TBMs. Open, single shield and double shield TBMs are used to excavate rock formations, while soft ground TBMs are used to excavate in soil or mixed surface conditions (Figure 2).

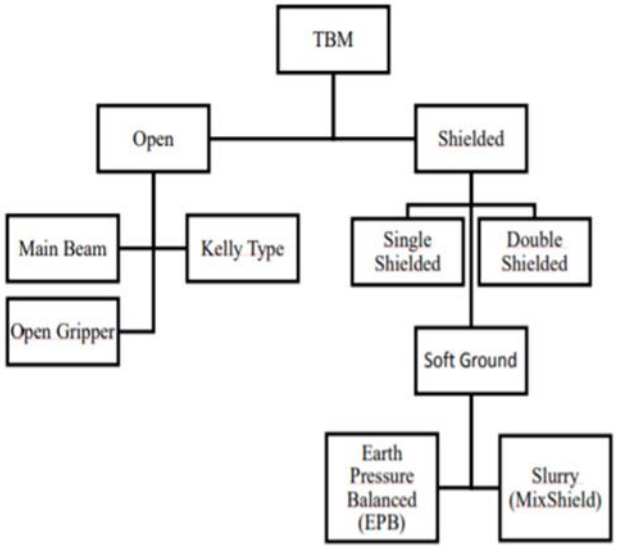


Figure 2 TBM types (Einstein & Bobet, 1997)

2.3 GROUTING

There is a certain risk of unexpected ground conditions in tunnel excavation. One of the risks is large volumes of high-pressure groundwater. In addition, small volumes of groundwater can also cause problems in or around the tunnel. Water is the most common cause of grouting of rocks surrounding tunnels. Groundwater can be controlled by drainage, pre-excavation grouting and post-excavation grouting. Rock or ground conditions causing stability problems for tunnel excavation is another possible cause of grouting. The problematic ground can be improved by filling the discontinuities with grouting material of sufficient strength and adhesion.

Pressure grouting in rock is executed by drilling boreholes of suitable diameter, length and direction into the bedrock, placing packers near the borehole opening (or using some other means of providing a pressure tight connection to the borehole), connecting a grout conveying hose or pipe between a pump and the packer and pumping a prepared grout by overpressure into the cracks and joints of the surrounding rock. In tunnel grouting there are two fundamentally different situations to be aware of Pre-excavation grouting, or pre-grouting and post-excavation grouting, or post-grouting.

2.4 TBM GROUTING

In TBM tunnels, primary grouting is performed at the same time as tunnel excavation is carried out. The diameter of the cutter head is larger than the rest of the machine. Rings are placed around the tunnel in order to prevent deformation on the ground during or after excavation. After the rings are placed, some space remains between the ground and the ring. In order to prevent water that may leak into the tunnel from this space and to provide stabilization on the ground, a bentonite pebble injection is given to the space between the rings and the ground from the injection pipes of the TBM at a certain pressure and amount. This process is the primary injection process. It is called as TBM grouting.

3 BACKFILL GROUTING IN GAYRETTEPE – ISTANBUL AIRPORT METRO LINE

Within the scope of this study, the grouting work carried out during the progress of the TBM S-1082, which excavated on the Gayrettepe- New Airport route, between 24 December 2018 and 24 January 2019 was examined. Between December 2018 and January 2019, TBM excavated at 800 meters between approximately 24,000- 24,800 kilometers. According to the drilling reports

obtained, the Danişmen Formation passes through the Ağaçlı Member (Tda 2 – 1) between the specified kilometers. Formation characteristics vary, and TBM excavated both in the rock and in the ground.

4 CONCLUSIONS

A detailed geological and geotechnical study is required for the route to be excavated in TBM tunnels. TBM is designed according to the results obtained from these studies, it is necessary to determine what kind of situation we will encounter during the excavation in the region, according to the geological and geotechnical reports, to stabilize the deformation in the region by minimizing, and to prevent underground and surface waters. Failure to carry out detailed feasibility studies may cause the TBM to pause during excavation and cause serious economic damage and a great loss of time. Taking precautionary measures against the geological disturbances that may be encountered along the TBM route prevents the damages to a large extent. Within the scope of this thesis, the grouting and formation during the excavation process, which took place at approximately 780 meters between 2272- 2771 rings (500 rings) for the TBM used in the Gayrettepe- 3rd Airport Subway Project, were examined. It has been observed that the formation changes in itself and the changes in the injection amount and pressure values of these changes on the region we studied. CPC numbered S – 1082 in December 2018; Danişmen formation (Tda1), Danişmen formation (Tda2-2) and Danişmen formation (Tda 2 – 1) have passed. Tda 2 – 1 formation, which dominates along the route, is Danişmen formation, Ağaçlı Member, and consists of artificial filling, hard clay – claystone/siltstone. Analysis was carried out for the Danişmen formation, which dominates the excavation route in December-January. The average mirror pressure value of this formation is indicated.

ACKNOWLEDGEMENTS

I thank to Dr. Hanifi Çopur, Dr. Deniz Tumaç, Dr Hakan Tunçdemir, Res. Asst. Özge Akyıldız, and entirely company individuals so much, assisting, helping, and supporting us as well as providing data generously. Special thanks to my close friends, Murat Inan, Aydın Can Özdemir, Enes Uçar, Ufuk Çalışkan and the companies' TBM manager, engineer, and supervisor; Ali Aslanbaş, Serdar Ercan, Suat Kızıl, respectively.

REFERENCES

Einstein, H., and Bobet, A. (1997). Mechanized tunnelling in squeezing rock–From basic thoughts to continuous tunnelling. Tunnels for people, ITA World Tunnel Congress '97, Vienna

Performance Analysis of Diamond Wire Cutting Machines Used In Reisoğlu Marble Quarry

Reisoğlu Mermer Ocağı Elmas Tel Keski Performans Analizi

M. Hancıoğlu, D.Tumaç
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ABSTRACT Natural stones are one of the oldest materials that can be used commercially after being extracted from nature. Throughout human history, it has been used in buildings and monuments due to its aesthetic value and durability. The natural stone sector, with its increasing popularity, has become one of the sectors that are important for both our country and world trade. One of the most important and most widely used production methods for natural stone companies is the diamond wire cutting method. The diamond wire cutting method is a preferred method due to its ease of use, low cost, and high cutting capacity. The cutting performance of diamond wire cutters is important for companies to work efficiently and continuously. In this thesis, the cutting performance analysis of diamond wire cutting machines in Reisoğlu Marble (Efesus Stone) is discussed.

ÖZET Doğal taşlar, doğadan çıkarıldıktan sonra ticari olarak kullanılabilen en eski malzemelerden biridir. Tarih boyunca güzel ve dayanıklı olmaları sebebiyle bina ve anıtlarda kullanılmıştır. Doğal taş sektörü, giderek popülerliğinin artmasıyla hem ülkemiz hem de dünya ticareti için önemli olan sektörler arasına girmiştir. Doğal taş firmaları için ise en önemli ve en çok kullanılan üretim yöntemlerinden biri elmas tel kesme yöntemidir. Elmas tel kesme yöntemi, kullanım kolaylığı, düşük maliyeti ve yüksek kesme kapasitesi nedeniyle tercih edilen bir yöntemdir. Elmas tel kesme performansı, şirketlerin verimli ve sürekli çalışması için önemlidir. Bu tezde Reisoğlu (Efesus Stone) Mermer'de bulunan elmas tel kesme makinelerinin kesim performans analizleri ele alınmaktadır.

1. INTRODUCTION

In this study, the side cutting, bottom cutting, and back cutting performances of the diamond wire cutting machines used in Reisoğlu Afyon White Quarry in Afyonkarahisar province were examined and data analysis was performed. The study was carried out in November, December 2020.

The mining industry, which has an important place in human and social life, has been one of the most effective factors in reaching the technology and welfare level of developed countries throughout history.

Turkey, which is one of the Mediterranean countries located in the Alpine Mountains belt and which is of great importance in terms of natural stone deposits, has an important place in the world in the natural stone sector.

Natural stones are produced in blocks in open pits. During production, diamond wire cutting machines and/or chain arm cutting machines are widely used for faster production.

2. NATURAL STONE

Natural stones have been used by people since the beginning of civilization. Stone has always been in its life until today, when humanity has existed, and it has preserved its existence in a way from hunter-gatherer societies to the space age. (Taşlıgil, N., & Şahin, G., 2016).

Rocks are divided into three main groups; magmatic, sedimentary, and metamorphic rocks.

2.1 Magmatic Origin Natural Stones

Magmatic rocks are formed by crystallization or cooling and solidification of magma. These rocks settle in different depths of the Earth's crust or show different characteristics as they are observed on earth as volcanoes(mta.gov.tr).

2.2 Metamorphic Origin Natural Stones

Metamorphism is the structural, textural and compositional change that rocks existing in nature have undergone by maintaining their solid-state as a result of being under the effect of 200-800 C degrees of heat and pressure conditions, unlike the temperature and pressure conditions they form. The new rock formed by this change is called metamorphic rock(mta.gov.tr).

2.3 Sedimentary Origin Natural Stones

All kinds of stones that have previously formed in the earth's crust as a result of physical abrasion and chemical decomposition are called sedimentary stones, which are transported by gravitational force, wind, wave, water and glaciers as a result of various processes after being stored in lakes, river basins and seas (mta.gov.tr).

3. NATURAL STONE POTENTIAL IN TURKEY AND THE WORLD

In this chapter, Turkey and the world's natural stone potential, reserves, production quantities year based on natural stone, information about imports and exports have been examined.

3.1 Reserves of Natural Stone in Turkey

The natural stone sector, which is one of the sub-branches of mining, is generally referred to as the "marble sector". Located in the Alpine zone with the richest marble deposits in the world, Turkey has a possible marble reserve of 5.1 billion m^3 -13.9 billion tons. This value corresponds to 33% of the total world reserves estimated to be 15 billion m3.

In the research conducted, it was determined that there are up to 650 types of marble in colors and textures in Turkey (T.C. Ticaret Bakanlığı, İhracat Genel Müdürlüğü Maden, Metal ve Orman Ürünleri Dairesi, (2018)).

4. PRODUCTION METHODS

The main methods of natural stone mining are classified according to; topographic condition, climate, economy, environment and production technique conditions.

Natural stone production methods are carried out in the form of open pit and underground. However, open pit productions are generally preferred.

4.1 Natural Stone Production Methods

Nowadays, diamond wire cutting is the most widely used and increasing method. With the development of technology, new production methods are also emerging. One of these production methods is arm cutters, also known as jet belts.

4.1.1 Chain saw cutting

Chain saw machines in mines are used in flat level mines, mountain mines and underground mines, and there are separate methods of use for each. An armed-chain cutting machine is used to obtain blocks with a smooth geometrical structure in marble and travertine quarries (Sariisik, Ali & Sariisik, Gencay. (2013).

Quarrying is done on benches. A chain cutting machine is mounted on the bench to cut the marble blocks in desired dimensions (Çelik, M. Y., Ersoy, M., Yeşilkaya, l., & Zehra, K. A. Y. I. 2017).

4.1.1 Diamond wire cutting

The diamond wire cutting method is a modern production method and block cutting technology that is used to cut natural stone blocks in natural stone areas and cut the blocks into transportable blocks with the help of diamond beads, steel wire, diamond wire cutting machine and auxiliary machinery and equipment.

Before starting to use the diamond wire cutting method, some variables affecting the production of natural stone and the efficiency of the machine should be considered. Constant factors according to the properties of the rock to be cut are; hardness, strength, water content, degree of alteration, discontinuities, mineralogical composition and texture.

Production with diamond wire cutting is briefly carried out in the following order; drilling of holes by drilling, cutting the main mass with a wire cutting machine, tipping the cut mass (with hydraulic jack), sizing the overturned mass with the counter machine, carrying the blocks to the stock area.

5. AFYONKARAHİSAR REİSOĞLU NATURAL STONE QUARRY AND PRODUCTION

Efesus Stone which is the brand of Reisoğlu Marble, located in İscehisar district of Afyonkarahisar province, is a company that has been providing service since 1943. Reisoğlu operates eight quarries. Reisoğlu is a company engaged in natural stone, travertine, marble, andesite, onyx, limestone basalt, quarrying, manufacturing, export, import and marketing. The production capacity of the quarries is 80.000 m³; 1,250,000 m² of products are produced annually from three different factories (efesus stone, 2021).

In the Afyon White Marble Quarry, the quarry is in benches and the bench height is 7 meters. There are 17 levels in the marble quarry. In the Afyon White Marble Quarry, 16 employees are working, excluding engineers and management.

6. FIELD STUDIES AND PERFORMANCE MEASUREMENTS

The field studies and performance measurements required for this study were carried out in the Afyon White Marble Quarry operated in İscehisar, Afyon by Efesus Stone Company. Mountain cutting processes with diamond wire cutting machines were observed in the field and performance calculations and analyzes were made.

6.1 Mountain Cutting with Diamond Wire Saw Cutting

In order to make mountain cutting with the diamond wire cutting method, firstly the dimensions of the mass to be cut were calculated. After the dimension calculation, the area of the surface to be cut is calculated and how much wire will be used has been determined. The time until the end of the cutting process gives the m^2 cut per hour by the machine. Various parameters have been taken into consideration while performing these operations. Some of them are; the length of the diamond wire, the number of beads passing through the diamond wire, the amount of current and voltage passing through the machine during the cutting. Factors that directly affect the cutting speed are the current value set by the operator, the sharpness and the diameter of the beads in the wire, and the number of beads in the wire.

All mountain cuts made in the quarry were carried out with the Kaptanlar ETK 60S diamond wire cutting machine, so the data required for cutting performance analysis were compiled according to this machine.

The measurements were carried out in the field during the day shift. The cutting operations were carried out on different

benches. Data of five side, five back and five bottom cuts were kept.

7. RESULTS

In mountain cutting calculations, cutting operations were observed on three different axes: side, back and bottom.

7.1 Performance Analysis

After the machines are installed, the cutting areas are calculated, the wire lengths to be run are calculated. The wires have started to be run on the machine. After the wire running was finished, the machines were run. The graphical representation of the performances of the side, back and bottom sections is given in Figure 1., Figure 2. and Figure 3.

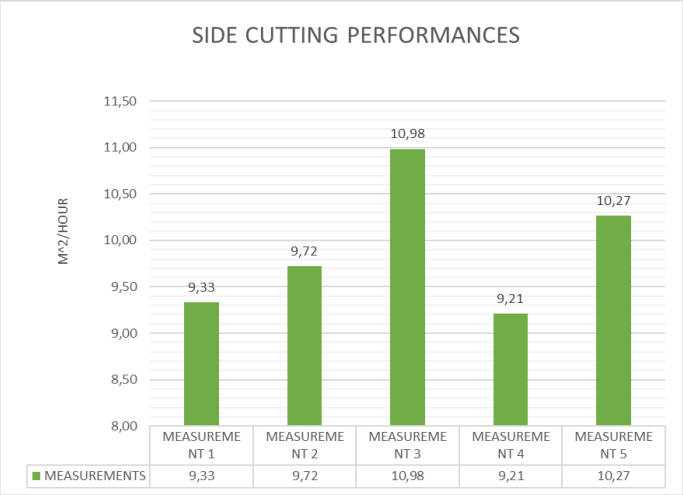


Figure 1. Side Cutting Performances

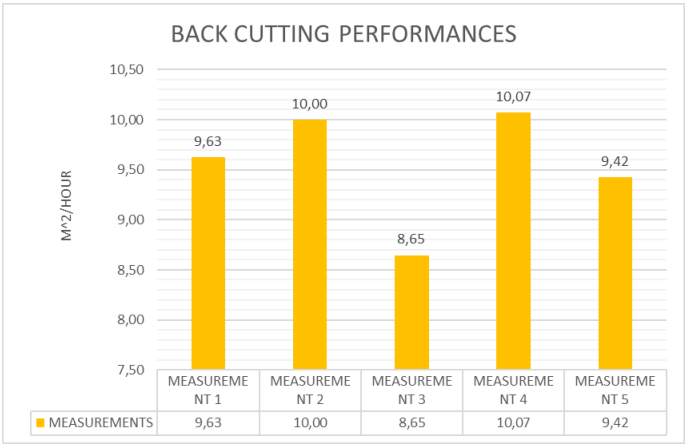


Figure 2. Back Cutting Performances

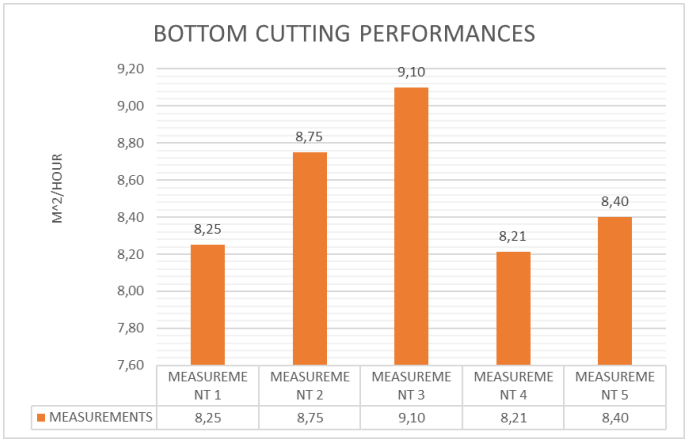


Figure 3. Bottom Cutting Performances

ACKNOWLEDGEMENT

First of all, I would like to thank my thesis advisor Prof. Dr. Deniz TUMAÇ. I would like to thank all the Efesus Stone staff. I also would like to thank all my beloved family, especially my mother and father. Finally, I would like to thank my friends who supported me and encouraged me in this process.

REFERENCES

T.C. Ticaret Bakanlığı, İhracat Genel Müdürlüğü Maden, Metal ve Orman Ürünleri Dairesi, (2018). Doğal taşlar sektör raporu. *Erişim Tarihi*, *30*, 2018.

MTA (2020), Maden Tetkik Arama Genel Müd., http://www.mta.gov.tr

Sarıışık, A., & Sarıışık, G. (2013). Investigation of the cutting performance of the natural stone block production in quarries with armed-chain cutting machine. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 227(6), 1291-1301.

Taşligil, N., & Şahin, G. (2016). Yapı Malzemesi Olarak Kullanılan Türkiye Doğal Taşlarının İktisadi Coğrafya Odağında Analizi.*Marmara Coğrafya Dergisi*, (33), 607-640.

Efficiency Analysis of Drilling Machines Used at Bigadiç Boron Facility of Eti Mine

Eti Maden İşletmeleri Bigadiç Bor İşletmesi'nde Kullanılan Delici Makinaların Verimlilik Analizi

B.A. Us, Ö. Acaroğlu Ergün, C. Erdoğan

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ABSTRACT In this study, general information about Simav Quarry of Bigadiç Boron Works is given. Within the scope of the study, the ongoing production activities of the Bor mine, which is one of the most important underground resources of our country and which is relatively abundant in terms of reserves, at ETI Maden İşletmeleri Bigadiç Boron Operation were examined. In this context, drilling and blasting operations, drilling machine features, oil and fuel consumption of drilling machines were evaluated. Detailed information is given about the drilling machines used and their performance. The effects of different feed forces applied on formations close to each other on the drilling speed and performance were observed in the drilling operations performed with the Atlas Copco DM45 drilling machine, which is actively used in the enterprise, and the samples taken as a result of the applications were brought to the laboratory and some experiments and analyzes were carried out on the tools and equipment and samples found here. Rock chip samples taken as a result of applications with different pressure of feed force (40 bar, 50 bar, 60 bar) were first baked and dried in the laboratory due to the moisture they contained and optimized for sieve analysis. The sieve array consisting of different sieve openings was prepared and sifted respectively. Sieve analysis curves were created according to these results. Sieve analyses parameters in each pressure of feed force were compared to drilling speed and it has been tried to find optimum drilling values.

Keywords: Boron, Drilling Speed, Feed Force

ÖZET Bu çalışmada Bigadiç Bor İşletmelerinin Simav Ocağı ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Ülkemizin en önemli yer altı kaynaklarından biri olan ve rezerv bakımından oldukça fazla olan Bor madeninin Çalışma kapsamında ETİ Maden İşletmeleri Bigadiç Bor İşletmesi'nde halihazırda devam eden üretim faaliyetleri incelenmiştir. Bu bağlamda gerçekleştirilen delme ve patlatma işlemleri, delici makine özellikleriyle birlikte delici makine yağ ve yakıt sarfiyatı, değerlendirilmiştir. Kullanılan delici makinalar ve bunların performansları hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. İşletmede aktif olarak kullanılan Atlas Copco DM45 delici makinası ile yapılan delme işlemlerinde birbirine yakın formasyonlar üzerinde uygulanan farklı baskı kuvveti basınçraının delme hızına ve performansına olan etkileri gözlenmiş ve uygulamalar sonucunda alınan numuneler Laboratuvara getirilerek burada bulunan araç ve gereçler ile numuneler üzerinde bir takım deneyler ve analizler yapılmıştır. Farklı baskı kuvveti basınçlarıyla (40 bar, 50 bar, 60 bar) yapılmış olan uygulamalar sonucunda alınan kayaç parçacıkları önce laboratuvarda içerdiği nem sebebiyle fırınlanmış, kurutulmuştur. Elek analizi için uygun hale getirilmiştir. Farklı elek açıklıklarından oluşan elek dizisi sırasıyla hazırlanmış ve eleme işlemi yapılmıştır. Bu işlemler sonucu elek eğrileri çizilmiştir. Elde edilen elek analizi parametreleri ile uygulanan baskı kuvveti basınçları ve delme hızları karşılaştırılarak optimum değerler bulunmaya çalışılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Bor, Delme Hızı, Baskı Kuvveti

1 INTRODUCTION

Boron is not found in nature in free form, and it is known that there are approximately 230 types of boron minerals in nature. The different properties of the compounds made with various metal and nonmetal elements allow many boron compounds in the industry. Boron constitutes the majority of world reserves in our country and has strategic importance.

Boron minerals have many uses, some are agriculture, cleaning, metallurgy, ceramics, wood protection, glass, insulation, health energy. For example, boron minerals are used to increase agriculture productivity, prevent the formation of bacteria and fungi in cleaning, slag in metallurgy, provide durability in ceramics, provide longevity in wood protection, and provide longevity in wood protection to resist chemicals in the glass industry. (Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü, 2018)

1.1 General Informations about the Operations

Eti Maden, which belongs to the Republic of Turkey, was established in 1935 under the name of Etibank. In 1998, it was named as Eti Holding A.Ş after. In 2004, it was restructured as the 'Bigadiç Boron Operations Directorate' under the 'Eti Maden Operations General Directorate.'

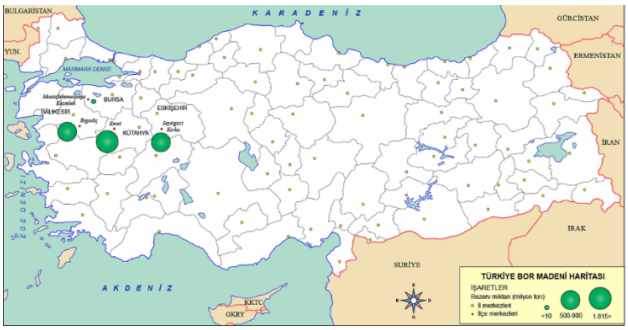


Figure 1. 1. Boron Mining Projects of ETI Mining Operations.

Eti Maden, which has more than 70% of the world's reserves, extracts boron minerals at its Emet, Bigadiç, Kırka and Kestelek facilities (Figure 1.1.) and markets them as ground and enriched.

2 DRILLING OPERATIONS

In order to carry out blasting activities in mines, it is of great importance that the holes where the explosives will be placed are opened and adequately opened. Drilling and blasting operations are carried out considering the hardness of the rock or ore ground excavation to carry out the work quickly, as the machines operating in these works may cause significant economic damage if direct excavation cannot be carried out. Blasting is a widely used method in underground and open-pit mines during production, development, and progress.

One of the most critical stages of open-pit mining is the preparation of the explosion site. The success of blasting depends on proper borehole models and correct explosive loading techniques (Jimeno L.C., 1995, Drilling and Blasting of Rocks)

2.1 Drilling Activities at Eti Mining Simav Open-pit Mine

Eti Mining Simav Openpit Mine production is made in 10 meters bench. Therefore, the blasthole is 10 meters long (10,50 meters with sub drilling) and drilled vertically. Hole drilling pattern vary depending on the type of blasting operation and rock structure. The technical specifications of drilling machine is listed in the Table 2.1.

Table 2.1. Atlas Copco DM45 Technical Specifications

Drilling method	Rotary and DTH
Hole diameter	149 - 229 mm
Hydraulic pulldown	200 kN
Weight on bit	20.400 kg
Hydraulic pullback	98 kN
Single pass depth	10,66 m
Maximum hole depth	53,3 m
Feed speed	44,5 m/min
Retract speed	62,5 m/min
Torque	0 –9.762 Nm
Estimated weight	35 – 43 tones

3 FIELD AND LABORATORY WORKS

3.1 Field Studies

In this study, during the drillings operations for the shots to be made, holes were drilled with three different feed force pressure values such as 40, 50 and 60 bar for each shot zone while other parameters were keeping constant by the drilling operator. During each three different feed force pressure drilling applications, drilling speed of some holes were measured to define the drilling performance of the machine (Figure 3.1.)

After shooting these holes, rock chip samples were taken from two holes for each feed pressure levels for using them in the sieve analysis. Each powder sample was about 5-7 kilograms and were taken by applying the cone-quadruple method, within the approval of the operation directorate.

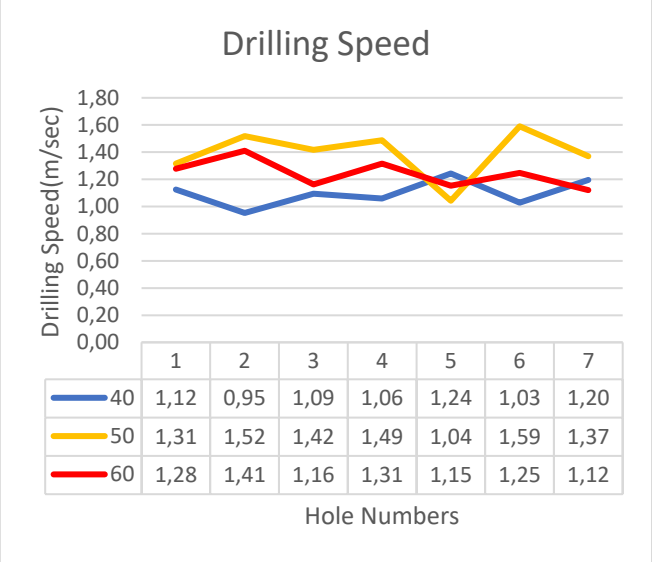


Figure 3. 1. Drilling Speed

3.2 Laboratory Studies

3.2.1 Sieve Analysis

Six different samples were placed in separate trays due to the moisture they contain and given to the oven, and after waiting for a few hours, they were taken and made ready for the sieve analysis experiment (Table 3.1). Then, the sieves were selected according to the sieve openings and positioned one on top of the other, and the sieving process started to be added to the top sieve with the help of a hand shovel after the first sample was weighed. The purpose of feeding the material slowly is to provide better separation and prevent tears in the sieves. Results are illustrated in Figure 3.2 and 3.3

Table 3.1 Sieve analysis D50 Values and Drilling Speed

Sample No	Pressure (bar)	D50 Values (mm)	Drilling Speed (m/min)
1	40	4,32	1,12
2	40	2,32	1,09
1	50	2,82	1,31
2	50	2,02	1,42
1	60	1,82	1,28
2	60	3,32	1,16

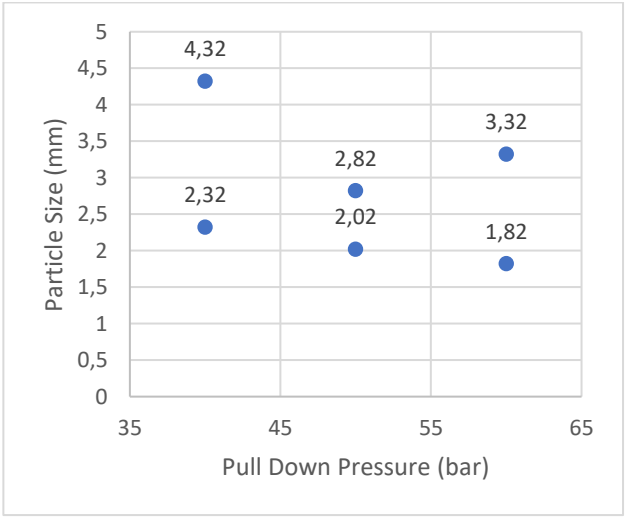


Figure 3. 2. Feed force pressure values and particle size comparison.

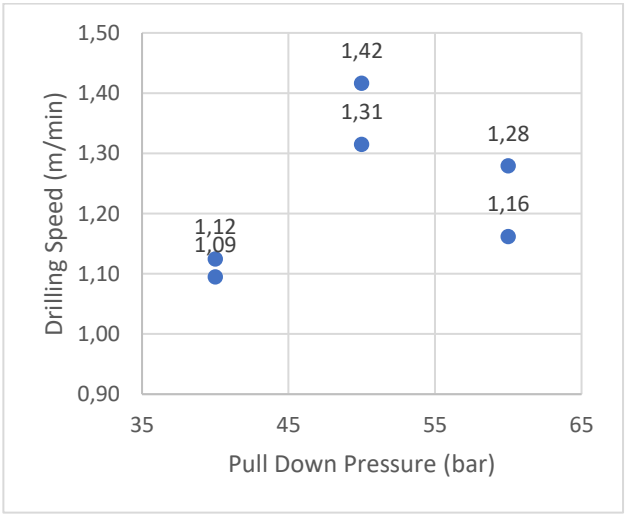


Figure 3. 3. Feed force pressure values and drilling speed comparison.

4 CONCLUSION

In this study, the change in the drill's performance was examined by changing the feed force pressure values applied to a drill in Simav Open-pit. For this purpose, drilling speed values were measured at each force pressure value, and then rock chip samples were taken. 40 bar, 50 bar and 60 bar were applied as feed force pressure values.

As a result of this study, 1.09 m/min and 1.12 m/min at 40 bars, 1.42 m/min and 1.31 m/min at 50 bars and at 60 bar, 1.28 m/min and 1.16 m/min were obtained. As seen from the result 50 bar has given the highest speed. It was also observed that the rod had to be withdrawn continuously due to clogging in the nozzle at 60 bars. Therefore, the drilling speed at 60 bars began to decrease. There was no such situation at 50 bars.

According to the results of the particle size analysis, it was observed that there is no consistency between the particle size parameters and the pressure values. Reducing the particle size parameters causes unnecessary energy consumption. It is expected that particle size parameters increased as drilling speed is increasing. In this study for each pressure level two different rock chip samples were collected and sieve analyses was made. Obtained result with these two samples gives inconsistency results for each level. This shows that more experiments have to make for consistency.

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to thank my advisor Assoc. Prof. Dr. Ömür ACAROĞLU ERGÜN, whom during the preparation process of my graduation project, shared his knowledge and experience, and always helped me. I would like to thank and all my teachers who have contributed to me. I would like to thank Bigadiç Boron Direction employees and especially to İhsan Uzun for their help and their assistance.

REFERENCES

Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü, 2018. Faaliyet Raporu, Balıkesir.

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2018. İşletme tanıtım 2018.

Jimengo, C.L., Jimengo, E.L., C, F.J.A, 1995. "Drilling and Blasting of Rocks", AABalkema, Rotterdam, Brookfield.

Tüprag Efemçukuru Madeninde Yeraltı Üretim Yönteminin Değerlendirilmesi

Evaluation of Underground Production Method in Tüprag Efemçukuru Mine

İ. Sarı, T. Hüdaverdi
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

ÖZET Bu bildirinin amacı Tüprag Efemçukuru Madeninde yeraltı üretim yönteminin incelenmesidir. İlk olarak çalışma sahasının jeolojik ve coğrafi özelliklerinden bahsedilmiştir. Yeraltı madeninde uygulanan üretim yöntemleri içinde dolgulu tavan ayak ve arakatlı kazı içinde uzun delgi ve kör delgi detaylıca incelenmiştir. Delme patlatma işlemleri içinde ayna ve arakat atımları anlatılmıştır. İşletmede kullanılan patlayıcı maddeler ve delme ekipmanları hakkında bilgiler verilmiştir. Yeraltındaki yükleme, nakliyat ve havalandırma anlatılmıştır. Son olarak kullanılan tahkimat elemanları ve işletmeye özgü tahkimat tasarımları açıklanmıştır.
Anahtar Kelimeler: Arakatlı Kazı, Uzun Deliklerle patlatma, Kör Delgi, Üretim yöntemleri

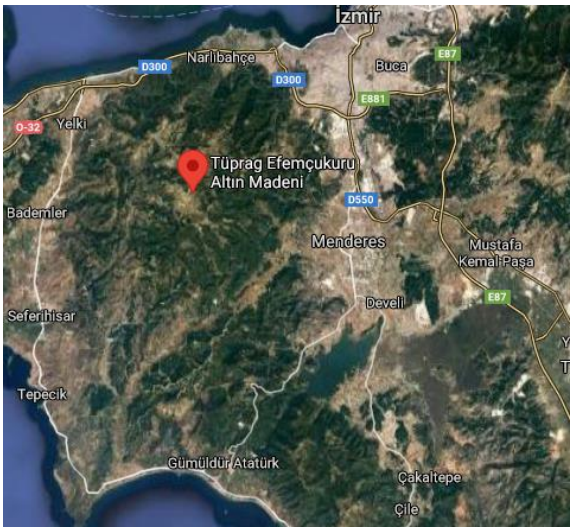
ABSTRACT The purpose of this paper is to investigate the underground production method in the Tüprag Efemçukuru Mine. Firstly, geological and geographical features of the study area were examined. The cut and fill method applied in the mine and the blind hole and long hole blasting were examined in detail. Drilling and blasting processes are explained. Information is given about the explosive materials and drilling equipment used in the mine. Underground loading, transportation and ventilation are described. Finally, the support systems and special support designs applied in the mine are explained.
Keywords: Sublevel stoping, Long Hole Stoping, Blind Hole Stoping, Production Method

1. GİRİŞ

Tüprag Efemçukuru Altın Madeni, İzmir ili, Menderes ilçesi sınırında, Efemçukuru köyü yakınlarında yer almaktadır ve 2011 yılı itibariyle de işletilmeye alınmıştır. Hali hazırda işletilmekte olan Efemçukuru Altın Madeni Faaliyet Alanı, Ege Bölgesi'nde, İzmir iline yaklaşık 20 km ve Menderes ilçesine ise 14 km mesafede yer almaktadır (Şekil 1).

Efemçukuru Altın Madeni 1992 yılında Tüprag Metal Madencilik tarafından yeniden keşfedilmiştir ve 1992-1993 yılları arasındaki keşif, lisans alma ve ilk araştırma çalışmalarını, 1993-1997 yılları arasındaki araştırma dönemi izlemiştir. Tüprag A.Ş. tarafından 1998-2005 yılları arasında gerçekleştirilen ÇED hazırlık çalışmalarının sonucunda, 2005 yılında ÇED olumlu belgesi alınmıştır. Firmanın, 2006-2007

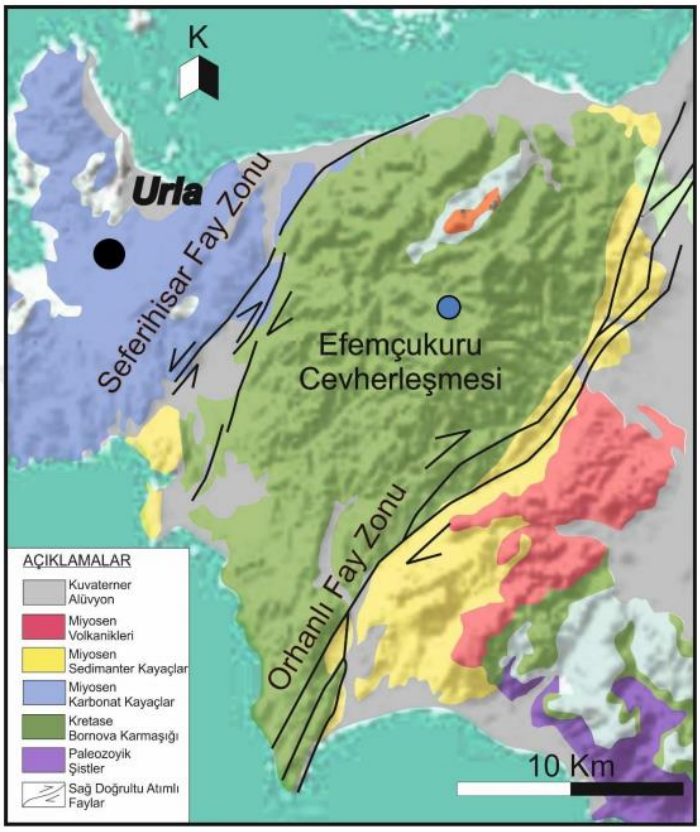
yılları arasındaki yoğun fizibilite ve araştırma sondaj çalışmalarını, 2008 yılında tüm izinlerin alınması ve inşaat faaliyetlerinin başlaması izlemiştir. 2011 yılında başlayan deneme üretimini takiben 2012 yılında üretim başlamıştır ve 2015 yılında kapasite artırımını ÇED olumlu belgesi alınmıştır. İşletilen damar ile yakın çevresinde, yeni keşif ve rezerv artırımını için araştırma çalışmaları halen devam etmektedir.



Şekil 1 Efemçukuru Madeni Uydu Fotoğrafı

Proje sahası az deformasyonlu, nispeten yüksek derecede metamorfize olmuş geç Kratese-Paleosen-yaşlı flişlerden oluşmuştur. Bu volkan sedimanter filiş birimi, daha sonra kalınlıkları 1-2 metre arasında değişen riyolit daykları tarafından kesilmişlerdir. Daha sonra da Kestane Beleni damar zonu olarak adlandırılan Efemçukuru cevherleşmesi de bu birim içine yerleşmiştir. Proje sahası civarında, dört ayrı ana birim (fillit, hornfels, riyolit, cevherli damar zonu) ayırt edilmektedir (Şekil 2)

Efemçukuru Altın Madeni İşletmesi kapsamında, çıkarılacak toplam cevherin, yapılan son rezerv geliştirme çalışmaları ışığında yaklaşık 8,5 milyon ton olması beklenmekle birlikte cevherin ortalama tenörü altın (Au) için ortalama 7,31 gr/ton olarak belirlenmiştir.



Şekil 2 Efemçukuru Madeni Jeoloji Haritası

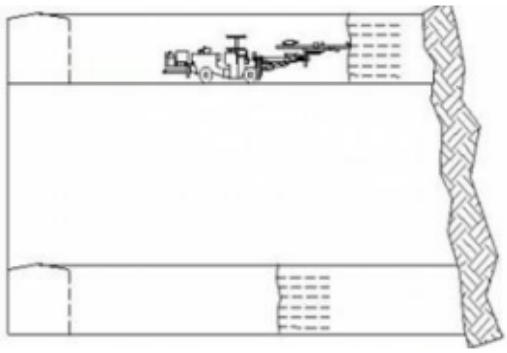
2. ÜRETİM YÖNTEMLERİ

İşletmede 2 farklı üretim yöntemi uygulanmakla birlikte bu yöntemlerden biri dolgulu tavan ayak yöntemi diğeri ise arakatlı kazı yöntemi içinde uzun delgi ve kör delgidir.

2.1 Dolgulu Tavan Ayak Yöntemi

İlerleme, atım başına 3,5-4 metre olacak şekilde ve planlanan kesit doğrultusunda yapılarak cevherin üretilmesi sonrasında ise üretilen panonun macun ile doldurulması şeklindedir. Bu yöntem cevher doğrultusuna paralel veya dik ilerlemeler ile uygulanmaktadır.

Galeri ve katlararası patlatma ile ana üretim gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde yatay dilimler halinde üretilen cevherin yerine işletmede Kuzey 656 Portalı yakınında bulunan macun dolgu tesisinden üretilen macun dolgu doldurulmaktadır.

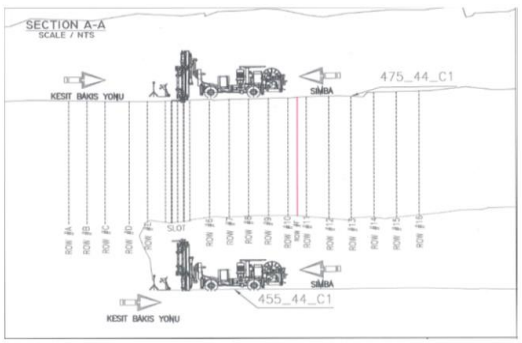


Şekil 3 Ayna İlerlemesi

2.2 Arakatlı Kazı Yöntemi

Bir katın üretimi için oluşturulan panolar uygulanmakta olan üretim sırasıyla üretilip cevher alındıktan sonra oluşacak boşluk bir tahkimat elemanı veya dolgu ile kalıcı olarak desteklenemeyeceğinden panolar bir cevher sınırından diğerine birbirini izleyecek şekilde üretilmektedir. Delme patlatma ile panoda cevher kazısı gerçekleştiği gibi cevher içinde belli aralıklarla oluşturulan arakat galerilerinden delinen uzun deliklerin patlatılması ile cevher kazısı gerçekleşmektedir.

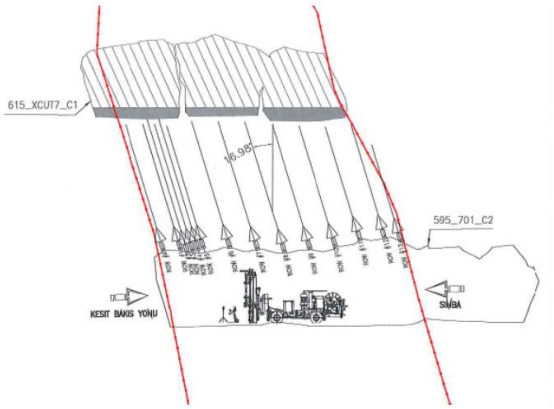
Üst üste olan iki galeri ile üretilen pano arasında kalan cevher diliminin üretimi uzun delgi yöntemidir. İki galeri arasında uzun delgiler ile arada kalan dilim patlatılarak alınır ve paneller ile belirtilen katlararası delgi çalışmasında, bir panel pasa–çimentolu pasa ve macun dolgu ile doldurulur. İşletmede 555 kotunda ve 595 kotunda (MOS) enine uzun delik yöntemi uygulanmaktadır.



Şekil 4 Katlararası Uzun Delgi Kesit Görünüm

Dolgulu tavan ayak yöntemi ile üretilmiş panonun üst veya alt kısmında kısa ya da uzun delgiler ile yapılan üretim şekli olmakla beraber üretimi tamamlanmış bir katın altında yapılacak üretimde tercih edilen bir yöntemdir.

Delikler 9-10 metre uzunluğunda olmakla birlikte işletmede uzun delgi ve kör delgi için kullanılan Simba1254 ekipmanı ile sürüş yapılacak olan yerlerin galeri genişliği en az 2,4 metre, delme operasyonu yapılacak yerlerde ise galeri genişliği 3,8 metre olmalıdır.



Şekil 5 Kör Delgi Kesit Görünüm

3 DELME PATLATMA İŞLEMLERİ

3.1 Ayna Ve Arakat Delme İşlemleri

İşletmede ayna delme işlemleri, cevher aynası ve pasa aynası olmak üzere 2 farklı şekilde yapılmaktadır. Cevher ve pasa aynalarında delikler 4 metre delinmektedir.

Cevher aynası üretim delikleri 51 mm'lik bitle delinirken, çürütme delikleri ise 102 mm bitle genişletilmektedir. Pasa aynası deliminde ise 48 mmlik, göbek deliklerinde ise 127 mmlik bitler kullanılmaktadır.

Arakat delme işleminde üretim delikleri 76 mm, çürütme delikleri ise 152 mm'dir.

3.2 Patlatma İşlemleri

İşletmede patlatma faaliyetleri vardiya sonlarında olmak üzere günde 3 defa yapılmaktadır. İşletmede kullanılan patlayıcılar şunlardır; Nonel Kapsül, Elektriksiz Kapsüller, Bulk Emülsiyon, Kapsüle Duyarlı Emülsiyon Patlayıcı, ANFO, İnfilaklı Fitil.

İşletmede kullanılan delme ekipmanları ise Atlas Copco Boomer 282 Jumbo, Epiroc S2 Boomer Jumbo, Atlas Copco Simba 1254, Epiroc Simba S7C'dir.

4 NAKLİYAT, HAVALANDIRMA VE TAHKİMAT

4.1 Yükleme Ve Nakliyat

Çeneli kırıcıdan geçen cevher, yine aynı kotta (555) ve 380 metre olan konveyör bant vasıtasıyla yerüstüne taşınır. İşletmede toplam 6 tane kamyon vardır ve bunlardan ikisi Sandvick TH30SX'tir. Diğer 4 araç ise Sandvick TH430'dur.

Nakliye ekipmanları ise şu şekildedir; Sandvick LH410(3 adet), Sandvick LH307(2 adet).

Çizelge 1 Sandvick TH430 özellikleri(4)

Boyut	10,3 x 2,7 x 2,7 m
Kapasite	30 ton
Çalışırkenki ağırlık	28,830 kg
Motor gücü	310 kW
Yükleme hızı	36,6 km/h

Şekil 6 Sandvick TH430 kamyon(4)

Çizelge 2 Sandvick LH410 özellikleri(4)

Boyut	10,1 x 2,7 x 2,4 m
Kova ağırlığı	4,0 - 5,4 metreküp
Çalışırkenki ağırlık	28.500 kg
Kapasite	10 ton

Şekil 7 Sandvick LH410(4)

Çizelge 3 Sandvick LH307'nin özellikleri(4)

Boyut	8,7 x 2,3 x 2,3 m
Kova ağırlığı	2,7 - 3,7 metreküp
Çalışırkenki ağırlık	18.020 kg
Hidrolik koparma-kaldırma	13.700 kg
Motor gücü	160 kW
Yükleme hızı	24.7 km/s
Kapasite	6.7 ton

Şekil 8 Sandvick LH307(4)

4.2 Havalandırma

Yeraltında havalandırma vantüp, emici ve üfleyici fanlar ve kuyular ile sağlanır. Vantüpler galeri girişine/aynaya en az 20 metre, en fazla ise 40 metre uzaklıkta olmalıdırlar. Ocakta 273 m^3/sn hava geçirilmektedir. Yeraltındaki hava hızı en az 0,5m/sn, en fazla ise 8 m/sn olmak zorundadır.

4.3 Tahkimat

İşletmede yüzey tahkimatları adı altında püskürtme beton, çelik hasır, strap(kuşak)

kullanılmakla beraber sürtünmeli kaya saplaması yani split setler ve kaya saplaması adı altında rebar, halat tipi kaya saplaması yani Cable Bolt kullanılmaktadır.

İşletmenin içinde beton santrali bulunmakla birlikte 1 metreküp için sabit değerler mevcuttur. Shotcrete ve taban beton olmak üzere 2 çeşittir. Shotcrete için bu değerler; Agrega 0,5 mm için 300 kg, Agrega 0,9 mm için 1350 kg, Çimento 450 kg, Su 210 lt, Akışkanlaştırıcı 1.5 lt, Dramiks 15 kg.

1 metreküp için değerler(Taban betonu için); Çimento 400 kg, Agrega 09 mm 1650 kg, Su 200 lt, Şerbet: Su (650 lt)+Çimento (935 kg) şeklindedir.

Yüzeysel genişlik ve uzunluk sunan hücre açıklıkları olan çelik yüzey tahkimatıdır. Tek başına çalışmadığı gibi kaya saplamaları kullanılarak püskürtme beton gibi görev yapabilir.

Yüzeysel, dar genişlikte ve daha çok uzunluk sunan hücre açıklıkları olan çelik yüzey tahkimatıdır. Hasırdan farkı ise kullanılan çelik tellerin çapı ve tipidir.

Patlatma sonrasında açıklığın tepki olarak gerilme zonu içerisinde kapanma isteğine karşı koymak için gerilme zonunun üzerine ulaşılabilecek uzunlukta içi boş olan kaya saplamasıdır.

Şekil 9 Split set

Şekil 10 Split set delgisi

İşletmeye özgü EFEM-A, EFEM-B, EFEM-C, EFEM-D, EFEM-E tahkimat tasarımları kullanılmaktadır.

Çizelge 4 İşletmeye özgü tahkimat tasarımları özellikleri

	Uygulandığı kaya tipi	Uygulanan püskürtme beton kalınlığı(cm)	Splitset aralıkları(m)
EFEM-A	Sağlam kaya	1.3	2.5
EFEM-B	Sağlam kaya çatlaklı	3.5	2
EFEM-C	Zayıf kaya sık çatlaklı	5.7	1.5
EFEM-D	Zayıf kaya killi oksitli	7.10	1
EFEM-E	Zayıf kaya killi oksitli	10 ve üstü	Splitset+hasır

5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bildiride Tüprag Efemçukuru Madeninde yeraltı üretim yöntemi incelenmesi yapılmıştır. Üretim yöntemleri detaylı açıklanmış sonrasında delme patlatma faaliyetleri hakkında bilgi verilmiştir. Son olarak işletmenin nakliyat, havalandırma ve tahkimatı detaylıca incelenmiştir.

KAYNAKÇA

https://www.tuprag.com.tr/efemcukuru-altin-madeni/

https://www.google.com.tr/maps/place/TüpragEfemçukuruAltınMadeni/

https://www.tuprag.com.tr/efemcukuru-altin-madeni/

https://www.rocktechnology.sandvik/en/products/underground-loaders-and-trucks/

Arakatlı Dolgulu Yöntemin Guleman Kef Bölgesi Kromit Ocağında İncelenmesi

Investigation of the Method with Sublevel Stopping Method in the Chromite Ore of Guleman, Kef

İ.E. Göbek, C.A. Öztürk, A. Gümüş
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği, İstanbul

E. K. Kısa
Yılmaden A.Ş., İstanbul

ÖZET Elâzığ, Guleman Kef bölgesi Kromit ocağında 1936'dan beri farklı yönetimlerle hem devlet hem de özel idareler tarafından kromit cevheri çıkartılma işlemi yapılmıştır. Yüksek karbonlu ferrokrom tesisleri 2.118.539 m2 alan üzerine ve Elazığ'a 55 km uzaklıkta inşa edilmiştir. 1976'da ferrokrom üretimine başladıktan sonra Etikrom A.Ş., faaliyetlerine 2004 yılında yapılan özelleştirmeye kadar devam etmiştir. 2004 yılında Etikrom A.Ş' nin yönetimi devlet özelleştirmesiyle Yıldırım Holding A.Ş. tarafından alınmıştır. Hem açık hem de yeraltı maden işletmeleri bulunan tesiste yeraltı üretim metodu olarak arakatlı-dolgulu kazı yöntemi ve kes-doldur yöntemi kullanılmaktadır. Tahkimat sistemleri olarak beton ve ahşap tahkimat kullanılmakta olup, tahkimat yardımcı elemanları olarak kaya saplamaları, çelik hasır sistemleri kullanılmaktadır.

ABSTRACT Since 1936, chromite ore extraction process has been carried out by both state and private administrations in the chromite mine in Elazig, Guleman Kef region. High carbon ferrochrome facilities are built on an area of 2,118,539 m2 and 55 km away from Elazig. After starting ferrochrome production in 1976, Etikrom C. continued its activities until the privatization carried out in 2004. In 2004, the management of Etikrom C. was privatized by the state and Yildirim holding received by. In the facility, which has both open and underground mining facilities, underground production method is used as sublevel stopping method and cut-fill method. Concrete and wooden support are used as support systems, rock bolts and steel mesh systems are used as support elements.
Keywords: Sublevel Stopping, Support, Chromite

1 GİRİŞ

1.1 Bölge Genel Jeolojisi

Avrupa, Asya ve Afrika kıtalarının arasında tektonik açıdan önemli bir konumda bulunan Türkiye söz konusu bu kıtaların birbiri ile olan hareketlerine bağlı olarak yoğun bir orojenik etkiye maruz bırakılmıştır Elazığ ili Guleman Bölgesi Kef Dağları üzerinde yataklanma göstermiş olup, 1936'dan beridir üzerinde çalışmalar yapılmakta ve kromit cevheri çıkarma işlemi sürmektedir. Elazığ ilinin 50 km güney doğusunda olup bölgede ofiyolitik kayaç grupları bulunmaktadır. Guleman yöresindeki kayaç birimleri geniş çerçevede incelendiğinde, başlıca Otokton, Neokton ve Allokton birimleri olmak üzere üç ana birimde incelenebilir. Yörede Otokton Birimleri Lice formasyonu temsil ederken, Allokton birimleri; Bitlis metamorfitleri, Guleman Grubu Caferi

Volkanitleri, Hazar Karmaşığı ve Maden Karmaşığı. Neokton birimleri ise Naceran kireçtaşları ve alüvyonlar temsil etmektedir.

Neotetis okyanusunun Kretase zamanından itibaren kapanmaya başlaması sonucunda bölgede sıkışmalı rejim etkisi ile birçok basen kapanmış ve okyanusal litosferin tüketilmesi ile kıta üstlerine ofiyolit yerleşmeleri gerçekleşmiştir. Anadolu'da gözlenen bu ofiyolitler günümüzde eski kıta sınırlarının belirlenmesi, tektonik ortamların ve jeolojik olayların yorumlanmasında büyük önem taşımaktadır

Guleman ofiyolitinde gözlenen gabroyik, dayk ve volkanik kayalara ait Winchester ve Floyd 1977 tarafından ortaya konulan SiO2' ye karşı Zr/TiO2 oranlarının karşılaştırılması ile elde edilen kaya sınıflaması kullanılmıştır.

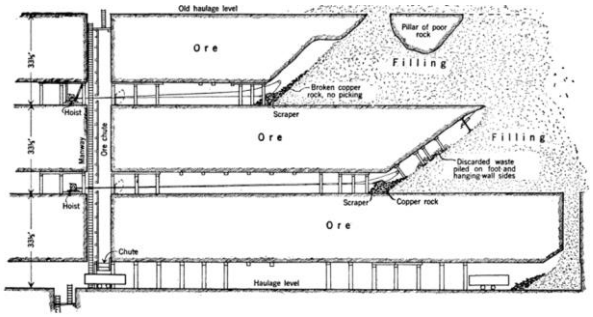
1938-2016 yılları arasında yapılan incelemeye göre yıllık yağış miktarı 410 mm. uzun yıllar ortalama sıcaklık değeri ise 13,10 oC'dir. Yağış değerleri yıllara göre değişiklik göstermekte olup bölgede suyu uzun süre tutabilecek dere ve derin vadiler gözlemlenmektedir. Bunların başlıcaları Bahro çayı, Tengilla çayı, Suphin çayı, Çaylarçatı deresi gibidir.

2 ÜRETİM YÖNTEMİ İNCELEMESİ

1055-1085 kotları arasında oluşturulan üretim panosunda madencilik faaliyetlerinin arakatlı dolgulu üretim yöntemi için araştırma yapılmıştır. Arakatlı dolgulu üretim metodu cevher kütlesinin şekline göre inşa edilen büyük üretim bacalarında ve patlama deliklerine göre cevher kütlesi birincil ve ikincik olarak bölünür daha sonrasında üretim katları arasında öncelikle birincil kısımlardan maden çıkarımı yapılırken, kes-doldur yönteminde bu işlem üretim panosunda açılan patlatma ile maden çıkarımı yapılmasıyla ve daha sonra üretim alanın dolgu malzemesi ile doldurulması ile yapılır.

2.1 Arakatlı Dolgulu Yöntemin İncelenmesi

Arakatlı dolgulu üretim metodunu kullanmak için ciddi bir hazırlık süreci ve maliyet gereklidir. Bu nedenle cevher tenörünün orta seviye ve üzerinde olması beklenir. Cevher kazanımında seyrelme meydana gelebilir ama üretim bacası noktasından geri kazanılabilir. Büyük ölçüde maden az patlayıcı maliyetliyle patlatılabilir. Yüksek çalışma hızı ve üretkenlik mevcuttur. %75-85 arası verim elde edilebilir. Başlangıç ve hazırlık maliyeti yüksektir erken safhalarda verim %35-45 arasındadır. Şekil 1. Champion Madeninde Arakatlı dolgulu yöntem tasvir edilmiştir.

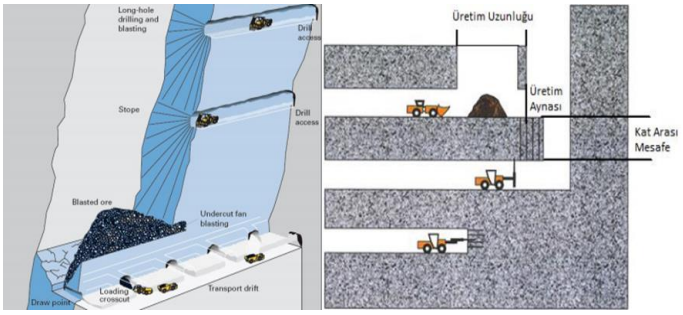


Şekil 1. Arakatlı dolgulu üretim yönteminin kes-doldur yöntemi ile birlikte kullanılması Champion Madeni, Michigan, ABD

Yöntemin başarı ile uygulanabilmesi için taban taşı (foot wall) tavan taşı (hanging wall) ve cevherin jeolojik, jeoteknik özelliklerinin temel olarak alındığı sistemlere bağlıdır. Üretim baca yüksekliği, bir seferde üretim bacasından tek seferde yapılacak dolgusuz maksimum mesafenin ölçülmesi gibi hususlar yine özenle incelenmelidir.

Arakatlı dolgulu kazı yönteminde, eğimli sondajlar da yapılacak patlamalar üretim bacalarının kapasiteleri artırılması planlanmaktadır. Patlama yapılacak bacada patlama sonucu çıkartılacak malzeme de seyrelme oranının düşürülmesi ve bacadan elde edilecek üretiminin maksimum seviyede elde edilmesi istenmektedir. Üretim faliyetlerinde Guleman Kef kromit ocağında olduğu gibi üretimin öncelikle primer kısımlarda başlaması ve bitirilmesi daha sonra dolgu malzemesinin doldurulması

ardından ise ikincil üretim bacasında devam etmesi şeklinde olacaktır. Bu sistematik çalışma 1055-1085 kotunda uygulamaya koyulmuş ve üretimin önemli bir kısmı tamamlanmıştır. Bu üretim yönteminde üretim sırasının önemi oldukça büyüktür. Üretim sıralaması deformasyonlara ve gerilmelere karşı dayanımın artırılması için detaylı şekilde planlanmalıdır. Üretim galerinin orta kısımlarından başlayarak kenarlara doğru yapılmalıdır ancak herhangi bir deformasyonun bulunması sonucunda üretim sıralaması tekrardan planlanabilir.
Kemi Kromit Ocağı,Finlandiya'daki Arakatlı dolgulu üretim yönteminin uygulamasının temsili gösterimi Şekil 2.'de verilmiştir



Şekil 2. Arakatlı dolgulu üretim yönteminin uygulamasının temsili gösterimi

3 JEOTEKNİK UYGULAMALAR VE TAHKİMAT ELEMANLARI

Yeraltı madenciliğinde üretim, nakliyat, havalandırma ve benzeri amaçlarla sürülen galerilerin hizmet süresi boyunca duraylılığının sağlanması jeolojik ve jeoteknik açıdan yeterli olması ile ilgilidir. Galerilerde görülen başlıca duraysızlıklara değinilirse; yüksek ikincil gerilmeler nedeniyle tabakaların sıkışması veya ortamda suya hassas kayaçlarda görülen şişme sonucu oluşan deformasyonlar, süreksizliklerle sınırlanmış kaya bloklarının yerçekimi etkisiyle açıklık içine hareketi (göçme) ve blok hareketleriyle başlayan ve giderek tabaka içlerine doğru genişleyen gevşeme bölgesinin oluşturduğu aşırı yükler ve bu yüklerin tahkimat kapasitesini aşması sonucu oluşan galeri deformasyonları başlıca duraysızlıkları oluşturur. Galeri açma işlerinin en önemli ve öncelikli konusu, planda kesitte ve mümkün olduğunca çevre kayaya en az hasar vererek kazı yapmaktır. Galeri açma işlemleri hassas yapılması gerekilen bir işlemdir.

3.1 Galerilerde Tahkimat Sistemleri

Madencilik faaliyetlerinin sürdürülebilir olması için çalışma yapılacak alanın güvenliği elzemdir. Bu noktada tahkimat sistemleri yeraltı madencilik faaliyetleri açısından temel taşlardan biridir. Tahkimat sistemleri farklı üretim yöntemlerine, sermayeye, alanın jeoteknik özelliklerine göre farklılık gösterir. Etikrom A.Ş. Kef Bölgesi yeraltı Kromit ocağında sürülen galerilerde ölçülen Q ve RMR değerlerine göre farklı pano ve desandrilerde ahşap, beton tahkimat ve yardımcı tahkimat elemanları kullanılmıştır. Etikrom A.Ş. Guleman Kromit ocaklarında eğik kuyularda (desandri) ve rampa, cep gibi kısımlarda 5x5 m galeriler sürülmüş olup kat (üretim) galerilerinde ve kılavuz galerilerde 3x3 m olarak sürülmüştür

Ahşap tahkimat ağaç tahkimat olarak da bilinen ahşap parçalardan oluşturulmuş bir kasa, yatay olarak konulan bir boyunduruk ve bunu destekleyen iki dikmeden oluşmaktadır. Dikmeler yatayla 80^{o} bir açı ile yerleştirilmiştir. Boyunduruk ve dikmeler çinti (maden ocaklarında duvarların çökmesini önlemek maksadıyla kullanılan direk ve çatkıların birbirine sağlamca oturtulması için bunlara açılan çentikler) ile birbiri üzerine oturtulmaktadır.

Beton Tahkimat genel olarak kayaç yankayaç ilişikisinin kuvvetli yani duraylılığı yüksek galerilerde püskürtme beton ve tahkimat yardımcı elemanları kullanılarak üretilir.

Çeliğin ağaca göre daha yüksek dayanımlı olması ve çeşitli mekanizmalara (mafsal, iç-içe kayabilen teleskopik biçimler v.b.) uygun şekillendirilebilmesi ve uzun süre ağır yükler altında bozulmadan kullanılabilmesi

nedeniyle tercih edilen çelik tahkimat sistemlerinde çelik sürtünmeli veya hidrolik direkler, çelik sarma gibi kısımlardan oluşmaktadır.

Tahkimat elemanları beton ve beton kimyasalları, agrega, kaya saplamaları (mekanik ankrajlı, dolgulu yada kablolu, sürtünme ankrajlı, lamalı, kombinasyon) olarak sıralanabilir. Tahkimat elemanlarının temel amacı ana kütleden ayrılan kaya tabakalarını ana kütleye bağlamak, deformasyon eğilimi fazla olan zayıf tabakaları daha sağlam tabakalara bağlayarak birlikte çalışmalarını sağlamak ve tavantaşında meydana gelecek çekme ve kesme gerilmelerini azaltmak olarak sınıflandırılabilir

4 SONUÇLAR

Bu tezde Elazığ ili Guleman Kef Dağı bölgesi Etikrom A.Ş.'nin işletmekte bulunduğu yeraltı kromit ocağının jeolojik, hidrojeolojik, jeoteknik, işletme modeli olan arakatlı dolgulu kazı yöntemini, kullanılan tahkimat sistemlerini ve tahmikat yardımcı elemanlarını incelenmesi verilmiştir. Aynı zamanda diğer üretim yöntemleri, tahkimatlar ve tahkimata yardımcı elemanlar detaylı olarak aktarılmıştır. Kef bölgesinde bulunan yeraltı ocaklarında arakatlı dolgulu ve kes doldur olarak isimlendirilen üretim sistemi kullanılmaktadır. Yeraltı maden işletmelerinde duraylılığı sağlanması için tahkimat sistemleri kurulmuştur. Bu sistemler dataylı olarak incelenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasında başta tez danışmanım, kişisel öğrenci danışmanım ve Erasmus danışmanım **Doç. Dr. Cüneyt Atilla ÖZTÜRK** olmak üzere; çalışmam boyunca belirli bilgileri benimle paylaşan **Yılmaden A.Ş**. maden planlama bölümü mühendislerine ve son olarak bugüne kadar eğitim sürecime destek veren tüm hocalarıma sonsuz teşekkürlerim sunulmaktadır.

KAYNAKLAR

Çakır, Ü., 1994. "*Türkiye Jeolojoji Bülteni"*, Cilt. 27, Sayı 2, s.15-19.

Öztürk, C.A., 2018. "Arakatlı Dolgulu Üretim Yönteminin Kaya Mekaniği ve Jeoteknik İlkelerine Göre Değerlendirilmesi", *İTÜ Rapor*.

Etibakır A.Ş. Murgul İşletmesi Açık Ocak Ekonomiklik Etüdü

Economic Study of Etibakır A.Ş. Murgul Enterprise Open Pit

M. U. Kavcı
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu projede Etibakır A.Ş. Murgul İşletmesi'nin ekonomik etüdü yapılmıştır. İlk olarak Türkiye'deki bakır üretimi hakkında genel bir bilgi verilmiş ardından Etibakır A.Ş ve Murgul İşletmelerinin tanıtımı yapılmıştır. İkinci bölümde ekonomik değerlendirme kriterlerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde açık ocak işletmeciliği hakkında genel bilgilere ve temel kavramlara değinilmiştir. Dördüncü bölümde Murgul İşletmesi'nin ekonomik etüdü yapılmış, son olarak sonuçlar ortaya konarak buna bağlı değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: açık ocak, maliyet, analiz

ABSTRACT In this project, an economic study about Etibakır A.Ş. Murgul İşletmeleri has been made. First, given a general knowledge about the production of copper in Turkey then the introduction of Etibakır A.Ş. and Murgul İşletmeleri are made. In the second part, economic evaluation criteria are mentioned. In the third chapter, general information and basic concepts about open pit mining are mentioned. In the fourth chapter, the economic study of the Murgul İşletmeleri has been made, and finally, the results are presented and evaluations are made accordingly.

Keywords: open pit, cost, analysis

1 GİRİŞ

ICSG'ye göre Türkiye, dünya bakır cevheri(tüvenan) üretiminde 19.sırada yer almaktadır. Türkiye dünya bakır üretiminin yalnızca %0.4'lük kısmını gerçekleştirmektedir. Ülkemizde birçok ruhsatlı şirket, farklı bakır cevheri tipleri için üretim gerçekleştirmektedir.

Ülkemizin bakır üretiminde en büyük pay sahibi Eti Bakır A.Ş.'dir. Bu projede Eti Bakır A.Ş. Murgul İşletmesi, ekonomik etüdü yapılacaktır.

.

2 YATIRIM PROJELERİNİN EKONOMİK DEĞERLENDİRİLMESİ KRİTERLERİ

Bir işletmenin, diğer işletmelerle rekabet edebilmesi ve karlılıkta sürdürülebilirliği sağlaması için marka faaliyetleri kadar ekonomisini de iyi idare etmelidir. Bir işletmenin sürdürülebilir karlılığını sağlayan yalnızca ürün ve hizmet kalitesi değildir; kaynaklar doğru kullanılmalı, işletme giderleri kontrol altında tutulmalıdır. Doğru ve efektif bir finansman yönetimi için

harcamalar iki ayrı kategoride toplanmıştır. (URL-1)

2.1 Capital Expenditure(Capex)

Kısaca sermaye harcamaları olarak tanımlanabilir. Capex, genellikle bir şirket tarafından yeni projeler veya yatırımlar yapmak için kullanılır.

2.2 Operating Expense(Opex)

Kısaca işletme masrafları olarak tanımlanabilir. Normal ticari faaliyetlerle ortaya çıkar. Bazı işletme giderleri, çalışan maaşları, sigortalama, vergi, lisanslama giderleri olarak örneklendirilebilir.

2.3 Return of Investment(ROI)

ROI, bir yatırımın yıllık getirisini ifade eder. Yatırımın yıllık getirisinin, yatırım miktarına oranı, yıllık kazanç oranını belirtir.

2.4 Payback Period(PP)

PP yani geri ödeme süresi, yapılan yatırım sonucunda elde edilen yıllık gelirin, yatırım miktarını amorti etmesi için geçen süredir.

2.5 Net Present Value(NPV)

NPV, paranın geçmişteki veya gelecekteki değerinin bugünkü halinin hesaplanmasıdır.

NPV = FV / (1+i) n (2.1)

i= indirim oranı (sermaye maliyeti faizi) (ondalık halde) n=periyot

FV= gelecekte elde edilecek değeri (URL-3)

2.6 Internal Rate of Return(IRR)

IRR yani iç verim oranı, bir yatırım projesinin net bugünkü değerini sıfıra eşitleyen diğer bir deyişle nakit girişlerinin bugünkü değerini nakit çıkışlarının bugünkü değerine eşitleyen iskonto oranı olarak tanımlanır.(URL-4)

$$\sum_{t=0}^{T} \frac{CFt}{(1+IRR)^t}$$

T = Projenin ekonomik ömrü
CF = Projeden sağlanacak yıllık net nakit akımı
IRR = İç verim oranı

3 AÇIK OCAK İŞLETMECİLİĞİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Açık ocak madenciliği; yer altında bulunduğu saptanmış ya da mostra vermiş madenin ekonomik olarak, yer altına inilmeden üzerindeki örtü tabakasının kaldırılarak kazanılması işlemini anlatan madencilik yöntemidir.

3.1 Örtü Tabakası Kalınlığı ve Faydalı Mineral Miktarı Arasındaki Oran

Örtü tabakalarının kaldırılması istenen derinlik, faydalı mineralin bulunduğu derinlik ile doğru orantılı olarak artar. Belirli bir noktadan sonra kaldırılacak toprak maliyeti, sökülecek mineral maliyetine eşit olur. Bu noktaya azami ekonomik derinlik denir.(Saltoğlu, 1992.)

3.2 Jeolojik Kalınlık Oranı

Örtü tabakasının kalınlığı ile faydalı mineralin kalınlığı arasındaki orandır.

3.3 İşletme Kalınlık Oranı

Dekapaj kalınlığının, faydalı mineral kalınlığına oranıdır.

3.4 Üretim Kaybı

Cevherin yataklanma durumu ve/veya teçhizatın uygunsuzluğu nedeniyle oluşan toplam rezerve göre kayıplara, üretim kaybı denir.

3.5 Dekapaj Oranı

Kaldırılan örtü tabakası hacmininin, açığa çıkarılan mineral miktarına oranına dekapaj oranı denir. (Saltoğlu, 1992.)

3.6 Basamaklar

Bir şev sisteminde basamakların üst üste dizilmesiyle kayaçta basamaklar oluşur. (Saltoğlu, 1992.)
Kullanım amacına göre basamaklar:

- Basamak
- Ara basamak
- Berm olarak isimlendirilir.

3.7 Açık İşletmede Şev

Üretim ve kazılan toprağın dökümünden kaynaklanan, sahada veya saha dışında iki

yatay düzlem arasında meyilli yüzeyler ortaya çıkar. Bu meyilli yüzeylere şev denir.

3.8 Genel Eğim

Açık işletmedeki üst basamağın uç kenarı ile, alt basamağın dip kenarını birleştiren yatay doğrunun, yatay düzlemle yaptığı açının tanjantıdır. (Saltoğlu, 1992.)

3.9 Ekonomik Dekapaj Oranı

1 ton mineral üretmek için kaç metreküp toprak kaldırılmasının ekonomik olacağını ifade eden orana ekonomik dekapaj oranı denir.
a: 1 ton cevherin yer altı maliyeti
b: 1 ton cevherin açık işletme söküm maliyeti(dekapaj hariç) c:1 metreküp toprak/taşın dekapaj maliteti
k:dekapaj oranı olmak üzere

$$a=b+c.k$$

formülünden yatağın hangi tür işletime uygun olduğuna karar verilebilir. $k < (a-b)/c$ ise açık işletme ekonomik;
$k > (a-b)/c$ ise yer altı işletmeciliği ekonomiktir. (Saltoğlu, 1992.)

3.10 Azami Ekonomik Derinlik

Ekonomiklik oranına göre belirli bir derinlikte açık işletmenin maliyeti yer altı işletmeciliğinin maliyetine eşit olur. Bu maliyetlerin eşit olduğu derinlik azami ekonomik derinlik adını almaktadır.

4 AÇIK OCAK İŞLETMECİLİĞİNDE EKONOMİK ETÜDLER

Etibakır A.Ş. Murgul İşletmeleri'nde açık ocak işletmeciliği metodu uygulanmaktadır. Açık işletme yönteminde, dekapaj ve bakır üretimi olmak üzere 2 aşama bulunmaktadır. 3,5 milyon tonluk bir tüvenan bakır cevheri üretimi için 910.000 m3 örtü tabakası kaldırılmalıdır. Buna göre dekapaj oranı 0,28 m3/ton olarak hesaplanmıştır.

İşletme maliyetini, etüd ve proje giderleri, arazi giderleri, ekipman satın alımı(başlangıç yatırımı), tekerlek giderleri, yakıt giderleri, onarım giderleri ve personel giderleri oluşturmaktadır.

Ana yatırım giderleri hesaplanırken makinenin birim fiyatı alınan adet sayısıyla çarpılmıştır. Toplam ana yatırım gideri cevher için 12.301.588 Dolar; dekapaj için 4.100.900 Dolar olarak tespit edilmiştir. Cevher üretiminde ve dekapajda kullanılan makineler için ayrı ayrı hesaplanmış olup yıllık tekerlek tüketiminin, birim tekerlek fiyatlarıyla çarpımıyla bulunmuştur. İşletmedeki bir diğer gider kalemi de bakım ve onarım masraflarıdır. Bir ekipmanın yıllık bakım ve onarım masrafı, ekipmanın orijinal değerin %6'sı olacak şekilde öngörülerek hesaplanmıştır. İşletmenin yakıt giderleri makinelerin yıllık kullanım miktarlarının(saat cinsinden), saatlik yakıt tüketimleriyle ve yakıtın litre fiyatıyla çarpımı sonucunda elde edilmiştir. . Yıllık toplam personel gideri, bir görev için ödenen maaşın o görevde çalışan personel sayısıyla çarpımı sonucunda elde edilmiştir.

Etibakır A.Ş. Murgul İşletmeleri'nde yılda ortalama 3.500.000 ton tüvenan bakır üretimi ve bu üretim için 910.000 m3 dekapaj kaldırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Dekapaj operasyonu için harcanan miktarın, dekapaj miktarına oranlanmasıyla dekapaj birim maliyeti 3,49 Dolar/m3 olarak elde edilmiştir.

Bakır cevheri birim maliyet analizi 1 ton ve 1 m3 için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu maliyet analizi yapılırken her yıl için bir birim maliyet bulunmuş ve 18 yılın ortalaması alınarak işletmenin bakır cevheri birim maliyeti hesaplanmıştır. Birim maliyet hesabı yapılırken 1 m3 için toplam maliyet, toplam üretim hacmine; 1 ton için ton cinsinden toplam bakır üretimi miktarı toplam maliyete oranlanmıştır. Her bir yıl için bulunmuş olan birim cevher maliyetlerinin ortalaması alındığında 1 ton için birim maliyet 4,11 Dolar/Ton; 1 m3 için birim maliyet 6,38 Dolar/ m3 olarak tespit edilmiştir. Yıllara göre birim giderdeki değişme miktarı, düzenli üretim olarak hesaplandığından dolayı yalnızca toplam maliyetteki değişmelere bağlıdır.

5 SONUÇLAR

- Bu çalışmada Artvin'in Murgul ilçesinde yer alan Etibakır A.Ş. Murgul İşletmesi'nde açık ocak yöntemiyle üretim yapılmaktadır.
- İşletmede dekapaj kaldırma ve tüvenan bakır cevheri üretimi operasyonlarını etkileyen gider kalemleri tespit edilerek birim maliyet analizi yapılmıştır.

- İşletmenin ana yatırımı ve ek satın alımlar dışındaki gider kalemleri, etüd ve proje giderleri, arazi giderleri, tekerlek tüketim giderleri, bakım-onarım masrafları, yakıt giderleri ve personel giderleridir.
- Dekapaj kaldırma operasyonunda en düşük birim gider tekerlek tüketimine aitken en yüksek birim gider yakıt masraflarına aittir. Bu hesaplamalar yapılırken o gider kalemine ait masrafın, yapılan işe oranlanması prensibiyle hareket edilmiştir.
- İşletme ana yatırım masraflarını 3. yılın sonunda amorti etmiş ve karlılık sağlamaya başlamıştır.
- Hiçbir ara ürün ve tüvenan bakır cevherinin işlenmesi dikkate alınmaksızın 18 yıl sonunda elde edilecek net karın paranın günümüzdeki değeriyle 42.826.864,23 Dolar olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu projenin ortaya çıkmasına, gelişmesine ve tamamlanmasına katkıda bulunan, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan tez danışmanım Doç.Dr. Cüneyt Atilla Öztürk'e, bu süreçte desteklerini esirgemeyen kıymetli arkadaşlarıma ve aileme en içten saygı ve sevgilerimi sunar, teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Saltoğlu, S. 1992. Açık İşletmeler, s. 9-36.

Ünal,İ.H., Tuncel,S., Yücel, M.B.,Yoleri, B., Arslan,M., 2016. Türkiye ve Dünyada Maden s.15

URL 1 https://www.investopedia.com/terms/c/capitalexpenditure.asp

URL 2 https://efinancemanagement.com/financial-accounting/capital-expenditure

URL 3 https://www.gokii.net/2015/10/paranin-bugunku-degeri-npv/

URL 4 http://www.fizibilite.info/ic-karlilik-orani/

URL 5 http://www.tki.gov.tr/bilgi/komur/acik-ocak-madenciligi/233

Açık Ocak Patlatma Tasarımının, Ateşleme Düzeninin ve Parçalanmanın Değerlendirilmesi (Akdağlar Agrega Ocağı)

Investigation of the Open Pit Blast, Blast Design and Fragmentation Analyses (Akdağlar Aggregate quarry)

D. M. Sadıkoğlu, T. Hüdaverdi, Ö. Akyıldız
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu çalışmada öncelikle Akdağlar Madencilik şirketinin İstanbul Kemerburgaz'da bulunan agrega ocağı hakkında genel bilgiler verilmiştir. Çalışma sahasının coğrafi ve jeolojik özellikleri incelenmiştir. Delme işleminde kullanılan delici ekipman hakkında bilgiler verilip, delici ekipmanın performans analizi yapılmıştır. Delme maliyetleri hesaplanmıştır. Ocakta yapılan patlatmalarda kullanılan patlatma ekipmanları tanıtılmış ve bunların kullanım şekilleri görsel verilerle açıklanmıştır. Delik başına düşen patlayıcı miktarları, spesifik şarj oranı hesaplanıp, Olofsson'a, Bhandari'ye ve Morhard isimli araştırmacıların yaklaşımlarına göre karşılaştırma yapılmıştır. Sonrasında çevresel etkilerden ve alınacak önlemlerden genel olarak bahsedilmiştir. Atımın ateşleme şeması çizilmiştir. Yığından alınan fotoğraflar WipFrag programında analiz edilmiş, yığının parça boyut dağılımı tespit edilmiştir.

Son Anahtar Kelimeler: Patlatma, Patlayıcı, Parçalanma, WipFrag

ABSTRACT In this study, first of all, general information about the aggregate quarry of Akdağlar company in Istanbul Kemerburgaz is given. The geographical and geological features of the study area were examined. Information about the drilling equipment used in the drilling process was given and the performance analysis of the drilling equipment was made. Drilling costs have been calculated. Blasting equipment used in blasting at the quarry was introduced and their usage patterns were explained with visual data. Explosive amounts per hole, specific charge rate were calculated and compared according to Olofsson, Bhandari and Morhard's approachs Afterwards, the environmental effects and the precautions to be taken are mentioned in general. The firing diagram of the shot is drawn. The photos taken from the heap were analyzed in the WipFrag program, and the part size distribution of the heap was determined.
Keywords: Blasting, Explosive, Fragmentation, WipFrag

1 KEMERBURGAZ AKDAĞLAR AGREGA OCAĞI

Bu tez kapsamında çalışmamızın geçeceği şirket Akdağlar Madencilik A.Ş.'dir. Akdağlar madencilik kırma taş, çimento ve asfalt üretimi yapan, İstanbul ili Kemerburgaz mevkiği cendere yolu üzerinde yaklaşık 90 yıldır üretimini sürdüren bir şirkettir. Konumu gereğiyle üretilen malzeme İstanbul'da bir çok büyük projede kullanım açısından tercih edilmektedir. Delme ve patlatma metodu kullanılarak üretilen kumtaşı, saatte 1100 ton kapasiteli kırma ve eleme ünitelerinde işlenerek asfalt ve agregaya dönüştürülmektedir. Şirkette iki adet kırma eleme tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerin kapasitesi saatlik 500 ve 600 tondur. Bunlarla beraber 300 ton/saat kapasiteli kırma taş tesisi ve 300 ton/saat

kapasiteli doğal kum yıkama tesisi de bulunmaktadır. Yıllık agrega üretimi yaklaşık olarak 6.000.000 tondur. Tesis ayrıca 450 ton/saat kapasiteli plentmiks (PMT) üretimi de yapmaktadır. Tesis saatlik 7 ton sıcak zift üretimi de yapmaktadır. Aşağıdaki şekilde ocağın uydu görüntüsü verilmiştir. (Şekil 1)[1].

Şekil 1. Akdağlar Maden Sahasının Uydu Görüntüsü

2 DELME İŞLEMLERİ

Akdağlar Madencilik A.Ş. Taş ocağında Furukawa marka HCR 1200-EDII model makine kullanılmaktadır. Makine darbe kuvveti, dönme kuvveti, besleme kuvveti ve çift amortisör ile basıncı otomatik olarak kontrol ederek değişken zemin koşullarına uyum sağlamaktadır.

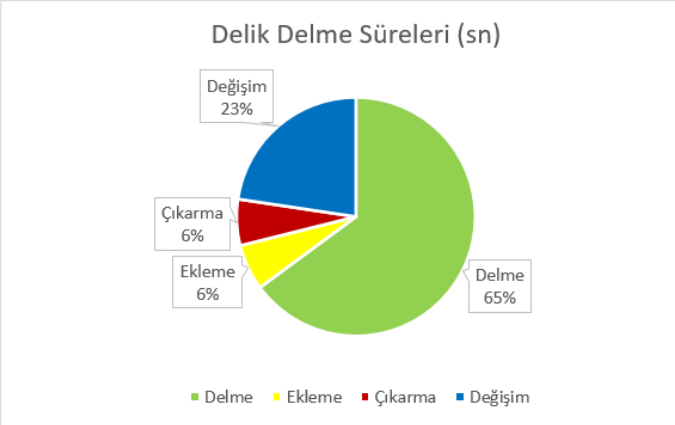
Akdağlar Madencilik A.Ş. taş ocağında uygulanan delme ve patlatma faaliyetleri incelenirken 2021 Şubat ayı içerisinde gerçekleşen üç adet atımın delme süreleri tutulup analizleri yapılmıştır. Aşağıdaki tabloda 1. Atım için kronometraj yöntemiyle tutulan süreler gösterilmektedir.

Tablo 1. 1. Atım Delme Süresi Analizi

Delik Sayısı	1. Tij Delme (sn)	Tij Ekleme (sn)	2. Tij Delme (sn)	Tij Ekleme (sn)	3. Tij Delme (sn)	Tij Çıkartma (sn)	Değişim (sn)	Toplam (sn)
1	88	27	90	33	110	25	120	**493**
2	122	31	111	25	80	30	95	**494**
3	100	25	88	32	125	20	80	**470**
4	123	25	117	25	80	25	110	**505**
5	100	20	87	32	85	32	112	**468**
6	128	33	110	25	98	30	110	**534**
7	113	29	127	29	115	27	101	**541**
8	98	28	87	32	89	33	-	**367**
Ort.	**109**	**27.25**	**102.125**	**29.125**	**97.75**	**27.75**	**104**	**484**

Tablo 1'e göre, ortalama delme süresi (109+102.125+97.75) / 3 'ten 1,71 dakikadır, ortalama tij ekleme süresi 28 saniyedir, ortalama toplam delme süresi, Atım 1 için 6 dakikadır. Makine kullanımı, net delme süresinin toplam delme süresine oranı olarak tanımlanır. Atım 1 için makine kullanımı %63.81 olarak hesaplanmıştır.

Delik delme süresi ortalama 7.9 dakikadır. Bir tij ekleme süresi ortalama 29 saniyedir. Üç delik için incelendiğinde makine kullanımı %64.21' dir. İncelenen tüm deliklerde 3 tij boyu (ortalama 10.5m) delik delinmiş ve optimum koşullarda çalışılmıştır. Delik delme işlemlerinde delinen deliklerin mesafeleri birbirine benzer şekildedir. Delme süreleri aşağıdaki şekilde görselleştirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2 Delik Delme Süreleri

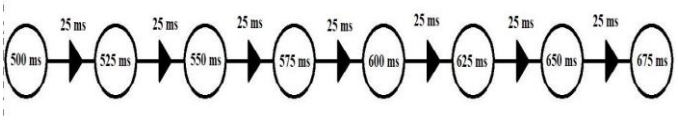
Verilerin değerlendirilmesi sonucunda metre başına delme maliyeti 3,2 TL bulunmuştur.

3 PATLATMA FAALİYETLERİ

Patlayıcı maddeler ısı, darbe veya sürtünme sonucu çok hızlı olarak kimyevi değişikliğe uğrayan ve yüksek derece sıcaklık, çok miktarda gaz ürünler meydana getiren ornaik veya inorganik bileşimlerdir. Tanımı daha da özelleştirirsek detonasyon tipi şiddet reaksiyonu gösteren maddelerdir. Bu tür maddelerde meydana gelen reaksiyonun ilerleme hızı ses hızından

yüksektir. Bu tip reaksiyon veren maddelere patlayıcı madde denir[2].

Aşağıdaki şekilde (Şekil 3) Akdağlar agrega ocağında incelenen 1. Atımın patlatma dizaynı gösterilmiştir.



Şekil 3. Atım 1 Patlatma Düzeni

Şekil 3' de gösterildiği üzere tek sıralı patlatma düzeninde 8 delikli bir patlatma yapılmıştır. Tüm delikler 3 tij uzunluğunda ve aynaya paralel olarak 85 derecelik açı ile delinmiştir. Çift yemlemeyele delik başına yaklaşık 40 kiloglam patlayıcı kullanılmıştır. Sıralı patlatma düzeni ile atım yapılmıştır. Üst görünümü delikler arası mesafesi 3,1 metre olup delik boyu 10.5 metredir dilim kalınlığı 2.5 metredir. Aşağıdaki şekilde aynanın patlama sonrası durumu görülmektedir. Delikler arası 25 ms gecikme kullanılmıştır.

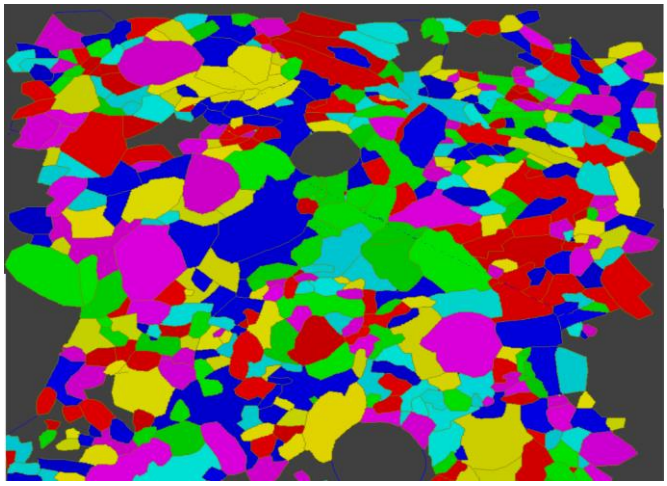
Tablo 2. 1. Atımın Teorik Hesaplarının Karşılaştırılması.

TANIMLAR		Olofsson	Bhandari	Morhard	Ölçülen
Delik çapı (mm)	**d**	89	89	89	89
Basamak yüksekliği (m)	**K**	10,5	10,5	10,5	10,5
Delik yükü (m)	**B**	3,233	2,986	2,67	2,5
Delikler arası mesafe (m)	**S**	4,04	3,59	3,78	3,1
Sıkılama (m)	**T**	3,233	3,285	2,67	3
Delik boyu (m)	**H**	11,6	11,40	11,4345	11
Dip delgi (m)	**U**	1,1	0,8958	0,9345	0,5
Şarj yüksekliği (m)	**Lc**	8,367	8,1108	8,7645	8

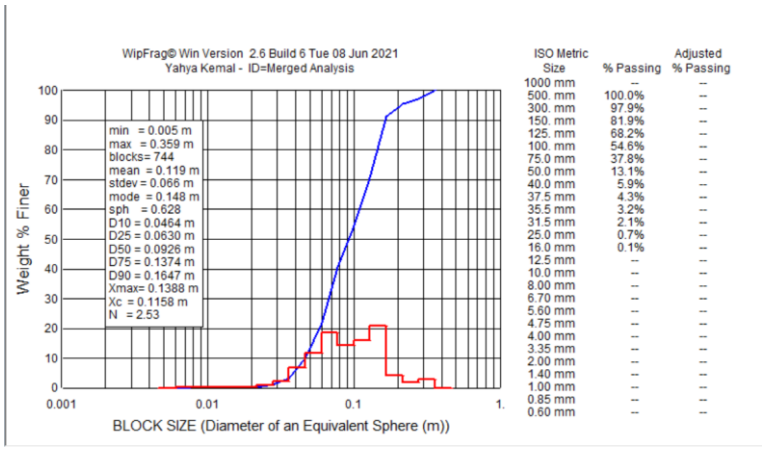
4 PARÇALANMA ETÜDÜ

Yığın parça boyut dağılımının görüntü işleme yoluyla analizi için Wipware Inc. tarafından geliştirilmiş WipFrag yazılımı kullanılmıştır. Üç atımın analizinde kullanılan ölçekli ham fotoğraflar, işlenmiş fotoğraflar ve WipFrag aracılığıyla elde edilmiş parça boyut dağılım eğrileri verilmiştir.

Şekil 4. Atımdan ölçekli çizimleri yapılmış fotoğraf



Şekil 5. Atımın WipFrag programı ile yapılan parça analizi sonucu



Şekil 6. Birinci atımın parça boyut dağılım eğrisi.

5 SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Akdağlar Agrega ocağında yapılan 3 atım incelenmiştir. İşletmede kullanılan patlayıcı maddeler,

patlatma ve ateşleme düzenleri açıklanmıştır. Literatürdeki Olofsson, Bhandari ve Morhard'ın yaklaşımlarından yararlanılarak delik yükü ve delikler arası mesafeler hesaplanmış olup, sahada uygulanan değerler ile kıyaslanmıştır. Delikler arası mesafe için hesaplanan teorik değerler 3,35-4,03 metre aralığındadır. Hesaplamalar sonucu sahada uygulanan değerlerin, teorik değerlerle çoğunlukla uyuştuğu sonucuna ulaşılmıştır.

Atım 1,2 ve 3 için özgül şarj miktarı Olofsson hesaplarına göre 0,43 – 0,44 – 0,42 kg/m^3 , Bhandari'ye göre 0,51 – 0,34 – 0,33 kg/m^3 , Morhard'a göre 0,59 – 0,4 – 0,39 kg/m^3 çıkmaktadır. Atım sonrası yığından alınan ölçekli fotoğrafların WipFrag yazılımına yüklenmesi ve parça sınırlarının çizilmesi işlemlerinden sonra her bir atım için parça boyut dağılım eğrileri elde edilmiş ve üç atımın sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen ortalama parça boyutu atımların sırasıyla 9,26 cm, 18,38 cm, 18,65 cm ölçülmüştür.

KAYNAKLAR

[1] http://www.akdaglar.com.tr/agrega

[2] **Nitromak A.Ş., 2012.** *Patlayıcı Maddeler ve Patlatma Teknikleri*, Ankara, Türkiye.

Akdağlar Madencilik Ayazağa Agregalarının Aşınma ve Parçalanma Dirençlerinin Belirlenmesi

Determination of Abrasion and Fragmentation Resistance of Akdağlar Ayazağa Quarry Aggregates

M. Eren, H. Tunçdemir, H.O. Dönmez
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelerin genel adı agregadır. Agrega, madencilik konusunda ülkemizde maden sektörünün %65'ini oluşturan önemli bir alandır. Yol ve inşaat çalışmalarında kullanılması dolayısıyla, agrega birçok kalite tayini testine tabii tutulmaktadır. Yapı sektöründe en önemli unsurlardan biri olan agregaların, aşınma ve parçalanma dirençlerinin tayini endüstriyel alanlarda oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu çalışma için gerçekleştirilen Los Angeles Deneyi malzemenin parçalanma direncinin, mikro-Deval Deneyi ise malzemenin aşınma direncinin tayini için yapılırken bunların yanı sıra Özgül Ağırlık Deneyi ile de incelenen malzemenin su emme kapasitesi, özgül ağırlığının tayini yapılarak incelenmiş ve ilgili standartlara göre kategorisi belirlenmiştir. Kullanılacak malzemenin dayanımları hakkında fikir sahibi olabilmek, yapısal ömürlerine dair çıkarımlarda bulunabilmek açısından bu deneylerin yapılması ve düzenli aralıklarla tekrarlanarak doğruluklarının teyit edilmesi gerekmektedir.
Anahtar Kelimeler: Agrega, Aşınma, Parçalanma

ABSTRACT Mixture of materials like sand, gravel, crushed stone, which are used in cement production is named by aggregates. Aggregate quarries itself stands a percentage of %65 in our country's mining industry. Since aggregates are used in road and construction works, they are subjected to many tests in order to determine their qualities. At this stage, one of the most important elements in the building industry, aggregates' abrasion resistance and fragmentation resistance plays an important role in industrial usage areas. Los Angeles Test and micro-Deval Test is performed by determining the material's fragmentation resistance and abrasion resistance, respectively. By means of Unit Volume Weight Testing, water absorption capacity and determination of its specific weight are covered. In order to have an idea about aggregates strength and to predict an estimate on its structural lifespan of anything containing these aggregates, it is important to complete these tests and repeat them regularly just to clarify their results.
Keywords: Aggregates, Abrasion, Fragmentation

1 GİRİŞ

Agrega, beton yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı madde yardımı ile bir araya getirilen, organik olmayan, kum, çakıl, kırmataş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş perlit ve kil gibi yapay ve taneli malzemedir. Toplam betonun ağırlıkça %80' inin agrega olduğu bilinmektedir. Asfalt üretiminde ise agrega, yüzey kaplamasında kullanılan malzemenin %90' dan fazlasını teşkil eder. Bundan dolayı yol yapım çalışmaları süresince agregalar hayati

rol oynar. Dolayısıyla agregaların mekanik özelliklerini belirlemek önemlidir.

Bu çalışmada Akdağlar Madencilik Ayazağa Tesisindeki taş ocağından alınan örnekler üzerinde Los Angeles parçalanma direnci ve mikro-Deval aşınma direnci testleri uygulanmış ve sonuçlar irdelenmiştir.

1.1 Arazinin Tanıtılması

Deneylerde kullanılan numuneler Şubat 2021'de ocağın çeşitli bölgelerinden gelen ve üretim tesisinde hazırlanan örnekler arasından 5-12 mm ve 12-20 mm boyut aralığına indirgendikten sonra deney yapılmak üzere alınmıştır. Bu örnekler Los Angeles, mikro-Deval ve Özgül Ağırlık deneylerine uygun olacak şekilde öncelikle uygun açıklıklara sahip elekler yardımıyla elenmiş ardından bu üç deneye tabii tutulmuştur. Taş ocağında üretilen malzeme kalker, jeolojik adıyla kireçtaşıdır ($CaCO_3$). Alınan numunelerin ve ocağın uydu görüntüsü Şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekil 1: Numunelerin alındığı bölgelerin ve kırıcı çıkış noktalarının uydu görüntüsü.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Los Angeles Deneyi

Kaba agrega numunelerinin döner bir tambur içerisinde demir bilyelerle birlikte 500 tur dönmesi sonucu aşınan numuneler, deney tamamlandıktan sonra 1,6 mm açıklığa sahip elekten geçirilip elek üstünde kalan malzeme tartılır ve Los Angeles Katsayısı hesaplanarak malzemenin parçalanma direnci tayin edilir (TS EN 1097-2, 2002). Yapılan deney sonucunda Los Angeles Katsayıları (LA) hesaplanmış ve Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1: Los Angeles Katsayısı hesapları

ÖN	DÖA	DSA	LAk	LAkort
P1 Set 1	5000	4263	14,74	14,24
P1 Set 2	5000	4313	13,74	
P2 Set 1	5000	4232	15,36	15,28
P2 Set 2	5000	4240	15,20	
P3 Set 1	5000	4137	17,26	17,84
P3 Set 2	5000	4079	18,42	

ÖN: Örnek numarası, DÖA: Deneyden Önceki Ağırlık (g), DSA: Deneyden Sonraki Ağırlık (g), LAk: Los Angeles Katsayısı, LAkort: Ortalama Los Angeles Katsayısı

Tamamlanan Los Angeles Deneyi sonrasında elde edilen katsayıların ortalamaları alınıp (Çizelge 1), daha sonrasında T.C. Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü'nün gerçekleştirdiği "Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri" (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013) kapsamında sınıflandırma sonuçları da Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2: LA Katsayısı kategorileri

DN	LAk	K
Set 1	14,74	LA15
Set 2	13,74	LA15
Set 3	15,36	LA20
Set 4	15,20	LA20
Set 5	17,26	LA20
Set 6	18,42	LA20

DN: Deney numarası, LAk: Los Angeles Katsayısı, K: Kategori

2.2 Mikro-Deval Deneyi

Boyut aralıkları +10 -14 mm arasında olan en az 2 kg ağırlığa sahip agrega numunelerinin yıkanıp etüvde kurutulduktan

sonra deney tamburuna konması ve akabinde tambur içerisine yerleştirilen demir bilyelerle birlikte dakikada 100 devir çevirerek toplam 12000 devir döngüsünü tamamladıktan sonra 1,6 mm açıklığa sahip elekten geçirilip elek üzerinde kalan malzeme tartılarak mikro-Deval Katsayısı hesaplanır (TS EN 1097-1, 2002).

Mikro-Deval testi, Los Angeles Deneyi ile çok benzerdir, ancak bu deney yüksek kalitedeki agregaları düşük kalitedeki agregalardan ayırma konusunda çok daha efektiftir. Bunun sebebi de mikro-Deval deneyindeki ortam koşullarının Los Angeles deneyine göre daha gerçekçi olması ve daha kısa bir sürede sonuç alınabilmesidir. (Gökalp, vd. 2016).

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen (yaş) mikro-Deval Deneyi sonrasında katsayılar hesaplanmış, bu katsayıların kendi grupları içerisinde ortalamaları alınmış ve Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3: Yaş MD Katsayısı hesapları

ÖN	DÖA	DSA	MDk	MDkort
P1 Set 1	5000	406	18,80	
P1 Set 2	5000	402	19,60	19,43
P1 Set 3	5000	400,5	19,90	
P2 Set 1	500	338	32,40	
P2 Set 2	500	344	31,20	31,10
P2 Set 3	500	351,5	29,70	
P3 Set 1	500	334	33,20	
P3 Set 2	500	342	31,60	32,40
P3 Set 3	500	338	32,40	

ÖN: Örnek numarası, DÖA: Deneyden Önceki Ağırlık (g), DSA: Deneyden Sonraki Ağırlık (g), MDk: Mikro-Deval Katsayısı, MDkort: Ortalama Mikro-Deval Katsayısı

Yaş olarak gerçekleştirilen mikro-Deval Deneyi sonrasında 1,6 mm açıklığa sahip elek üzerinde kalan deney malzemesinin ağırlıkları ölçülüp Mikro-Deval Katsayıları hesaplanıp kendi grupları içerisinde ortalamaları alındıktan sonra T.C. Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü'nün gerçekleştirdiği "Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri" kapsamında sınıflandırma sonuçları da Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 3: Yaş MD Katsayısı kategorileri

DN	MDk	K
Set 1	18,80	MD20
Set 2	19,60	MD20
Set 3	19,90	MD20
Set 4	32,40	MD35
Set 5	31,20	MD35
Set 6	29,70	MD35
Set 7	33,20	MD35
Set 8	31,60	MD35
Set 9	32,40	MD35

DN: Deney numarası, MDk: Mikro-Deval Katsayısı, K: Kategori

2.3 Özgül Ağırlık Deneyi

İncelenen agrega numunelerinin suya doygunluk oranı ve özgül ağırlıklarının ölçülmesi için gerçekleştirilen bu deneyde boyut aralığı 10 mm'nin altında kalan numunelerden her biri 2 kg olacak şekilde 2 ayrı örnek hazırlanmış daha sonrasında tel sepetlere 1 kg agrega numuneleri eklenip oda sıcaklığındaki su dolu kap içerisinde 24 saat bekletip sonrasında BS 812 Standardına uygun olacak şekilde ölçümler gerçekleştirilmiş ve bu ölçüm sonrası elde edilen ağırlıklar Çizelge 5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5: Özgül ağırlık deneyi uygulanan numunelerin ağırlık değerleri

ÖN	(A)	(B)	LAk	LAkort
P1	2059,06	1189,60	433,93	1952,5
P2	2021,27	1155,20	439,60	1901,0

ÖN: Örnek numarası, (A): Agrega Ağırlığı (g), (B): Agreganın Sudaki Ağırlığı (g), (C): Boş Sepetin Sudaki Ağırlığı (g), (D): Etüvde Kurutulan Agrega Ağırlığı (g)

Numuneler 24 saat su içerisinde bekletilip Çizelge 5'te gösterilen veriler elde edildikten sonra etüv içerisinde (105 ± 5 °C) 24 saat bekletilir ve sonrasında soğutulup tartılır. Tartma işlemi sonrasında her bir durum için malzemenin yoğunluğu ve su emme yüzdesi hesaplanır ve elde edilen sonuçların kendi

içerisinde ortalamaları alınarak tek bir sonuç değerine indirgenir (Çizelge 6).

Çizelge 6: Numunelerin yoğunluk ve su emme değerleri

ÖN	FKAY	SDHY	NY	SE
P1	1,498	1,580	1,631	5,458
P2	1,456	1,551	1,588	6,327
Ort.	1,477	1,565	1,610	5,892

ÖN: Örnek numarası, FKAY: Fırında kurutulmuş agreganın yoğunluğu (g/cm^3), SDHY: Suya doygun haldeki yoğunluğu (g/cm^3), NY: Net yoğunluğu (g/cm^3), SE: Su emme (%)

3 SONUÇLAR

Aşınma ve parçalanma dirençlerini incelemek amacıyla Akdağlar Madencilik A.Ş. – Ayazağa Agrega Ocağı sahasının 3 ayrı yerinden alınan örnekler üzerinde parçalanma direncini belirlemek için iki set halinde toplam 6 adet Los Angeles deneyi, 3 set halinde toplam 9 adet mikro-Deval deneyi ve iki parçaya bölünmek suretiyle de özgül ağırlık deneyi gerçekleştirilmiştir.

İlk noktadan alınan numunelerin (P1) istinaden LA15 kategorisinde, ikinci (P2) ve üçüncü (P3) noktadan alınan numunelerin ise LA20 kategorisinde bulunduğu belirlenmiştir. Gerçekleştirilen tüm Los Angeles deneyleri sonrası genel bir sonuç çıkarıldığında ortalama LA katsayısı LA20 olarak belirlenmiş ve bu özellikteki agregaların asfalt, beton, gabion duvar şeklinde, taş dolgu, tahkimat taşı, pere, kâgir yapıların inşasında, alt temel malzemesi olarak kullanıma uygun olduğu görülmüştür.

Aynı noktalardan alınan diğer numuneler üzerinde uygulanan Mikro-Deval testleri sonrasında ilk noktadan alınan numunelerin (P1) gerçekleştirilen yaş mikro-Deval Testi sonucu hesaplanan katsayılarına istinaden kategorileri MD20, ikinci (P2) ve üçüncü (P3) noktadan alınan numunelerin ise MD35 kategorisinde bulunduğu belirlenmiş ve toplam 9 adet gerçekleştirilen mikro-Deval deneyi sonrasında genel ortalama katsayı ise MD35 olarak belirlenmiştir. Bu özellikteki agregaların Los Angeles sonuçlarına göre kullanılabilecek biçimlerden sadece tahkimat taşı ve pere yapımına uygun olmadığı; kalan kullanım şekillerine uygun olduğu görülmüştür. İlk noktadan alınan numunelerin MD20 kategorisinde çıkması sonucu ortalama genel mikro-Deval katsayısının düşeceği belirlenmiştir. Bu bağlamda çeşitli kullanım seçeneklerinin kısıtlanmaması için gerçekleştirilen bu deneyler için daha fazla üretim bölgesinden numuneler alınıp deneyler tekrarlanabilir.

Deneylerin her malzeme veya gradasyon değişikliğinde ve ayrıca 6 ayda bir tekrarlanması sonuçların doğruluğu açısından yararlı olacaktır. Bunun yanı sıra bu çalışma kapsamında daha doğru sonuçlar elde edilebilmesi, kullanım şekillerinin arttırılabilmesi açısından daha fazla üretim bölgesinden numuneler alınıp deney sayıları arttırılabilir.

TEŞEKKÜR

Tez kapsamında yapılan deneyler sırasında yardımlarından dolayı Araş. Gör. Hüseyin Onur Dönmez'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Gökalp, İ., Uz, V. E., & Saltan, M. (2016). Testing the abrasion resistance of aggregates including by-products by using Micro Deval apparatus with different standard test methods. Construction and Building Materials, 123, 1-7.

Karayolları Genel Müdürlüğü. (2013). Karayolu Teknik Şartnamesi. Yücetepe, Ankara.

Ts En 1097-1, 2002. "Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 1: Aşınmaya Karşı Direncin Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Ts En 1097-2, 2002. "Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

BS EN 812-2, 1995. "Testing aggregates, Part 2: Methods of determination of density", London.

Gebze – Darıca Metro Tüneli Tahkimat İşlerinin İncelenmesi

Investigation into the support works in Gebze - Darıca Subway Tunnel

S.E. Simitci, H. Tunçdemir
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

ÖZET Bu çalışmada Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından, Darıca – Gebze arasındaki ulaşımı sağlamak amacıyla ihalesi EZE İnşaat A.Ş.'ne verilen, Gebze – Darıca Metro Hattı'nda Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) ile kazısı yapılan Mutlukent İstasyonu Tüneli'ndeki tahkimat sistemleri incelenmiştir. NATM'de kazı birbirini izleyen döngüler ile ilerler. Bu döngü sırasıyla kazı, çelik hasır imalatı, kafes iksa imalatı, püskürtme beton uygulaması, bulon imalatı ve süren imalatından oluşmaktadır. Çalışmada öncelikle çalışma sahası tanıtılmış, ortamın jeolojisi hakkında bilgi verilmiş daha sonra genel tünelcilik faaliyetleri ve kazı için kullanılan yöntemler ele alınmış, bu kapsamda da NATM'de kullanılan tahkimat sistemi detaylı olarak incelenmiştir. Sahada Şubat 2021 de yapılan staj çalışması ile beraber gerekli olan tahkimat iş zaman etüdünün planlaması da yapılmıştır; buna göre tahkimat için gerçekleştirilen her bir işlem için geçen süre kaydedilmiş, böylelikle her bir kazı döngüsü için sarf edilen ortalama tahkimat sürelerine ulaşılmıştır. İncelenen 15 döngüye göre tahkimat için harcanan ortalama süre %48, kazı ve pasa nakli için %27 ve pasa nakli için olarak belirlenmiştir.
Anahtar Kelimeler: Metro, Tahkimat, NATM

ABSTRACT In this study, The Gebze - Darıca Metro Line, which was awarded to EZE Insaat Incorporated by the Ministry of Transport and Infrastructure in order to provide access to the Darıca built in Gebze. The support system in tunnels connected to the Mutlukent Metro Station, which was excavated by NATM (New Austrian Tunneling Method), were investigated. In NATM, excavation proceeds in successive cycles. This cycle consists of excavation, steel mesh manufacturing, lattice shoring, shotcrete application, bolt manufacturing, and ongoing manufacturing, respectively. In the study, first of all, the study area was introduced, information was given about the geology of the environment, then the general tunneling activities and the methods used for excavation were discussed, in this context, the fortification system used in the NATM was examined in detail. The planning of the fortification work time analysis was also made. Accordingly, the time elapsed for each operation performed for the fortification was recorded, thus reaching the average fortification time for each excavation cycle. 15 different excavation cycles were observed between the dates specified in Mutlukent Station Line 1 Forwad Tunnel. It took the most time excavation and rust transplantation in one excavation cycle. The time spent for excavation and transfer of rust is 27% of the entire time. The time spent on the entire fortification forward is 48% of the entire time.
Keywords: Subway, Support, NATM.

1 GİRİŞ

Gebze – Darıca Metro Hattı'nın Mutlukent İstasyonunda tahkimat sistemleri incelenmiştir. Bu bağlamda 08.02.2020 – 19.02.2020 tarihleri arasında Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM) ile kazı ve tahkimatı yapılan Mutlukent İstasyonu Hat 1 ileri Tüneli'nde gözlemler yapılmıştır.

Öncelikle tünelin yapıldığı yer hakkında bilgi verilmiş, tünel jeolojik ortamından bahsedilmiş, tünelde yapılan staj sırasında bir döngüde tekrarlanan işler sırayla kazı, pasa nakli, çelik hasır imalatı, kafes iksa imalatı, püskürtme beton uygulaması, bulon ve süren imalatı olduğu tespit edilmiş ve bu sıralamayla devam eden 15 ayrı iş döngüsü iş – zaman etüdü yapılmıştır.

2 TÜNELCİLİK HAKKINDA GENEL BİLGİLER

NATM, tünel çevresinde bulunan zemin ve kaya ortamının, halka şeklinde olan destekleme yapısı bütünlüğü çerçevesince bir bütün olarak ele alındığı bir yöntemdir. Yöntemin temel mantığı iki unsurdan oluşmaktadır. Bu iki temel unsurundan biri; yeraltı kazısı sırasında kazılan zemini desteklemek yerine sağlamlaştırmak, başka bir deyişle çevre kayacın bir miktar rahatlatılması ve bu sırada birincil kazı sonucunda ortaya çıkan yüksek değerdeki basınçları taşımak yerine, çevre kaya ortamını güçlendirerek zeminin kendisini taşımasını sağlamaktır. Avusturyalı bilim adamları L. V. Rabcewicz tarafından 1964 yılında NATM dünyaya duyrulmuştur. Bu tünel açma yöntemi 1969 yılında Frankfurt Metrosu'nda uygulanmış olup daha sonrasında da Avrupa'da pek çok tünel yapımında tercih edilmiştir.

Farklı yapılardaki zemin koşullarına elverişlidir, farklı ölçülerde basit bir şekilde ve esnek olarak uygulanabilir, gerekli tahkimat boyutlandırmasında ekonomik olarak uygulanabilir ve tam kesit galeri açma makineleri ile uyumları oldukça iyidir. Bunun yanında yeraltı suyunun seviyesinin aşağısında uygulanması için ek ölçümler gerekir, ilerleme oranı nispeten düşük olduğundan ilerlemede büyük artışlar sağlanmaz ve otomasyon imkanları kısıtlıdır, bu yöntemde kullanılacak materyallerin kalitesinin yüksek olması önemlidir (Uğurel, 2010). 1930'lu yıllarda ise; önceden tercih edilmeyen daha sonrasında patentinin alınmasıyla ve koruma tabakası olarak kullanım örneklerinin olmasıyla tercih edilmeye başlanan püskürtme beton uygulaması, Avrupa'daki tünellerde iksa olarak kullanılmaya başlanmıştır. Şekil 1'de yaş karışım püskürtme beton uygulaması görülmektedir.

Şekil 1. Yaş püskürtme beton uygulaması

3 ELE ALINA TÜNELİN KAZI DESTEKLEME SİSTEMİ

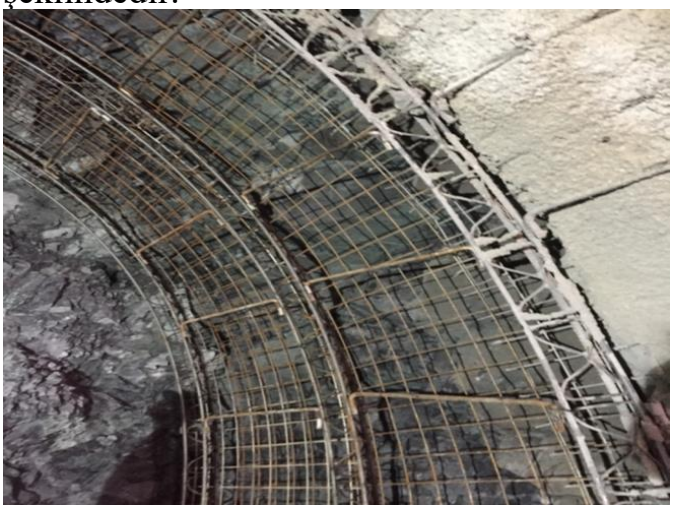
Mutlukent İstasyonu Hat – 1 İleri tünelinde kazı ve tahkimat sistemleri incelenmiştir. Üst yarı kazısında 5.2 metre yüksekliğinde 7 metre genişliğinde ve 0.80-1.20 metre aralığındaki derinliklerde kazı yapılmıştır. Kazı yapılırken CAT320 ve CAT313F hidrolik kırıcı kullanılmıştır. Tünelde iki iksa arası raunt (döngü) olarak adlandırılır ve Hat 1 İleri Tüneli'nde bir döngünün uzunluğu 1.20 m.'dir. Kazı tamamlandıktan sonra yükleyici ile pasa nakli yapılır. Kazılan kayacın sertliğine bağlı olarak kazı süresi değişmektedir. Tünelde kayacın sağlamlığına bağlı olarak kazı ve pasa nakli 380 dakika ile 500 dakika arasında değişmektedir.

Destekleme elemanları olarak çelik hasır, kafes iksa, püskürtme beton, kaya bulonları, süren ve boru şemsiye kullanılmaktadır. İki tür çelik hasır kullanılmaktadır, bunlar birbirlerine zincir şeklinde geçmeli tellerden

uluşturulan hasırlar ve birbirlerine kaynatılarak tutturulan çelik hasırlardır. Hasır çelik püskürtme betonun statik özelliklerini arttırmak ve beton priz alana kadar gerekli stabiliteyi sağlamak amacı ile kullanılır ayrıca hasır çelik püskürtme betonun kesme kuvvetine karşı mukavemetini arttırmaktadır. Çelik hasırlar püskürtme betonla birlikte kullanıldıklarında kayaca sağlamlık verir, hava ve nem etkilerine karşı korur ve bulonların sağlamlaştırma etkilerine ek olarak rijit bir diyafram oluşturarak sağlamlık etkisini geniş bir alana yayar (Polat, 2010). Püskürtme beton uygulanmasından itibaren 28 gün boyunca sertliği ve kuvveti dökme beton gibi sürekli yükselir. Ardından uygun koşullarda iki yıla kadar %50 bir artış gösterir (Kolymbas, 2005).

3.1 Yerinde Yapılan Çalışmalar

Gebze– Darıca Metro projesinde incelemesi yapılan kısım Mutlukent İstasyonu Hat 1 İleri Tünelidir. Çalışmanın temel hedefi tünel inşaatının tahkimat işlerinin analiz edilmesidir. Bu nedenle bir günlük yapılan işlemlerin zamanları tespit edilmiş ve tahkimat işlerinin yüzde dağılım değerleri belirlenmiştir. Bir günlük yapılan işlemler; kazı, pasa nakli, bulon delgisi, bulon montajı ve enjeksiyonu, süren delgisi, süren montajı ve enjeksiyonu, iksa kurulumu, topoğrafik çalışma, püskürtme beton, makine ve malzeme nakli, mobilizasyon, bekleme şeklindedir.



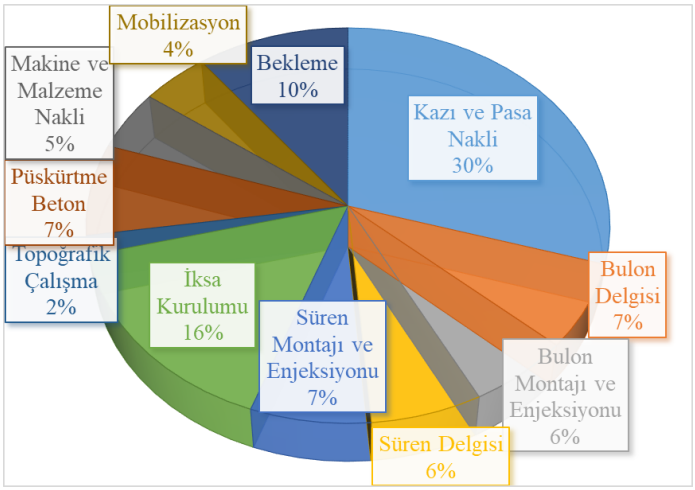
Şekil 2. Çelik hası uygulaması

Yapılan bu işlemler içerisinde tahkimat sistemlerinin bir parçası olan çelik hasır imalatından örnek vermek gerekir ise çelik hasırlar (Şekil 2) iksaların üstüne ve altına gelecek şekilde iki kat olarak uygulanır. Uygulanırken birbirlerine 30 cm bindirme yapılır. Tünel boyu doğrultusunda güçlendirme sağlar. Tünelin daha rijit bir hale getirilmesinde faydalıdır.

4 SONUÇLAR

Mutlukent İstasyonu Hat 1 İleri Tüneli'nde belirtilen tarihleri arasında 15 farklı kazı döngüsü gözlenmiştir. İnceleme sonucu ulaşılan sonuçlara göre; bir kazı döngüsünde en fazla zamanı kazı ve pasa nakli almıştır. Kazı ve pasa nakli için harcanan süre tüm sürenin %27'sidir. Tüm tahkimat işleri için harcanan süre tüm sürenin %48'idir.

Şekil 3'te bir kazı döngüsü için yapılan işlerin ortalama yüzde dağılımı gösterilmiştir, Çizelge 1'de bir kazı döngüsü için ortalama iş zaman çizelgesi gösterilmiştir.



Şekil 3. Bir döngüde yapılan ortalama işler

Çizelge 1'de yapılan işler (Yİ) aşağıda listelenmiştir.

1: Kazı ve pasa nakli
2: Bulon delgisi
3: Bulon montajı ve enjeksiyonu
4: Süren delgisi
5: Süren montajı ve enjeksiyonu
6: İksa kurulumu
7: Topoğrafik Çalışma
8: Püskürtme beton
9: Makine ve malzeme nakli
10: Mobilizasyon
11: Bekleme.

Çizelge 1. Bir Kazı Döngüsü Ortalama İş Zaman Çizelgesi

Yİ	Z	Y
1	420,66	29,21
2	97,66	6,78
3	83	5,76
4	89,33	6,20
5	96,33	6,69
6	220,66	15,32
7	22,33	1,55
8	106,33	7,38
9	70	4,86
10	64,66	4,49
11	147	10,21
T	1440	100

Yİ:Yapılan İş, Z:Zaman(dk), Y:Yüzde(%),T:Toplam

TEŞEKKÜR

Bu bitirme çalışması sırasında ve tüm lisans eğitimim boyunca benden desteğini eksik etmeyen hocam Sn. Doç. Dr. Hakan TUNÇDEMİR'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Lisans eğitimimde emeği geçen tüm hocalarıma teşekkürü borç bilirim.

Canım ailem Ahmet Cem SİMİTCİ, YILDIZ SİMİTCİ ve İrem Yağmur SİMİTCİ'ye sonsuz teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Kolymbas, D., 2005. Tunneling and Tunnel Mechanics, A Rational Approach to Tunnelling, Springer Publications, Innsbruck.

Polat, D., 2010. "NATM Metodu Kullanarak Tünel Tasarımı ve Modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Uğurel, Ş., 2010. "Türkiye'de Metro Projeleri Yatırımlarının Geri Dönüşüm Süresinin Belirlenmesi ve Bu Sürenin Optimizasyonu İçin Öneriler", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Gebze-Darıca Metro Hattı Tünel Kazısında Havalandırma Faaliyetlerinin İncelenmesi

Investigation of Ventilation Activities in Gebze-Darıca Metro Line Tunnel Excavation

A. SAYILGAN
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu bitirme çalışması, Gebze - Darıca metro hattının tünel inşaatı havalandırma faaliyetleri ve tünel havası ölçümlerini, projede kullanılan ekipmanları ve özelliklerini, projenin genel özelliklerini ve havalandırma hesaplamalarını içermektedir. Ek olarak yeraltında hava koşullarının nasıl olduğu, faaliyetleri yürüten personellerin ne tür zararlı gazlar ile yeraltında karşılaşabileceği ve onları çalışma alanlarından uzaklaştırmak için nasıl havalandırma teknikleri uygulayabileceklerini anlatmaktadır.

ABSTRACT This study includes ventilation activities of tunnel construction and tunnel air measurements, the equepments and features used in project of the Gebze-Darıca metro line. Also the ventilation calculations about both tunneling and project examination. In addition, it explains how the undergorund weather conditions are, what kind of hazardous gases may seen and what kind of ventilation techniques to keep gases and dusts away from operation areas.

1 GİRİŞ

Bu çalışma tünelcilik faaliyetlerinde kullanılan havalandırma ekipmanlarının ve yöntemlerinin genel olarak neler olduğunu anlatmak ile beraber, Gebze-Darıca metro hattının tünel kazısında kullanılan havalandırma yöntemlerini ve ekipmanlarını, tünel hatlarında ki yeraltı havasının durumunun ölçümlerini ve hesaplamalarını içermektedir. Çalışma 8 Şubat 2021 ve 19 Şubat 2021 tarihleri arasında Kocaeli ilinin Gebze ilçesinde bulunan ve EZE İnşaat A.Ş. bünyesinde gerçekleştirilen tünel inşaatında yürütülmüştür.

2 HAVALANDIRMA VE KONFOR

İnsan ömrünün büyük bir çoğunluğu ev, ofis, fabrika, toplu ulaşım araçları gibi kapalı hacimlerde geçtiği düşünüldüğünde, bu alanlarda hayati önem taşıyan ve yaşam kalitesini arttırabilecek ana yöntemlerden birtanesi de havalandırma faaliyetleridir. Havalandırmanın tanımı basitçe, kullanılmış havanın, temiz, kokusuz ve yüksek oksijenli yeni bir hava ile değiştirilmesi olabilir.

2.1 Hava, Isıl Konfor ve Hava Kalitesine Etki Eden Faktörler

Eğer bir ortamdaki havanın nemi, sıcaklığı ve hızı uygun değerlerde ise, buradaki insanlar odanın sıcaklığından, neminden veya hızından memnun ise bu ortamda ısıl konfora ulaşılmış demektir. Ayrıca %21 oksijen oranı bulunduran, içerisinde insan sağlığını tehdit edebilecek herhangi bir zararlı gaz veya partikül barındırmayan hava, insan sağlığı ve canlı yaşamına uygun olan ilk konfor şartını sağlamaktadır.

Sıcaklığın ise mevsim şartlarına göre değişken olarak 18°C ila 28 °C arasında, oransal nemin ise
% 40 ila % 60 arasında olması idealdir.

3 PROJE GENEL BİLGİLERİ

3.1 Tünelcilikte Havalandırma Sistemleri

Tünel inşaatı işleri her zaman tehlike içerir ve çevre koşullar pek temiz olmayabilir. Özellikle delme ve patlatma yöntemleri ile çalışılan tünel kazılarında toz ve zehirli gazların kontrol altında tutulması, çalışanların sağlığı açısından çok önemlidir. Delme, patlatma, kazı ve beton püskürtme gibi başlıca tünelcilik faaliyetlerinden oluşan zararlı etkileri azaltmak ve güvenli, sağlıklı bir çalışma ortamı yaratmak için çeşitli önlemler almak gereklidir. Havalandırma sistemleri, tüneldeki toz, duman ve zararlı gaza ilişkin sorunları gidermede en etkili yöntemdir.

3.1.1 Tünel Havalandırmasında Kirletici Standartlar

Genel olarak, bütün operasyon sahasından tehlikeli ve zararlı maddelerin uzaklaştırılması için yeterli olacak miktarda havanın sağlanması gerekmektedir. Faaliyetleri zorlaştıracak hususlar genel olarak yükleme, delme, patlatma, kazma, betonlama gibi faaliyetlerin açığa çıkardığı zararlı gazlar ve tozlardan kaynaklanmaktadır. Zararlı gazlara karbonmonoksit, nitrojenoksit, hidrojensülfür ve sülfürik asit örnek verilebilir. Karbonmonoksit, oksijen yoğunluğunu %18'in altına düşürürse anoksiye neden olur. Havadaki oksijen miktarı ise %21'in altına düşmemelidir.

Çizelge 3.1. Tünelcilikte açığa çıkan toz yoğunluğu

Yapılan iş	Toz Yoğunluğu (mg/m³)
Kazı	10 - 1000
Yükleme	10 - 1000
Taşıma	10 - 100
Delme	1 - 50
Patlatma	100 - 300
Betonlama	10 - 200

Kazılmakta olan bir tünelin havalandırılması için gerekli hava miktarının belirlenmesi genel olarak birkaç esasa bağlıdır. Bunlar, kullanılan patlayıcı madde miktarı, oluşan toz miktarı ve yayılan gazın miktarıdır. Patlayıcı madde miktarına bağlı olarak hava miktarının hesaplanması için ise aşağıdaki eşitlik (1) den faydalanılır;

$$Q = \frac{7.8}{t} * \sqrt[3]{A.V} \qquad (1)$$

Bu eşitlikte:
Q : Hava miktarı (m³/dk)

t : Havalandırma Zamanı (dk)

A : Patlayıcı madde miktarı (kg)

V : Havalandırılacak hacim (m³)

3.2 Projede Havalandırma Sistemleri

Projede kullanılan havalandırma sistemleri ve ekipmanları genel olarak tünelcilikte kullanılan jetfanlar, ve fanların ürettiği havayı arına aktaracak olan vantüpler olmaktadır. 90kw gücündeki ve dakikada 3000 devir dönme kapasitesi olan fanların ise her 200 metre ilerlemede bir yenisine daha ihtiyaç duyulmaktadır.

Vantüpler ise demir olup montajı yapılan modellerden değil, lojistiği ve montajı kolay olan plastik vaantüp modelleri tercih edilmiştir. Böylelikle her gün ilerleme yapılan projede ihtiyaç duyuldukça yeni vantüplerin eklenmesi kolaylaştırılmıştır.

Projede, havalandırma faaliyetlerinde kullanılan bir diğer eleman ise hava ölçüm cihazlarıdır. Bu cihazlar sayesinde anlık olarak yeraltına bulunan havalanın oranını ve hidrojen sülfür, karbonmonoksit ve metan gazlarının havada bulunma miktarlarının ölçümü yapılabilmektedir. Projede Drager marka X-am 2500 Model hava ölçüm cihazları ve Crowcon T4 hava ölçüm cihazları kullanılmaktadır.

4 SONUÇLAR

Havalandırma faaliyetleri bir yeraltı kazısında çalışanların sağlığı için vazgeçilmez bir unsurdur. Mühendislerin dikkatle hesaplama yapmaları ve uygun havalandırma ekipmanlarını uygun

yöntemler ile kullanmaları gerekmektedir. Aksi taktirde projenin gidişatına ve daha da önemlisi insan sağlığına büyük zararlar verebilir.

Gebze-Darıca metro hattı tünel kazısında yapılan havalandırma faaliyetlerinin incelenmesi çalışmasında, kullanılan havalandırma yöntemlerinin tünel kazıları için yeterli olduğu, ekipmanların doğru seçilmesi, yerleştirilmesi ve birbirleri ile uyumlarının, tünel kazısında işçilerin ve operasyonun ihtiyaç duyduğu temiz havayı temin etmekte zorluk çekmediği kanaatine varılmıştır. Yerinde yapılan havalandırma ölçümleri ve sonrasındaki havalandırma hesaplamaları örtüşmekte, temiz tünel boyunca ve arında hissedilmektedir. Ancak fanların seçimi konusunda işletmeden teyit edilebilir bir bilgi edinilemediği ve fanların güçlerine ilgili mühendislerin bir hesaplama yapmaksızın sadece tecrübeye dayalı karar vermesi, daha düşük güçlerde fanların da bu işletmede kullanılarak ekonomik olarak faaliyete kolaylık sağlama ihtimali olduğunu göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Bitirme çalışmamın yazılması esnasında, desteklerini esirgemeyen danışmanlarım Doç. Dr. Abdullah Fişne, Arş. Gör. Anıl Soylu ve deneyimlerini benimle paylaşan bütün öğretmenlerime, projede bana yardımcı olan NATM Kısım Şefi Kaan Öztürk ve Vardiya Şefi Mücahit Kartal'a, bana ellerinden gelen tüm desteklerini sunan sevgili aileme ve üniversite arkadaşlarıma yürekten teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Ayvazoğlu, E., Ökten, G., Tuncel, Z., 'Yer Altı Kazılarında Havalandırma Uygulamaları'

Bulut, H., 'Konutlarda İç Hava Kalitesi İle İlgili Ölçüm Sonuçlarının Analizi', Teskon 2007VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, İzmir, 2007.

Eskin, N., 'Bir Metro İstayson Modülünün Havalandırma Sistemi Tasarımı'

McPherson, M.J. " A Brief History of Mine Ventilation"1993

Laloğlu, Ş., ''Metro İstasyon ve Tünellerinde Havalandırma Sistemi Tasarımı' Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010

Sertel., S. ''Metro Tünellerinde ve İstasyonlarında Havalandırma Sistemleri ve Marmaray Örneği'', Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010

Yerebasmaz G., Çetin O., 'Tali Havalandırma Hesaplamaları', *Madencilik Dergisi*, Cilt XXVIII Sayı 4, 1989

EPB TBM'ler İçin Deneysel Zemin Şartlandırma Optimizasyonu
Experimental Soil Conditioning Optimization for EPB TBMs

B. E. Başaran, E. Avunduk, H. Çopur

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Istanbul

ÖZET Bu bitirme çalışmasında EPB TBM'ler için deneysel zemin şartlandırma optimizasyonunun incelenmesi amaçlanmıştır. Öncelikle zemin şartlandırma deneyleri tanımlanmış ve yapılacak işlemlerden bahsedilmiştir. Zemin şartlandırmasında kullanılan köpük ajanlarının FER ve FIR değerlerindeki değişimlerin meydana getirdiği farklılıklar incelenmiştir. Bu farklılıklar DIN yayılma tabalası ve mini slump deneyleri ile ölçülmüştür. Zemin şartlandırmasında optimum değerleri bulmak için yapılan deneyler sonucunda bulunan en uygun FER ve FIR değerleri belirlenmiştir. Bu bitirme çalışması İstanbul Teknik Üniversitesi Zemin Şartlandırma Laboratuvarında 05.04.2021-09.04.2021 tarihleri arasında yapılmıştır.

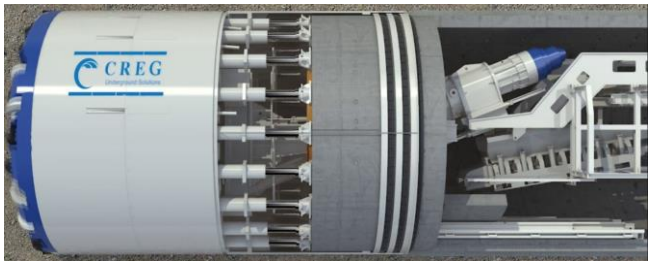
Anahtar Kelimeler: EPB TBM, Zemin şartlandırma, Köpük ajanı

ABSTRACT In this graduation project, the aim of this study examine the experimental soil conditioning optimization for EPB TBMs. First of all, soil conditioning experiments are defined and the procedures to be done are mentioned. The differences caused by the changes in the FER and FIR values of the foam agents used in soil conditioning were investigated. These differences were measured by DIN spread table and mini slump experiments. The most suitable FER and FIR values were determined as a result of the experiments carried out to find the optimum values in soil conditioning. This graduation project at Istanbul Technical University Laboratory of Soil Treatment was carried out between 05.04.2021-09.04.2021 date.
Keywords: EPB TBM, Soil conditioning, Foam agent

1 GİRİŞ

Dünyada yeraltı yapıları her anlamda kullanılmaktadır. Teknolojik gelişmelerle birlikte bu yeraltı yapılarının oldukça kısa sürede tamamlanması sağlayan bazı araçlar ve ekipmanlar geliştirilmiştir. EPB TBM'lerde bu araçlardan biridir, Şekil 1'de gösterilmiştir. EPB TBM şehir içi yeraltı kazıları avantajlarından dolayı tercih edilmektedir. TBM'lerin yüksek performans ve güvenlikleri için optimum zemin şartlandırmasına ihtiyaçları vardır. Laboratuvar ortamlarında incelenen zeminlerin doğada aynı şekilde bulunmamasından kaynaklı zemin için çeşitli kimyasallarla karıştırılarak istenilen özelliğe getirilmektedir.

Bu çalışmanın genel amacı EPB TBM'ler için deneysel zemin şartlandırma optimizasyonudur.



Şekil 1. CREG firmasına ait EPB TBM.

2 ZEMİN ŞARTLANDIRMA DENEYLERİ

EPB TBM'ler için zemin şartlandırma deneyleri esnasında EFNARC 2005 önerileri takip edilmiştir. Bu şartlandırma deneyleri TBM'lerin performansını etkilemektedir. Kazılması planlanan zeminin yapışkanlığı, zeminin su içeriği, ve sertlikten kaynaklanan kesici kafa aşınması vb. konuları için oldukça faydalıdır. Zemin şartlandırması için Limak Batı Çimento firmasından TS EN 190-1 standardına uygun standart kum kullanılmış, aşağıda Şekil 2'de gösterilmiştir. Deneyde zemin numunesinin su içeriği %3, C_f (köpük konsantrasyonu) değeri ise %2 olarak sabit tutulmuştur. Deneyde FER ve FIR değerlerinin zemin şartlandırma üzerindeki etkisi incelenecektir. Deneyde laboratuvar düzeyine uygun olması için özel geliştirilen mini slump boyut özellikleri normal slump özelliklerinin yarısı niteliğindedir. Normal slumplarda 100 ila 200 mm arası standartlara sahip olması gerekirken, deney sonuçlarındaki çökmelerin 50-100 mm arasında olan sonuçların optimum sonuçlar olacağı belirlendiği için bu standartlara uygun deneyler yapılmıştır. Zemin şartlandırması için yapılan yayılma ve mini slump deneylerinin sonuçları analiz edilmiştir.

Şekil 2. Deneyde kullanılan zemin numunesi.

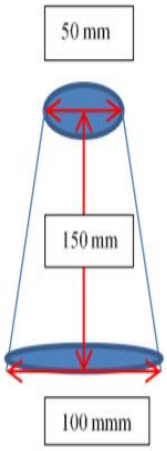
2.1 Yayılma Tablası Deneyi

Yayılma tablası deneyi, köpükle karıştırılan zemin numunesinin kıvamı hakkında bilgi edinmek için yapılır. Hazırlanan karışım öncelikle tablanın üzerinde bulunan kalıba dökülür, taşmayacak ve eksik olmayacak şekilde düzeltilir. Ardından kalıp şekli bozulmayacak şekilde kaldırılır ve her yandaki kol yardımıyla her saniyede 1 vuruş olacak şekilde çevrilir. 15 vuruş yapıldıktan sonra yayılan örneğin çapı 2 farklı eksenden kumpas yardımıyla ölçülür ve okunan değerler kaydedilir. Şekil 2.1'de yayılma tablası deney düzeneği gösterilmiştir.

Şekil 2.1. Yayılma tablası deney düzeneği.

2.2 Mini Slump Deneyi

Mini slump deneyi de karıştırılan malzemenin kıvam yani akışkanlığını kontrol etmek amacıyla yapılmaktadır. Huni şeklindeki 150mm yüksekliğe, 100 mm alt çapa, 50 mm üst çapa sahip olan kalıp öncelikle düz bir zemine konur, ardından malzeme huniye dökülür ve 1/3 oranında dolduğunda şişleme yapılır. Şişlemenin ardından huni tepesine kadar doldurulur ve 2 3 defa daha şişleme yapıldıktan sonra malayla birlikte hunininin üstündeki fazla malzeme düzeltilir. Ardından huni şeklindeki kalıp içerisinde bulunan numunenin kurumaması için zaman geçmeden, zeminin şeklini bozmayacak şekilde yavaşça çekilir ve kalıp zemin+köpük karışımının yanına konularak çökme miktarı ölçülür. Şekil 2.2'de mini slump deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Mini slump deney düzeneği.

3 DENEY SONUÇLARI

3.1 Yayılma Tablası Deney Sonuçları

Yapılan deney sonuçlarında FER 12 FIR %0 değerinin kullanıldığı zemin+köpük karışımı sonuç vermediği için FER 16 değeri üzerinden çalışmalar yapılmıştır. FER 16 değerinde FIR %20, %30, %40 değerleri ile birlikte yapılan yayılma tablası deney sonuçları Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

FER	FIR	Yayılma Tablası (mm)					Ortlama (mm)
12	0	Sonuç vermedi					
16	20	74	76,5	70	69	67	71,3
16	30	73,5	77	78	78	71	75,5
16	40	90	85	86	85	82	85,6

Tablo 3.1. Yayılma tablası deney sonuçları.

3.1 Mini Slump Deney Sonuçları

Yayılma tablosunda olduğu gibi mini slump deneyinde de FER 12 değeri numune için yüksek değerler vermiştir. FER 16 değeri üzerinden yapılan deneyler, FIR 20, 30, 40 değerleri için yapılmış ve ölçme sonuçları Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Deney standartlarına göre 50 ila 100 mm arasında olmalıdır.

FER	FIR (%)	Mini Slump (mm)			Ortlama (mm)
12	20	85			85
16	20	63	50		56,5
16	30	84	84		84
16	40	105	107	102	104,67

Tablo 3.2. Mini slump deney sonuçları.

Avunduk'un (2018) yaptığı bir çalışmada da görüldüğü gibi yapılan deneylerin sonuç değerleri bu çalışmadaki değerlere yakın sonuç vermiştir. Zemin şartlandırma TBM'lerin performansına olan etkilerinden dolayı oldukça önemli bir konudur.

Aksu'nun (2010) bir araştırması sonucunda zemin şartlandırmasının EPB TBM üzerinde performans etkisini sunmuştur. Optimum zemin koşullarında çalışan TBM'lerin daha yüksek performans verdiğini belirtmiştir.

Langmaack (2002), bu araştırma sonucu zemin şartlandırmanın sulu topraklarda geçirgenliği azalttığı, yapışkanlığı zemin durumuna göre arttırıp azalttığını ve zemin stabilitesini sağladığı görülmüştür.

4 SONUÇLAR

İstanbul Teknik Üniversitesi Zemin Şartlandırma Laboratuvarında 05.04.2021-09.04.2021 tarihleri arasında yapılan deney sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- Deneyde numunenin su içeriği %3, köpük konsantrasyon (C_f) değeri %2 olarak sabit tutulup, üzerinde yapılan deneyde FER 12 FIR %0 değeri herhangi bir sonuç vermemiştir.
- FER 12 FIR %20 değeri için yapılan yayılma tablası deneyinde gözlem sonucu kıvamının (cıvıklık) fazla olduğu saptanmış, mini slump deney sonucunda ise deney standardının üst limitine yakın olmasından dolayı farklı FER değerine geçilmiştir.
- FER 16 FIR %20 ve FIR %30 değerinde deney standartlarına uygun sonuçlar elde edilmiştir.
- FER 16 FIR %40 değerinde yayılma tablası sonucu normal olmasına rağmen, mini slump deneyi deney standardını geçmiştir.
- Yapılan deneylerde FER değerinin sabit tutulup, FIR değerlerinin ise arttırılmasıyla beraber zemin+köpük karışımının kıvamında (cıvıklık) artış gözlemlenmiştir.
- Standart kum numunesi üzerinde yapılan deneysel zemin şartlandırma optimizasyonu için FER değerinin 16, FIR değerinin ise %25-35 arasında herhangi bir değer olabileceği bulunmuştur.
- Standart kum numunesi üzerinde yapılan çalışmada farklı köpük

ajanları da kullanarak elde edilecek sonuçlara bakılmalıdır.

TEŞEKKÜR

Bu bitirme çalışması sırasında bilgi ve birikimlerini, desteğini hiçbir şekilde eksik etmeyen başta Prof. Dr. Hanifi ÇOPUR'a ve deney süreçlerinde aynı özveri ile ilgilenen Dr. Müh. Emre AVUNDUK'a teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

Avunduk, E., 2018. "Zemin şartlandırmanın EPB TBM performansına etkilerinin araştırılması"**,** *Doktora Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 124.

Aksu, F., 2010. "Zemin şartlandırmanın pasa basınçlı (EPB) TBM'in performansına etkisi", *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 7.

Çopur, H., 2015. "*MAD514E – MECHANICAL EXCAVATION & MECHANIZATION IN SOFT GROUND***",** Maden Mühendisliği Bölümü, İTÜ Maden Fakültesi, s.2.

Langmaack, L., 2002. Soil conditioning for TBM chances & limits s. 2.

EFNARC, (2005). Specification and Guidelines for the use of specialist products for Mechanised Tunnelling (TBM) in Soft Ground and Hard Rock.

Soma - Elmalı Açık Ocak Maden İşletmesi Ekonomik Etüdü

Soma - Elmalı Open Pit Mining Economic Analysis

B.H. Zincirkıran, C.A. Öztürk
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu bitirme projesinde, Manisa ili Soma ilçesi Elmalı mevkiinde bulunan açık ocak linyit işletmesinin ekonomik etüdü üzerine çalışılmıştır. İlk olarak bahsedilen sahanın jeolojisi, tahmini üretim rakamlarına ait bilgiler ve jeoteknik veritabanı oluştulurken yapılan çalışmalara yer verilmiştir. İkinci olarak ise açık ocak işletme projesinden bahsedilmiştir. Bu başlık altında; yıllara bağlı olarak üretim değerlerinden, döküm sahalarından ve ocak nihai sınırlarından bahsedilmektedir. Bir sonraki başlıkta açık ocak yatırım maliyeti, gerekli ekipmanlar ve maliyetleri, yüzey yapılarının tahmini giderlerine ait bilgiler verilmiştir. Dördüncü konu olarak ise açık ocak işletme maliyetleri incelenmiştir. İşletme maliyetleri, projenin normal çalıştığı sürece; o anda ortaya çıkan ya da yatırıma bağlı olarak çıkacak maliyetler olarak tanımlanmaktadır. Son olarak ise bu bilgilerden yararlanılarak projenin ekonomik değerlendirilmesi yapılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Soma – Elmalı, Ekonomik Etüd, Ekonomik Analiz, Yatırım Analizi

ABSTRACT In this project, the economic study of the open pit lignite mine located in the Elmalı district of Soma district of Manisa province was studied. First of all, the geology of the mentioned area, information about the estimated production figures and the studies done while creating the geotechnical database are included. Secondly, open pit mining project was mentioned. Under this title; depending on the years, production values, dump sites and final pit are mentioned. In the next chapter, information about open pit investment cost, requirred equipment and costs, and estimated costs of surface structures are given. As the fourth subject, open pit operating costs were examined. Operating costs, as long as the project runs normally; it is defined as the costs incurred at that time or to be incurred in connection with the investment. Finally, the economic evaluation of the project was made by using this information.
Keywords: Soma – Elmalı, Economic Analysis, Investment Analysis

1 GİRİŞ

1.1 Soma – Elmalı Açık Ocak İşletmesinin Tanıtılması

Bu projede Toya Holding – Mates Madencilik'e ait Soma – Elmalı sahası incelenmiştir. Planlanan toplam üretim miktarları belirlenmiş, bunlara bağlı olarak nihai sınırlar ve döküm sahaları hakkında bilgiler verilmiştir. Sahada kullanılacak olan ekipmanların seçimi yapılmıştır. Buna bağlı olarak yatırım ve üretim maliyetleri planlanmıştır.

1.2 Çalışmada Kullanılan Yöntemler

Projenin ekonomikliğinin değerlendirilmesinde net bugünkü değer –

NBD ve yatırım getirisi – ROI yöntemleri kullanılmıştır.

Bu değerlerin pozitif çıkmış olması projeden ekonomik bir kar elde edileceğini göstermektedir.

2 MALİYET ANALİZİ

Çalışmada planlanan maden ömrü boyunca oluşacak olan yatırım ve üretim maliyetleri detaylı olarak incelenmiştir. Bu verilere bağlı olarak gelir ve gider analizi yapılmıştır.

2.1 Yatırım Maliyetleri

İşletmede kullanılacak olan ekipmanların ve proje maliyeti, arazi düzenleme maliyeti, yapı ve yol masrafları gibi diğer maliyetler yatırım maliyeti olarak incelenmiştir.

Bu aşamada ekipman seçimi kömürde çalışacak ve dekapajda çalışacak ekipmanlar için ayrı ayrı olarak yapılmıştır.

2.2 Üretim Maliyetleri

Çalışmada kömür üretiminde ve dekapaj kazısında kullanılacak olan ekipmanlar, bu ekipmanların yakıt ve lastik giderleri, bakım onarım masrafları ve çalışan maliyetleri gibi üretim maliyetleri detaylı olarak incelenmiştir.

Bu verilere bağlı olarak yıllara bağlı üretim maliyetleri elde edilmiş ve projenin değerlendirilmesi aşamasında bu değerlerden yararlanılmıştır.

3 PROJENİN EKONOMİK OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1 Satış Gelirleri

Bu projenin satış gelirleri hesaplanırken kömür birim maliyeti 23$/ton olarak kabul edilmiştir. Hurda değeri ise ekipmanların yatırım maliyetinin %15'i olarak hesaba katılmıştır.

Birim maliyet ve yıllık üretim miktarının çarpılması ile brüt gelir elde edilmiştir. Brüt gelirden vergi, amortisman, tükenme ve üretim maliyetlerinin çıkarılması ile de yıllık nakit akışı elde edilmiştir.

3.2 Net Bugünkü Değer – NBD

Net bugünkü değer yöntemi paranın geçmiş veya gelecekteki değerinin bugünkü halini bulmaya yarayan bir yöntemdir.

Bu projede enflasyon oranı son 2 yılın ve son 5 yılın verileri incelenerek %14 olarak kabul edilmiştir. İşlemler sonucunda planlanan işletme ömrü dolduğunda elde edilecek gelirin toplamda 16.635.079$ olduğu ön görülmektedir.

3.3 Yatırım Getirisi – ROI

Yatırım getirisi, yatırımın yatırımcıya geri dönüşünü gösteren bir orandır. ROI oranı %100'ün üzerindeyse yatırımdan kar sağlanacaktır.

Bu projede hesaplamalar sonucu ROI %71.94 olarak bulunmuştur. Bu orana göre yapılacak her 100$ masrafa karşılık 171.94$ kar elde edileceği ön görülmektedir.

3.4 Gelir- Gider Analizi

Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen gelir ve gider verilerinin Yatırım getirisi, yatırımın yatırımcıya geri dönüşünü gösteren bir orandır. ROI oranı %100'ün üzerindeyse yatırımdan kar sağlanacaktır.

Bu projede hesaplamalar sonucu ROI %71.94 olarak bulunmuştur. Bu orana göre yapılacak her 100$ masrafa karşılık 171.94$ kar elde edileceği ön görülmektedir.

3.5 Birim Maliyet Analizi

Bu kısımda yapılan çalışmalara bağlı olarak pasa ve kömür için ayrı ayrı birim maliyet analizi yapılmıştır.

Bu verilere bağlı olarak 1 ton kömür için ortalama birim maliyet 13.54$ ve 1 m^3 pasa için ortalam birim maliyet 1.95$ olarak bulunmuştur.

4 SONUÇLAR

Yapılan çalışmalar ve analizlere bağlı olarak planlanan işletmenin ekonomik olduğu ve kar getirisi elde edileceği görülmüştür. Bu sonuçlar üzerinden hareketle daha detaylı ekipman seçimleri ve analizler yapılmasına karar verilmiştir.

TEŞEKKÜR

Tez danışmanım Doç. Dr. Cüneyt Atilla Öztürk'e bu süreçteki tüm destekleri, yardımları için, bu zorlu pandemi sürecinde desteğini her zaman hissettirdiği ve bilgilerini her daim bizlerle paylaştığı için teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Alan, H., Ateşoğulları, M., Çağlan, D., İlgün, F., Konuk, R., Uytun, H., (2014). Manisa – Soma Eynez Karanlıkdere Mevkii Kapalı Ocak Kömür Madeni İşletmesi İş Cinayeti/ İş Kazası Raporu, *Jeoloji Mühensileri Odası*, No. 120, s.8.

Atasayar, M. (1990). TKİ Kurumu ELİ Müessesesi Linyit Üretim Faliyetleri. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 29 (1), 5-16 . Retrieved from http://www.mining.org.tr/en/pub/issue/32561/361588

Birön, C . (1972). Garp Linyitleri İşletmesi Soma Bölgesi İçin Betonarme Sun'î Tavanlı Rambleli İşletme Projesi. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 11 (2), 3-20. Retrieved from http://www.mining.org.tr/en/pub/issue/32732/363100

CASK, (2021). *Soma – Elmalı ön inceleme raporu*

İnci, U. (1998). Lignite and carbonate deposition in Middle Lignite succession of the Soma Formation, Soma coalfield, western Turkey. *International Journal of Coal Geology* 37, 287-313.

İnci, U. (2002). Depositional evolution of Miocene coal successions in the Soma coalfield, western Turkey. *International Journal of Coal Geology* 51, 1-29.

Remer, D. S. ve Nieto, A.P. (1995). A compendium and comparison of 25 project evaluation techniques. Part 1: Net present value and rate of return methods, *International Journal of Production Economics*, 42: 79-96.

URL_1 https://www.eli.gov.tr/tr-TR/soma

Muhammet Gümüştaş A.Ş. Agrega Ocağı'nda Basamak Patlatma Tasarımının İrdelenmesi ve Bilgisayar Destekli Tasarım Uygulamaları

Investigation of the Bench Blast Design with Software Design Applications at Muhammet Gümüştaş A.Ş. Aggregate Quarry

M. Aydın, T. Hüdaverdi, Ö. Akyıldız

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Açık maden ocaklarında, kayacı gevşetmek amacıyla çoğunlukla tercih edilen üretim yöntemi patlamadır. Emniyetli, ekonomik ve efektif bir operasyon sağlayabilmek amacıyla patlatma parametrelerin ortam koşullarına ve formasyona göre uygun bir şekilde seçilmesi gerekmektedir. Atımdan sonra gerçekleşecek olan yükleme, taşıma, tesise besleme ve zenginleştirme işlemlerinin en optimum şekilde ilerleyebilmesi için atımdan sonra elde edilen kayacın parçalanma boyutunun da optimum şartlarda olması önem arz etmektedir. Bu optimum parçalanmayı elde edebilmek için patlatma tasarım parametrelerinin doğru belirlenmesi ve izlenmesi gerekmektedir. Bu bitirme çalışması doğrultusunda, Muhammet Gümüştaş A.Ş. Taş Ocağı'nda yapılmakta olan açık ocak patlatma operasyonları, tasarım parametreleri ve kullanılan yöntemler üç adet patlatma operasyonu üzerinden incelenmiştir. İşletmede kullanılan patlayıcı maddeler tanıtılmış, delik dolumu incelenmiş ve üç araştırmacının yaklaşımlarına göre hesaplamalar yapılmıştır. Ocakta gözlemlenen patlatma operasyonları doğrultusunda JKSimBlast yazılımı ile analizler yapılmıştır. Patlatma sonrası oluşan yığınlarından ölçekli fotoğraflar alınarak parçalanma boyut analizleri için WipFrag yazılımı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Patlatma, Patlayıcı, Parçalanma, WipFrag, JKSimBlast

ABSTRACT Blasting is the most preferred production method in open pit mines to loosen the rock. In order to provide a safe, economical and effective operation, the blasting parameters must be selected appropriately according to the working conditions and formation. In order for the loading, transportation, feeding and enrichment processes to take place after the blasting to proceed in the most optimum way, it is important that particle size distribution of the blast muckpile should also be optimum. Blast design parameters must be correctly determined and monitored to obtain optimum fragmentation, In this graduation project, Muhammet Gümüştaş A.Ş. Open pit blasting operations, design parameters and methods used in the Quarry were examined through three blasting operations. Explosive materials used in the quarry were introduced, blasthole charging was examined and theoritical calculations were performed according to the approaches of three researchers. Simulations were made by Jksimblast software for the observed blasting operations in the quarry. Scaled images were taken from the blast muckpiles and WipFrag software was used for fragmentation analysis. Evaluations were made regarding the results obtained.
Keywords: Blasting, Explosive, Fragmentation, WipFrag, JKSimBlast

1 MUHAMMET GÜMÜŞTAŞ A.Ş. AGREGA OCAĞI

Muhammet Gümüştaş A.Ş. Agrega Ocağı, İstanbul İli, Eyüp ilçesi, Mimarsinan Mahallesi'nde, Kemerburgaz-Cendere yolu üzerinde yer almaktadır. 1974 yılında Trabzon'da kurulan Muhammet Gümüştaş A. Ş., inşaat-taahhüt işleri ve taşımacılık faaliyetinde bulunmak üzere çimento fabrikalarının hammadde üretim ve nakliyesinin müteahhitliğini gerçekleştirmektedir. Tez amacıyla inceleme yapılan Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye ait agrega maden sahasının 5+5 yıllık rödevançısıdır. Ocağın bulunduğu yörede yer yer çeşitli kireç taşları ve paleozoik şistleri (toz taşı şistleri) ile andezit tüfleri bulunmaktadır. Pliosen I tortulları geniş alanda yaygındır. Pliosen I tortullarından oluşması nedeniyle arazi, kireçsiz olmakla beraber, farklı türdeki (kumlu balçık, balçık, ağır balçık) kuvars çakıllı veya çakılsız materyallerin çapraz olarak tabakalanması ile oluşmuş akarsu tortulan bir yapı göstermektedir. Bunlardan oluşan topraklar da ana materyallerin türüne bağlı özellikler göstermektedir. Ayrıca kıyı boyunca gelişmiş geniş kumullar da bulunmaktadır. Ağaçlı yöresindeki doğal kara ekosistemlerinden olan Pliosen tortullarından oluşmuş olan kumlu topraklar ile ağır balçık toprakların yanı sıra, durgunlaşmış (ölü) olan genç kumullar ile yaşlı kumullar arasında da toprak oluşumu ve gelişimi bakımından farklar görülmektedir. (Kantarcı, 1988)

Şekil 1: Muhammet Gümüştaş A.Ş. Agrega Ocağı Uydu Görüntüsü

2 DELME FAALİYETLERİ

İşletmede her bir atım 4 sıra olacak şekilde 35-125 arası delik delinerek gerçekleştirilmektedir. Delik çapı 89 mm, delik eğimi 90^0, delik boyu 12,5 metredir. Delik düzeni şeşbeş olmak üzere delik yükü 3 m, delikler arası mesafe 4 m olarak tasarlanmaktadır. Delme işlemi iki vardiyada, tek adet Furukawa HCR 910-DS yer üstü delici makine ile yapılmaktadır.

Delme ve manevra süreleri kronometraj yoluyla tespit edilmiştir. Tablo 2.1'de her atım için ortalama delme süreleri gösterilmektedir.

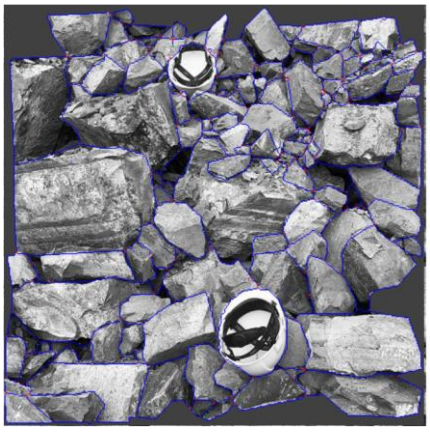
Tablo 1: Tüm Atımlar Ortalama Delme ve Manevra Süreleri Karşılaştırılması

Atım No.	Ortalama Delik Delme Süresi (sn)	Ortalama Manevra Süresi (sn)	Ortalama Toplam Delme Süresi (sn)
1	891,7	40,3	932
2	1171,6	42,1	1213,7
3	612,6	40,4	653
Ortalama	892	40,9	932,9

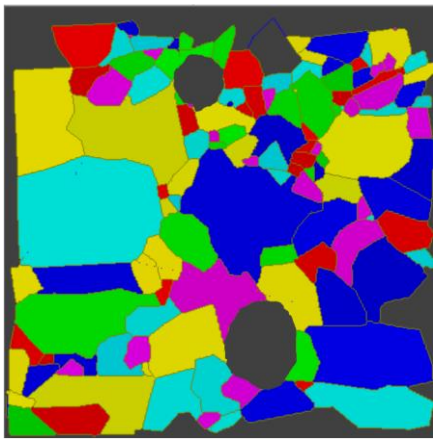
3 PATLATMA FAALİYETLERİ

Agrega ocağında gözlemlenen patlatma tasarım parametreleri incelenmiştir. Sıkılama boyları tüm deliklerde 3 m olarak yapılmaktadır. Delik dibine 1 kg ağırlığında POWERGEL MAGNUM yemleyici yerleştirilmektedir. POWERGEL 650 tipi emülsiyon patlayıcı, yemlemeye duyarlı ana şarj olarak kullanılmaktadır. Delik dibine yerleştirilen yemleyiciye bağlanan 500 ms gecikmeli kapsül, yemleyiciyi ateşlemektedir. Gecikme dizaynı aynı sıradaki delikler için 25 ms ve sıralar arasındaki delikler için 33 ms olarak tasarlanmıştır. Ateşleme işlemi elektriksiz kapsüllerle gerçekleştirilmektedir. Üç araştırmacının yaklaşımlarına göre üç atım için de teorik hesaplamalar yapılmıştır. Teorik dilim kalınlığı 2,67- 3,248 m arasında, delikler arası mesafe 3,78-4,06 m arasında ve sıkılıma 2,67-3,248 m arasında hesaplanmıştır. Atım 3 sonrasında oluşan

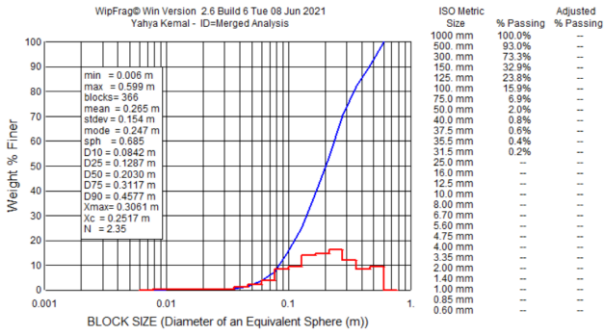
yığının parça boyut dağılımını görüntü işleme yoluyla analiz edebilmek için Wipware Inc. tarafından geliştirilmiş WipFrag yazılımı kullanılmıştır. Atım 3 için yapılan analizde kullanılan ölçekli ham fotoğraflar, işlenmiş fotoğraflar ve WipFrag aracılığıyla elde edilmiş parça boyut dağılım eğrileri verilmiştir. Wipfrag programı ile toplamda 366 bloğun analizi yapılmıştır. Bu atımda Şekil 3.3'de gösterildiği üzere, ortalama parça büyüklüğü (D50) 0,2030 m'dir. Eğrinin eğimini veren üniformite indexi (n) 2,35'tir ve atım sonrası oluşan parçaların %90'ı 0,4577 m boyutundan küçüktür. Malzemenin %63,2'sinin geçtiği elek açıklığına anlamında kullanılan karakteristik boyut (Xc) ise 0,2517 m'dir.



Şekil 2: Atım 3 ölçekli 3. Fotoğraf



Şekil 3: Atım 3 WipFrag ile işlenmiş fotoğraf

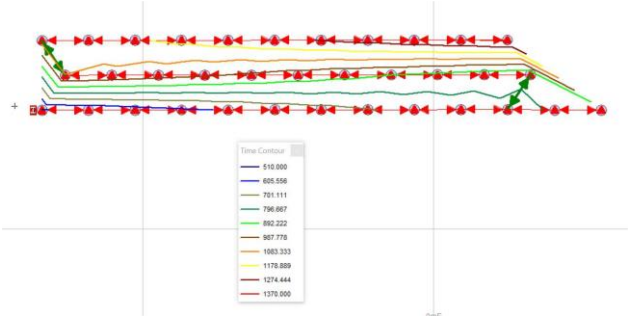


Şekil 4: Atım 3 parça boyut dağılım eğrisi.

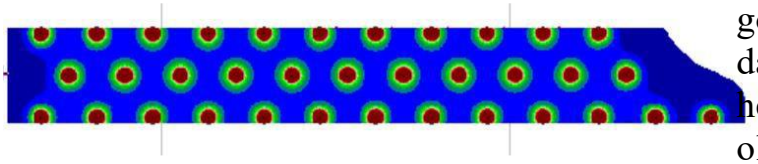
4 JKSIMBLAST YAZILIMI İLE PATLATMA TASARIMI

JkSimBlast, JKTech tarafından geliştirilen ve maden alanında patlatmalar ve ilgili operasyonları tasarlamak amacıyla kullanılan bir yazılımdır. Ana modülleri 2DBench, 2DRing ve 2DFace"tir. Bu modüller sırasıyla açık ocak basamak patlatması tasarımı, yeraltı ve tünel patlatma tasarımı için kullanılır. 3 modülün ortak amacı optimum bir patlatma tasarımı sağlamak, delik içi patlayıcı ve malzeme dolumu, delik içi ve yüzey gecikmesi hesabı yapmak, patlatma simülasyonu ve gerçekleştirmektir (JKTech, 1998). Bu çalışmada açık ocak patlatma tasarımı amacıyla kullanılan 2DBench modülü kullanılmıştır. Patlatma tasarım özellikleri, patlayıcı özellikleri ve ateşleme düzenleri JKSimBlast yazılımına aktarılmış ve Muhammet Gümüştaş A.Ş Agrega Ocağı'nda gerçekleştirilmiş üç patlatma simüle edilmiştir. Ateşlemenin zaman konturları oluşturulmuş ve düşey-yatay kesitler alınarak enerji dağılımları incelenmiştir.

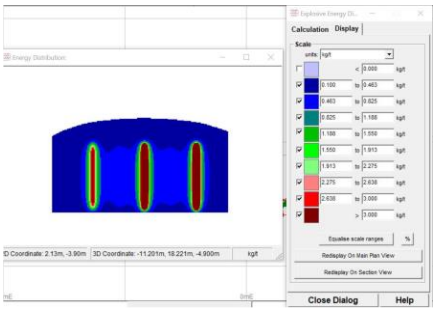
Şekil 5: Atım 3 gecikmeler ve delik düzeni



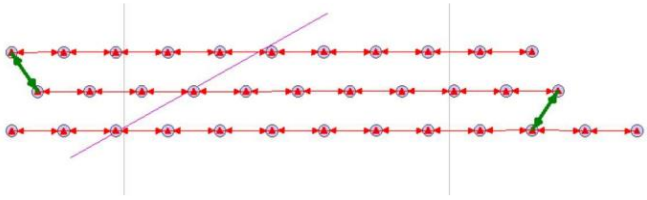
Şekil 6: Atım 3 zaman konturları



Şekil 7: Atım 3 plan görünüşteki enerji dağılımı (kg/t)



Şekil 8: Atım 3 düşey kesitin enerji dağılımı (kg/t).



Şekil 9: Atım 3 düşey kesitin gösterimi

5 SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Muhammet Gümüştaş A.Ş. Agrega Ocağı'nda yapılan 3 atım incelenmiştir. İşletmede kullanılan patlayıcı maddeler, patlatma ve ateşleme düzenleri açıklanmıştır. Literatürdeki Olofsson, Lusk and Paul Worsey ve Morhard'ınn yaklaşımlarından yararlanılarak delik yükü ve delikler arası mesafeler hesaplanmış olup, sahada uygulanan değerler ile kıyaslanmıştır. Hesaplanan teorik dilim kalınlığı 2,67-3,248 metre arasında değişmektedir. Delikler arası mesafe için hesaplanan teorik değerler 3,78-4,06 metre aralığındadır. Hesaplamalar sonucu sahada uygulanan değerlerin, teorik değerlerle çoğunlukla uyuştuğu sonucuna ulaşılmıştır. Atımların özgül şarj değerleri 0,38-0,60 arasında hesaplanmıştır. JKSimBlast yazılımında bu atımların verileri ile plan görünüş, yatay ve düşey kesitlerde enerji dağılımları incelenmiştir. Enerji dağılımı hesaplamaları kg/t birimiyle gerçekleştirilmiş olup skalada kullanılan değer 3 MJ/t alınmıştır. Delikler arasında enerji miktarının genel olarak 0,100-0,463 kg/t mertebesinde olduğu tespit edilmiştir. Atımlarda incelenmiş aynı anda patlayan maksimum şarj değerleri birinci atım için 76,34 kg, diğer atımlar için 85,9 kg'dır. Tüm atımlar için 8 ms'lik dilim içinde patlayan maksimum delik sayısı 2'dir. Atım sonrası yığından alınan ölçekli fotoğrafların WipFrag yazılımına yüklenmesi ve parça sınırlarının çizilmesi işlemlerinden sonra atım 3 için parça boyut dağılım eğrileri elde edilmiş ve atım 3 için elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen ortalama parça boyutu 0,2 m, karakteristik boyut 0,25m ve üniformite indeksi 2,35 olarak ölçülmüştür.

TEŞEKKÜR

Üniversite öğrenimim süresince yanımda olan ve üzerimden desteğini esirgemeyen herkese sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

SoftBlast (2006), "*JKSimBlast Blast Simulation Evaluation and Management, User Manual*"

JKTech, 1998. "*JKSimBlast Blast Simulation Evaluation And Management Software User Manual*, Queensland"

Kantarcı, M.D., 1988. Beydağlarındaki Bakir Sedir Ormanlarında Ekolojik Değerlendirmeler. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, Cilt 38, 2: 69-91.

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Bitirme Tasarım Projeleri Bildirileri

Gürpınar Pekmez (Beylikdüzü—İstanbuI) Büyükçekmece Körfezine Bakan Yamaçta Gelişmiş Kütle Hareketinin Mekanizması ve Analizi

Analysis and Mechanism of the Mass Movement Developed on the Slope Face of Büyükçekmece Bay

B. Çıkrıkcı, K. Tolun, S. Çetin, Y. Mahmutoğlu
İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

ÖZET İstanbul Beylikdüzü ilçesinin güneybatısında bulunan Gürpınar yerleşkesini tehdit eden ve yerleşilmiş kısımlarda hasara neden olan yamaç hareketinin mekanizmasının ortaya konması amacıyla Ekim 2020 ile Haziran 2021 tarihleri arasında yürütülen bu Bitirme Tasarım Projesi'nde hareketin geliştiği bölge incelenmiş, inceleme alanındaki yamacın duraylılığını denetleyen; jeolojik, jeomorfolojik, hidrojeolojik ve jeomekanik özellikler belirlenmiştir. Bu amaç kapsamında, harita ve kesitler hazırlanmış ve litolojik birimlerin duraylılığı etkileyen mühendislik özellikleri derlenmiş, sayısal analiz için AutoCAD ve Phase2 programları kullanılarak mühendislik modelleri oluşturulmuştur. Arazi ve laboratuvar deneyleri ile yapılan analizler sonucunda incelenen yamaçtaki hakim hareket Derin Krip olarak belirlenmiştir. Analiz çözümleriyle yamacın duraylılığında iyileşme sağlanabileceği ve hareketin engellenebileceği saptanmıştır. Yamacın stabilitesinin sağlanması için bir derin drenaj ağı sistemi tasarlanıp maliyet hesabı yapılmıştır
Anahtar Kelimeler: Yamaç, Stabilite, Derin Krip, Derin Drenaj

ABSTRACT This Graduation Design Project, which is carried out between October 2020 and June 2021 aims at reve aling the mechanism of the slope movement that threatens the Gürpinar slope located in the southwest of Istanbul Beylikdüzü district and causes damage to the settled parts, the region where the movement developed was examined, geological, geomorphological, hydrogeological and geo-mechanical boundary conditions that cause a special slope stability problem in the region. Within the scope of this project, maps and sections were prepared, engineering properties of lithological units affecting stability were compiled, and conceptual models were created for numerical analysis using by AutoCAD and Phase2 programs. As a result of the analyzes made with field survey and laboratory experiments, the dominant movement on the slope was identified as a Deep Creep. It has been determined that the stability of the slope can be well analyzed and current movement can be stabilized with special dewatering method. In order to ensure the stability of the slope, a deep drainage system was designed and costs of dewatering structures were calculated for two different cases.
Keywords: Slope, Stability, Deep Creep, Deep Drainage

1 PEKMEZ YAMACINDA GEÇERLİ SINIR KOŞULLARI

1.1 Morfoloji (Lokasyon Bilgileri)

Konum olarak Marmara Bölgesi'nin kuzeyinde, Çatalca-Kocaeli Bölümü'nde Çatalca Yarımadası üzerinde ve İstanbul'un batısında yer almaktadır. Beylikdüzü; 41° 00' 33.57" - 40° 57' 37.69" kuzey enlemleri, 28° 35' 42.47" - 28° 41' 58.03" doğu boylamları arasında yer almaktadır ve yüz ölçümü 3.721 hektardır. İnceleme alanı olan Pekmez bölgesi, Beylikdüzü'nün Gürpınar beldesine bağlıdır. Toplam yüzey alanı 1800 hektardır. İlçenin yerleşim alanı, Büyükçekmece ve Küçükçekmece gölleri

arasında yüksek bir düzlük şeklinde olmakla birlikte, akarsularla yarılmış platolar ve bunların yamaçlarından oluşmaktadır. İnceleme alanının yükseltisi, ortalama olarak fazla olmayıp, güneyden kuzeye gidildikçe artmaktadır. Heyelanlara neden olan yükselti farkı kıyı bölgelerindeki doğu batı uzanımlı alanlarda görülür. Bölgenin, batı ve güney kısımlarında eğim yüzdesinin oldukça arttığı gözlenmektedir. Pekmez bölgesini güneybatıya bakan yamaç oluşturur. Büyükçekmece Körfezine komşu sahil kesimi yataya yakın dolgu alanlarından oluşmaktadır.

1.2 Jeoloji

İnceleme alanına Danişmen Formasyonu' nun (Td) Gürpınar Üyesi (Tg) rezidüellerine ait, çakıl-kum-kil-silt birimler ve Gürpınar Üyesine (Tg) ait kiltaşı-kumtaşı-tüfit birimler bulunmaktadır. İnceleme alanının batı kısmındaki sahile yakın kısımlarda Dolgu Birimler (Qd) olduğu belirlenmiştir.

1.2.1 Gürpınar Üyesi (Tg)

Genellikle, gevşek tuturulmuş miltaşı ve kumtaşı arakatkılı kiltaşı-şeyl türü ince kırıntılılardan oluşur. Bazı kesimlerde tüf-tüfit ve seyrek olarak ince kömür ara düzeyleri bulunur. Gürpınar Üyesi, ince kum ara katkılı başlıca kil-mil boyu kırıntlll gereçten oluşur. Üyenin içinde yer yer kum mercekleri bulunmaktadır. Gürpınar Mahallesi'nde formasyon, çapraz katmanll kumlarla başlayıp, pembe tüf-tüfit düzeyleri kapsayan kırmızı çamur ve killerle sona eren devresel çökelme birimlerini içerir; bazi devresel birimlerin üst kesimlerinde ince linyit ya da karbonca zengin kil ve Congeria'lı kireçtaşı düzeyleri yer alır (Ercan, 1990).

1.3 Hidrojeoloji

İnceleme alanında mostra veren birimler hidrojeolojik olarak Geçirimli (Gç), Yarı Geçirimli (gç), Yarı Geçirimsiz (gz) ve Geçirimsiz (Gz) olarak 4 sınıfa ayrılmıştır. Şans (2020) tarafından, bölgedeki geçirimsiz ortam seviyeleri, bölgesel bir genelleme olarak kuzeyden güneye doğru kot kaybetmekte ve giderek derinleşmektedir. Gürpınar Üyesi genel olarak kiltaşı-şeyl türü ince kırıntılılardan oluştuğundan dolayı baskın olarak aşırı konsolide killerin bulunduğu seviyeler geçirimsiz olarak tanımlanmıştır. Kum merceklerinin bulunduğu bölgeler ise geçirimli olarak adlandırılır. Gürpınar Üyesi tüf-tüfit seviyelerinin varlığı nedeniyle hidrojeolojik açıdan yarı geçirimli, yarı geçirimsiz olarak adlandırılmaktadır. İnceleme alanındaki bir diğer geçirimli birim ise Holosen yaşlı Alüvyon birimdir.

1.4 Yamaç Stabilitesi ve Depremsellik

Genel anlamıyla Gürpınar çevresindeki kütle hareketi olayları, Çukurçeşme Formasyonu' na ait kum ve çakıl birimlerindeki yeraltı suyunun, Gürpınar Üyesi'ne ait killi düzeyleri beslemesi sonucu oluşmaktadır. Bölgedeki duraysızlık sorununun önemli sebeplerinden biri yeraltı ve yer üstü sularıdır. Su, zeminin kayma mukavemetini düşürdüğünden dolayı kütle hareketlerine hızlandırıcı etki yapmaktadır. İnceleme alanında birçok keson ve sondaj kuyularında yeraltı sularına rastlanmış fakat bunların drene edilmediği gözlenmiştir. Ayrıca bölgedeki yamaçlar da kütle hareketi nedeni olan bir diğer faktördür. Bölgedeki heyelanlar genellikle eğimi % 5 ile 25 derece arasında olan yamaçlarda meydana gelmektedir (Demirci ve diğ., 2011). Bu çalışmaya konu olan Pekmez bölgesi, çevresindeki Çukurlar, Pınarkent ve Onbeşevler ile birlikte 4 heyelan bölgesinden biridir. Bölge, 1000 km uzunluğundaki Kuzey Anadolu Fay Hattı' nın etkisi altındadır ve yaklaşık 17 km uzaklıktadır. Beylikdüzü ilçesi için beklenen maksimum yer ivmesi 0.4 g civarındadır. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikler "e göre inceleme alanı I. Derece deprem bölgesinde yer almaktadır (İmre, 2011).

2 JEO-MEKANİK ÖZELLİKLER

İnceleme alanında geçerli zemin koşullarının belirlenebilmesi, zemin ve kaya türlerinin mühendislik jeolojisi açısından özelliklerinin ve düşey yöndeki dağılımlarının belirlenebilmesi için Geomek Mühendislik

(2020) tarafından rötari sondaj sistemi tekniği kullanılarak 49 adet jeoteknik sondaj yapılmıştır.

2.1 Arazi Deney ve Ölçümleri

Araştırma sondajlarında Gürpınar Üyesi'nin örselenmiş sığ kısımlarında yaklaşık 1,5 metre aralıklarla Standart Penetrasyon Deneyleri (SPT) yapılmıştır. İnceleme alanında Geomek tarafından yapılan SPT deneylerinden elde edilen verilere göre SPT-N_{30} değerleri kil ve siltten oluşan kohezif zeminlerde 7-75 arasında değişirken, kum ve çakıl türü kohezyonsuz zeminlerde ise 20-Refü aralıklarında değişmektedir. İnceleme alanında yapılan SPT deney sonuçları incelendiği zaman, New değerleri ile derinlik arasındaki ilişkinin kabaca orantısal olduğu görülmektedir. Bununla birlikte rölatif sıkılık değerlerinin de arttığı görülmektedir.

2.2 Laboratuvar Çalışmaları

Yapılan laboratuvar deney sonuçları incelendiğinde plastisite indisi değerleri Gürpınar Üyesi'ne ait killerin makroskopik ve mezoskopik özellikleri volkanik kökenli içerikleri göz önünde bulundurulduğunda, kıvam limitlerinin yüksek olmasının montmorillonit mineralinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

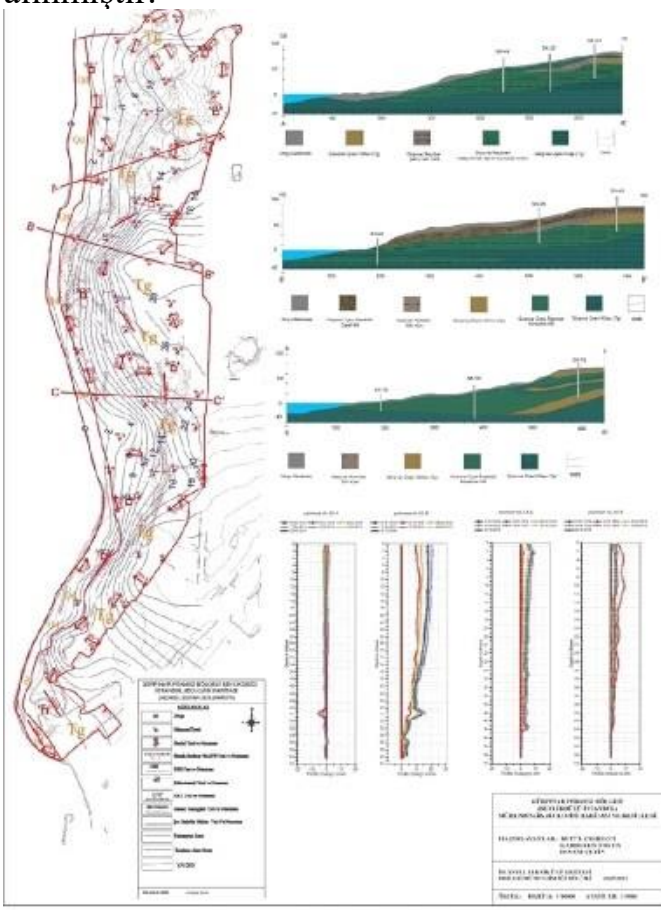
3 KAVRAMSAL MODEL VE SAYISAL ANALİZ

3.1 Mühendislik Jeolojisi Modeli

Yerinde yapılan incelemeler sırasında incelenen yamacın arkasında dike yakın çıkıntı oluşturan ve bir yay gibi uzayan morfolojik anomali paleoheyelan düzlemi olarak değerlendirilmiştir. Bu yüzeyin batısında bulunan ve yamaca doğru uzayan bölgede ise yavaş akmaya işaret sayılabilecek dönme belirtileri sıkça gözlenir. Şekil 1'de inceleme alanının mühendislik jeolojisi haritası, inklinometre sonuçları ve jeolojik kesitler verilmiştir.

3.1.1 Sayısal Model

Analiz edilecek kritik kesitler, önceki çalışmalardan elde edilen veriler değerlendirilerek, mevcut hareketin yönü de dikkate alınarak seçilmiştir. İki boyutlu geometrik modelin uzunluğu inceleme alanının sınırlarını kapsayacak şekilde alınmıştır.



Şekil 1 Mühendislik jeolojisi haritası

3.1.2 Sonlu elemanlar yöntemiyle stabilite analizi

Sayısal modeller, 4 farklı senaryo baz alınarak, İTÜ Bilgi İşlem Daire Başkanlığı lisanslı sonlu elemanlar yazılımı (Phase V9, 2020) yardımıyla Mohr-Coulomb yenilme kriterine göre analiz edilmiştir. Analizlerde önce sondajlardan elde edilen değerler kullanılmıştır. Yerinde kuyu içi deneyleri ve laboratuvarda yapılan deneylerden elde edilen değerlerden hareketin hızı ve miktarı saha gözlemleri ve inklinometre ölçümleriyle uyumsuz sonuç vermiştir. Bu nedenle analizlerden elde edilen sonuçları inklinometre ölçümlerinden elde edilen değerlere düşünceye kadar zemin özelliklerinde iyileştirme yapılacak çözümler tekrarlanmıştır.

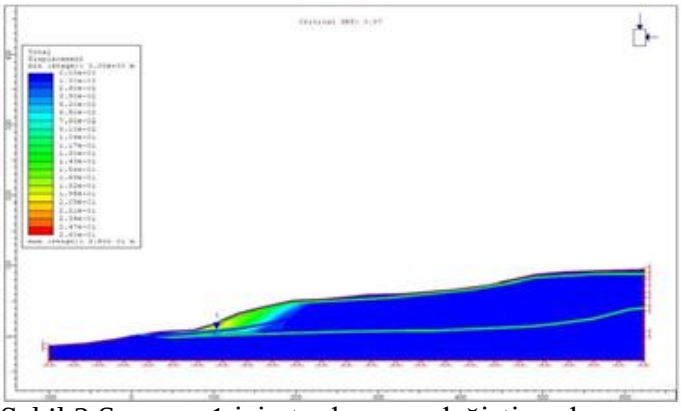
Analiz Senaryoları;

Senaryo 1: Yamacın uzun dönem (drenajlı) durumu (uzun dönem),

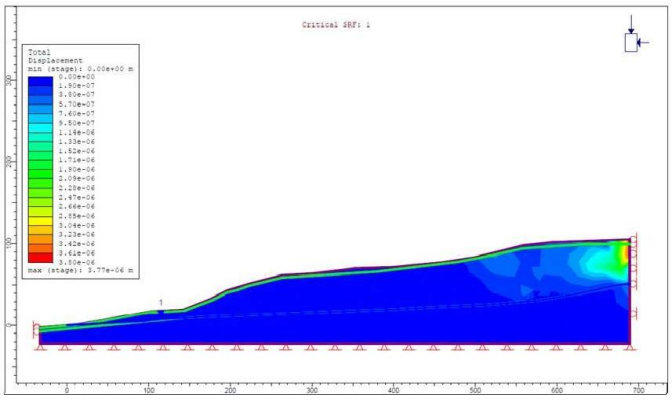
Senaryo 2: Yamacın doğal hali-dinamik durum (kısa dönem),

Senaryo 3: Yamacın yeraltı suyunun düşürüldüğü durum (uzun dönem)

Senaryo 4: Yamacın yeraltı suyunun düşürüldüğü dinamik durumu (kısa dönem)



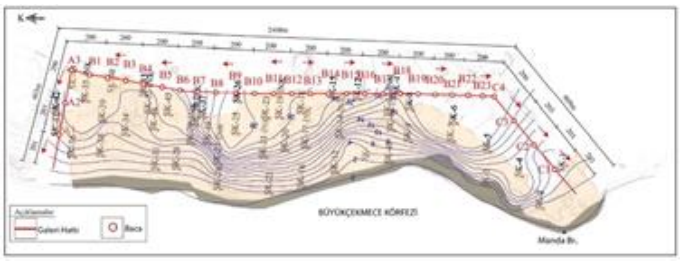
Şekil 2 Senaryo 1 için toplam yer değiştirmeler



Şekil 3 Senaryo 3 için toplam yer değiştirmeler

4 SUSUZLAŞTIRMA PROJESİ

Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar ile hareketin eğim yönünde yavaş akmayla geliştiği belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar ile susuzlaştırma işleminin, yamaçtaki stabiliteyi sağlama açısından yeterli bir uygulama olacağı tespit edilmiştir. Bölgedeki hareketin mekanizması ve yukarıda açıklanan analiz sonuçları birlikte göz önünde tutularak, Pekmez bölgesindeki yamacın stabilitesinin sağlanmasına yönelik galeri ve bacalardan oluşan susuzlaştırma projesi tasarlanmıştır.



Şekil 4. Susuzlaştırma galerileri ve bacaların konum ve numaraları

5 SONUÇLAR

İncelenen yamacın stabilite sorununun uzun vadede önemli bir problem oluşturması nedeniyle, çözüm amaçlı alınabilecek önlemler arasında yeraltı suyu seviyesinin düşürülmesi görülmüş. Bu tür bir YAS Seviyesi düşürülmesi durumu tekrarlanan analizlerle ayrıca irdelenmiştir. Bu senaryo çözümlerinde yamaç stabilitesinde iyileşme sağlandığı ve hareketin engellenebileceği saptanmıştır. Bu sonuçtan hareketle, bölgedeki hareketle mücadele edebilmek için susuzlaştırmanın önemi ortaya çıkmış, bu tür bir uygulama ile ilgili galeri ve baca yöntemi esasına dayalı örnek bir tasarım yapılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bitirme Tasarım Projesi çalışmasının her aşamasında çalışmalarımızı yönlendiren, gerekli olanakları sağlayan, bilimsel yardımlarını ve tecrübelerini esirgemeyen, anlayışla ve sabırla bize yol gösteren değerli danışman hocamız Doç. Dr. Yılmaz MAHMUTOĞLU'na sonsuz teşekkür ve minnetlerimizi sunarız. Son olarak hayatımızın her evresinde bizi destekleyen, maddi ve manevi yanımızda olan değerli ailelerimiz ve arkadaşlarımıza teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

İmre, N, 2011. "Gürpınar Bölgesindeki Heyelanlarln Jeoteknik İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ercan, 1990. Gürpınar Bölgesinin *Yer Mühendislik Projesi , Yer altı aramacılık Bilimsel Araştırma Şirketi , Cilt 1-2 . İstanbul.*

Demirci, A., Karakuyu, M., İncekara, S. ve Karaburun, A., 2011. Gürpmar'daki Kentleşme Sürecinin Heyelan Riski Taşıyan Bölgelerdeki Yapılaşma Açısından Değerlendirilmesi

Geomek Mühendislik, 2020.

Elazığ Hazar Gölü'nde Depremsel Türbiditlerin Sediment Karotlarında Çoklu Parametre Yöntemlerle Belirlenmesi

Determination of Seismic Turbidites in Sediment Cores in Elazığ Lake Hazar by Multiple Parameter Methods

A.Uçar, D.D. Gökgöz, K. K. Eriş
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

ÖZET Hazar Gölü'nün farklı taban noktalarından alınan dört adet sediment karotunda yapılan fiziksel ve kimyasal analizler sonucunda, karotlarda tespit edilen depremsel türbidit birimlerinin çökelim mekanizmaları ve bu türbidit birimlerinin bölgenin depremselliğiyle olan ilişkisi ortaya koyulmaktadır. Karotlarda depremsel türbidit birimlerinin belirlenmesi amacıyla; tane boyu, çok sensörlü karot logu (MSCL) analizleri ile birimlerin fiziksel özellikleri; X ışını floresansı (μ-XRF) elemental analizleriyle birimlerin jeokimyasal özellikleri ve radyografik görüntüleri elde edilmiş olup, belirlenen depremsel türbidit seviyeleri dahilinde radyokarbon (^{14}C) yaşlandırmaları yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda karotlardaki depremsel türbidit birimlerinin, bölgede yer alan hangi stratigrafik birimlerden kaynak almış olabileceği ve sismik aktivite sırasında göl tabanına hangi mekanizmalar eşliğinde çökeldiği tartışılmıştır. Son olarak karotlarda tespit edilen depremsel türbidit birimlerinin, DAF hattı üzerinde gerçekleşmiş tarihsel depremlerle korelasyonu sağlanmıştır.
Anahtar Kelimeler: Depremsel türbidit, Hazar Gölü, Karot Çalışmaları

ABSTRACT The deposition mechanisms of the seismic turbidite units detected in the cores, as well as the relationships between these turbidite units and the seismicity of the region, have been revealed as a result of physical and chemical analyses performed on four sediment cores taken from different bottom points of Lake Hazar. In order to determine the seismic turbidite units in the cores; grain size, multi-sensor core log (MSCL) analyzes and physical properties of units; Geochemical properties and radiographic images of the units were obtained by X-ray fluorescence (μ-XRF) elemental analysis, and radiocarbon (14C) dating was made within the determined seismic turbidite levels. As a consequence of the analyses, it has been determined from which stratigraphic units in the region the seismic turbidite units in the cores originate, as well as the methods by which they deposit on the lake bed during seismic activity. Finally, the seismic turbidite units found in the cores were linked to previous earthquakes that occurred along the EAF line.
Keywords: Seismic turbidite, Lake Hazar, Core Studies

1 GİRİŞ

'Elazığ Hazar Gölü'nde Depremsel Türbiditlerin Sediment Karotlarında Çoklu Parametre Yöntemlerle Belirlenmesi' başlıklı bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği bölümünde; 119Y251 nolu 'Hazar Gölü'nde (Elazığ) Depremsel Türbiditlerin Tayini ile Doğu Anadolu Fayı Hazar-Sincik ve Palu-Hazar Segmentlerinin Deprem Riskinin Tahmini' başlıklı TUBİTAK projesi kapsamında 2020-2021

yılları arasında lisans tez çalışması olarak hazırlanmıştır.

Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde Elazığ ili sınırları içerisinde bulunmakta olan Hazar Gölü; Elazığ il merkezine 22 km uzaklıkta ve deniz seviyesinden 1255 metre yükseklikte yer almaktadır. Güneydoğu Toros Dağları ile çevrelenmiş olan Hazar Gölü'nün kuzeyinde Çalemlik-Mastar Sıra Dağları ve güneyinde Hazarbaba-Yaylım Dağları bulunur. Tabanı Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ile birlikte, Geç Miyosen'de veya daha sonraki bir dönemde şekillenen göl; 25 km uzunluğa ve 7 km genişliğe sahiptir. 38° 31' N enlem ve 39° 25' E boylamında yer alan Hazar Gölü'nün en derin noktası 220 metredir ve havza 78,44 km2'lik alana sahiptir.

2 HAZAR GÖLÜ VE ÇEVRESİNİN GENEL JEOLOJİSİ

Tez kapsamında değerlendirilen çalışma alanı; Orta Miyosen'de Arabistan ve Anadolu Plakalarının çarpışmasıyla başlayan ve DAF'ın oluşumuyla sonuçlanan tektonizmanın etkisi altında şekillenmiştir. Buna paralel olarak bölgedeki birimler yalnızca stratigrafik olarak değil, aynı zamanda tektonik olarak da ilişki barındırmaktadır. Hazar Gölü'nün stratigrafisini oluşturan başlıca birimler: Bitlis Pütürge Metamorfitleri, Guleman Ofiyoliti, Elazığ Magmatitleri, Hazar Grubu, Maden Karmaşığı ve Alüvyonlar'dır.

3 ÇALIŞMA METODLARI

3.1 Karot Çalışmaları

Proje kapsamında gerçekleştirilen arazi çalışmalarında İstanbul Teknik Üniversitesi ve Fırat Üniversitesi altyapısına ait yüzer platform ve karotiyer ekipmanları kullanılarak karot alımı gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasında faydalanılmış olan karotlar, projenin diğer karotlarında da olduğu gibi gravite karotiyer kullanılarak alınmıştır.

3.2 Tane Boyu Analizleri

Çalışma kapsamında depremsel türbiditleri ve onları üzerleyen homojenit seviyelerini belirlemek amacıyla tane boyu analizleri yapılmıştır. Tane boyu analizleri sırasında İTÜ-EMCOL sedimantoloji laboratuvarında bulunan Mastersizer 3000 Laser Granulometer Analizörü kullanılmıştır. Gözlemsel olarak belirlenen kumlu ve siltli seviyelerin tavan ve taban kısımlarında ve bunları takip eden 5-10 cm'lik bölgelerde tane boyu analizleri 0,25 cm çözünürlüğünde yapılmıştır. Karotların diğer seviyelerindeki çökeller ise 1-2 cm aralıklarla taranmıştır.

3.3 Manyetik Duyarlılık (MS) Analizleri

Çökel karotlarının gama yoğunluk, manyetik duyarlılık, gözeneklilik gibi fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla İTÜ-EMCOL karot analiz laboratuvarında bulunan Çok Sensörlü Karot Loglayıcısı (Multi Sensor Core Logger,MSCL) kullanılmıştır. Karot çökellerinin fiziksel özellikleri ~2 mm çözünürlük ile taranmış olup her bir parametrenin söz konusu karotlar boyunca değişimleri ortaya koyulmuştur.

3.4 Karotlarda XRF Analizleri

Çalışma dahilinde incelenen ELZ-04 A, ELZ-12D, ELZ-14A ve ELZ-15A kodlu dört karotun jeokimyasal analizlerinin yapılması için İTÜ EMCOL laboratuvarında bulunan ITRAX cihazı kullanılmıştır. XRF (X-ışınları flüoresans, X-ray fluorescence) yöntemi ile karotlarda K, Ti, Ca, Mn, Fe, Sr, Zr elementlerinin ve Fe/Mn, Ca/Ti, Ca/Sr, Fe/S oranlarının değerleri ölçülmüştür. Bu elementel hesaplamaların birimi cps (count per second) olarak gösterilmektedir. Ayrıca X-Işınları Radyografisi ile (X-Ray Radiograpy) çökel karotları 20 µm aralıklarla taranmış ve karotlara ait

laminasyon, tabakalanma gibi sedimanter yapı özellikleri görüntülenmiştir.

4 BULGULAR

4.1 Karotlarda Gerçekleştirilen Litolojik Çalışmalar

Sedimantolojik çalışmalar kapsamında tez çalışmasında faydalanılan karotların litolojik özellikleri ayrıntılı bir şekilde tanımlanmış ve renk farklılıkları incelenerek düşey sedimantolojik loglarda gösterilmiştir.

4.2 Sediment Karotlarındaki Fiziksel Özellikler

Çalışma kapsamında manyetik duyarlılık analizleriyle, karotlardaki depremsel türbidit birimlerinin fiziksel özellikleri ortaya koyulmuştur. Gama yoğunluk ve manyetik duyarlılık parametreleri çökellerin litolojik özelliklerini oldukça hassas ve doğru bir şekilde verdiğinden, deprem kaynaklı türbiditlerin göstereceği tane boyu değişimi, doku değişimleri ve mineralojik bileşimdeki farklılaşmalar kolaylıkla tespit edilmiştir.

4.3 Sediment Karotlarında Jeokimyasal Analizler

Göl ve deniz gibi sedimanter havzaların jeolojik dönemler boyunca geçirdikleri çevresel değişimler; diyajenetik süreçler ve çökelen malzemelerin kökeni XRF yöntemiyle belirlenen elemental değişimlere bakılarak belirlenebilmektedir. Bu kapsamda incelenen karotlarda elemental analiz profilleri çizdirilmiş ve yorumlanmıştır.

5 TARTIŞMA

5.1 Hazar Gölü'nde Depremsel Türbiditlerin Sedimantolojik ve Jeokimyasal Özellikleri

Proje kapsamında alınmış olan karotlarda yapılan sedimantolojik gözlemler ve tane boyu analizleri sonucunda farklı jeolojik fasiyesler ayırt edilmiş olup, bunların depremsel türbiditlerin oluştuğu dönemde karotun alındığı lokasyona şelften ve yamaçlardan gelen malzemenin litolojik özelliklerine, su derinliğine, gölün fiziksel koşullarına (akıntı vb.) ve ayrıca oluşan türbiditin yoğunluğuna bağlı olarak geliştiği gözlenmektedir. Karotlarda belirlenen depremsel türbidit birimlerinin her birisine ait çoklu parameter yöntemleri karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır. Yapılan analizler sonucunda karotlardaki depremsel türbidit birimlerinin, alındıkları lokasyonun jeomorfolojik özelliklerine de bağlı olacak şekilde ve değişen oranlarda havzada yaygın görülen Hazar Grubu, Maden Kompleksi ve Elazığ Magmatitleri'ne ait istif paketlerinden kaynak aldığı görülmüştür.

5.2 Depremsel Türbiditlerin Çökelme Mekanizmaları

İncelenen ELZ-04, ELZ-12D, ELZ-14A ve ELZ-15A karotlarında türbiditlerin çökelme mekanizmalarını ortaya koymak amacıyla, karotlarda yapılmış tane boyu analizleri çıktılarından hesaplanmış olan; ortalama (mean) , mod (mode), medyan (median) , boylanma (sorting), yamukluk (skewness) gibi parametrelerin birbirlerine oranlarını gösteren grafikler yapılmıştır. Ayrıca türbiditlerin taşınma mekanizmalarını ve bu mekanizmaların tane boyu parametreleriyle ilişkilerini ortaya koyabilmek için Passega (1964) diyagramı hazırlanarak sismik türbidit birimlerinin normal iklimsel türbiditlerden farkları ortaya çıkarılmıştır.
Tasarlanan grafikler ve Passega Diyagram'ları ışığında çökel karotlarında yer alan depremsel türbidit seviyelerinin değişik karakteristik fasiyes özellikleri gösterecek şekilde, çoğunlukla siltli-killi süspansiyon içeren türbidit akıntılarından çökeldiği gözlenmiştir.

5.3 Hazar Gölü ve Çevresinin Paleosismolojisi

Tasarım projesi kapsamında incelenen ELZ-04A karotunun taban seviyesinden (- 92 cm) alınmış olan örneğin ^{14}C izotop yaşlandırma

verisi G.Ö. 5964 +/- 37 olarak elde edilmiştir. Karot boyunca 11 adet depremsel türbidit birimi tespit edilmiştir.

ELZ-12D karotunun taban seviyesinden (-94 cm) alınmış olan örneğin yaş verisi G.Ö. 3026 +/- 43 olarak elde edilirken; ELZ-15A karotunun tabanından (-84 cm) alınmış olan örneğin yaş verisi G.Ö. 3518 +/- 53 olarak tespit edilmiştir. Gölün güney-güneydoğu bölgesinden alınmış olan bu karotlarda 10'ar adet depremsel türbidit birimi tespit edilmiştir. Karotlar genelinde yapılan değerlendirmeler sonucunda, Hazar Gölü'nde ortalama türbidit çökelim aralığı 380 +/- 18 olarak hesaplanmıştır. Karotlarda yapılan ^{14}C yaşlandırmalarına göre, gölün kuzey ve güney koordinatlarında ortalama türbidit birimi çökelim aralıklarının değişkenlik gösterdiği anlaşılmıştır. Ayrıca DAF hattı üzerinde tutulan tarihsel deprem kayıtlarından yola çıkılarak hesaplanmış deprem tekrarlanma aralıklarına göre; karotlardaki depremsel türbidit seviyelerinin çoğunlukla merkez üssü Elazığ (≥20 km) ve deprem büyüklük değerleri mevcut literatür ortalamasına kıyasla yüksek olan depremler tarafından oluşturulduğu sonucuna ulaşılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu bitirme tasarım projesinin hazırlanmasında proje yürütücülüğünü üstlenen ve yönlendiren, projenin her aşamasında bilgi ve tecrübeleriyle bize yol gösteren, İTÜ-EMCOL ailesine kabul ederek bizi bilim insanı olma yolunda teşvik eden Sayın Hocamız Prof. Dr. Kürşad Kadir ERİŞ'e en içten sevgi, saygı ve teşekkürlerimizi sunarız.

Tasarım projesi çalışmamızda kullandığımız verilerin temininde, analiz edilmesinde ve yorumlanmasında, bilgi ve birikimleriyle bize her zaman destek olan İTÜ-EMCOL ailesinden başta Dr. Öğr. Üyesi Gülsen UÇARKUŞ, Ar. Gör. Nurettin YAKUPOĞLU ve Asen SABUNCU olmak üzere, Ar. Gör. Ceren Naz BOZYİĞİT, Erdem KIRKAN ve Dursun ACAR'a katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Eriş, K. K., Çağatay, N., Beck, C., de Lepinay, B.M., & Corina, C. (2012). Late-Pleistocene to Holocene sedimentary fills of the Çınarcık Basin of the Sea of Marmara. *Sedimentary Geology*, *281*, 151-165.

Folk, R. L. (1980). *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill publishing company.

Passega, R., & Byramjee, R., 1969. Grain-size image of clastic deposits. *Sedimentology*, *13*(3-4), 233-252.

Salda Gölü Çökel ve Sularının Biyojeokimyası
Biogeochemistry of Lake Salda Sediments and Waters

Ş. Yalçınkaya, Y. Güneş, N. Çelik Balcı
İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Sunulan bu çalışmada, Salda Gölü'nün çökel ve sularında mikrobiyalit-organosedimenter yapılara neden olan mikrobiyal reaksiyonlar araştırılmıştır. Arazi çalışması sırasında toplanan güncel çökel ve suların jeokimyasal karakteristikleri, mikrobiyolojik içerikleri ise kültürleme yöntemi ile ortaya konmuştur. Jeokimyasal analizler sonucu alkalin karakterdeki göl sularının ortalama Mg^{+2}, Na^{+}, Ca^{+2} değerlerini sırasıyla 334,58, 320,37 ve 20,92 mg/L olarak saptanmıştır. Ayrıca, jeokimyasal analizler gölün Oligotrofik (besin fakiri) özelliğe sahip olduğunu göstermiştir. Göl sedimanları ve mikrobiyalitler üzerinde yapılan mineralojik çalışmalar, hidromanyezit (Hmg), aragonit (Arg) ve kuvars (Qtz) minerallerini ortaya koymuştur. Gölden alınan sediman, su ve mikrobiyal mat örnekleri üzerinde yapılan kültür çalışmaları, fototrofik temelli bir mikrobiyal topluluk ortaya koymuştur. Mikroskop incelemeleri sonucu küre ve filament şekilli siyanobakterilerin ve bu yapılara sıklıkla eşlik eden diatomların çevresinde oluşan çökelimlerin varlığı gölde gelişen organosedimanter yapıların oluşmasında bu türlerin rol aldığını göstermektedir. Yerküre'nin en eski yaşam formlarına benzerlik sergileyen mikrobiyal türleri içermesi ile Mars'ta olası yaşamın izlerinin tayin edilmesine rehberlik edecek jeolojik içeriğe sahip bu gölün korunarak jeopark haline dönüştürülmesi önerilmektedir.
Anahtar Kelimeler: Salda Gölü, mikrobiyal mat, biyojeokimya, Mars, Erken Yerküre

ABSTRACT In this thesis, identified geochemical and mineralogical characteristics of the lake's water and sediments was combined with microbial community profile of the lake to constrain how Lake Salda's stromatolites have occurred. Geochemical characteristics of water and sediments along with the microbiological community profile of the lake were carried out. Geochemical analysis showed that lake has an oligotrophic characteristic and Mg, Na, Ca concentration as 334,58, 320,37 and 20,92 mg/L, respectively. Mineralogical identification of sediment and organosedimenter structures of the lake revealed hydromagnesite, aragonite, and quartz minerals. Culture based studies of sediment, water and microbialites showed phototrophic dominated microbial niche in the lake. Microscopic observations of microbial mats revealed coccus and filament shape cyanobacteria often accompanied with diatoms and closely related to precipitation, suggesting biologically induced precipitation. Lake Salda, holding the earliest life forms as well as having a potential to guide search for life on Mars, should be classified as Jeopark.
Keywords: Salda Lake, microbial mat, biogeochemistry, Mars, Early Earth

1 GENEL BİLGİLER

1.1 Giriş

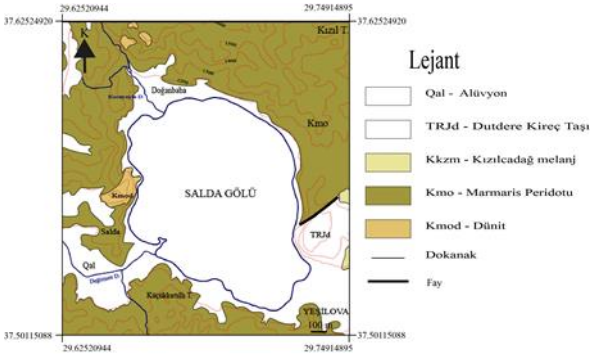
Salda Gölü, Türkiye'nin güneybatısında, göller bölgesinde yer almaktadır. Alkalin bir göl olup Türkiye'nin en derin göllerden biridir. Göl, kendine özgü su kimyası ve jeolojik/morfolojik özellikleri ile farklı mikrobiyal canlıların yaşamasına elverişli bir ortam sağlar. Bu projenin amacı, Salda Gölü çevresindeki organosedimanter hidromanyezit çökellerinin arazi gözlemleri ve laboratuvar çalışmaları ile yapıları ve jeokimyalarını ortaya koymak, bu çökellerle ilişkili siyanobakterilerin laboratuvar koşullarında büyüme ve biyomineralizasyon faaliyetlerini incelemektir. Çalışmaların sonucunda, gün geçtikçe popülaritesi artan Salda Gölü ve çevresinin korunması için gerekli önlemlerin, elde edilen bilimsel verilerle daha etkili bir şekilde hayata geçirilmesi için katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Proje kapsamında 2021 Mart ayında arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. Arazide su, sediman, sertleşmiş hidromanyezit çökelleri ve mikrobiyal matörnekleri alınıp yerinde gözlemler yapılmıştır. Alınan örneklerin analizleri, İTÜ Jeomikrobiyoloji - Biyojeokimya Laboratuvarında yapılmıştır. Analizler: göl suyu alkalinite (titrasyon methodu), anyon analizleri iyon kromatografisi (IC-Dionex), indüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS), X ışını kırınım yöntemi (XRD) ve X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF). Bunlara ek olarak bakteri zenginleştirme deney setleri kurulmuştur.

Çalışma sonuçları, Salda Gölü ve çevresinin tanıtılması, gölün jeokimyasal karakteristikleri, mikrobiyal reakisyonlar ve ekonomik açıdan bölgenin değerlendirilmesi çerçevesinde değerlendirilmiş ve sunulmuştur.

1.2 Genel Jeoloji

Bölge Kretase yaşlı ofiyolitler, serpantinleşmiş harburjitlerden ve dunitlerden oluşmaktadır. Ayrıca tektonizma sonucu gölün doğusuna kireçtaşları gelmiştir. Gölün sahil şeridinde kalın güncel alüvyonlar görülmektedir (Şekil 1). Güncel alüvyonların üstlerinde hidromanyezit taraçalar gözlenmektedir (Braihwate, Zedef, 1994; Varol vd.,2020).



Şekil 1. Salda Gölü ve çevresinin jeolojik haritası

1.3 Arazi Çalışmaları

Salda Gölü ve çevresinde arazi çalışmaları kapsamında su, sediman, sertleşmiş hidromanyezit çökelleri ve mikrobiyal mat örnekleri alınmıştır. Ayrıca arazide yerinde yapılan gözlemlerde gölün içerisinde aktif olarak oluşan stromatolitlerin üzerinin mikrobiyal matlarla sarıldığı görülmüştür. Yapılara yakından bakıldığında içinde karbonat taneleri de görülebilmektedir. Stromatolitlerin morfolojileri küçük kolon ve karnabahar yapıları olarak adlandırılabilir (Şekil 2).

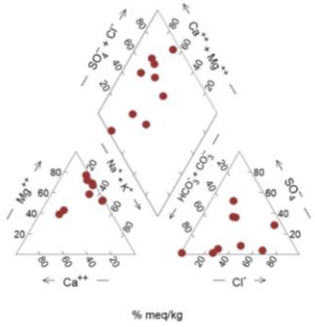
Şekil 2. Salda Gölü Doğanbaba sahilindeki stromatolitler

2 LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Arazi çalışması kapsamında alınan örnekler jeokimyasal analizler ve bakteri zenginleştirme deneyleri olarak kendi içinde ikiye ayrılmaktadır. Alınan örnek lokasyonlarında ölçülen ortalama pH değeri 8,9'dur.

2.1 Jeokimyasal Analizler

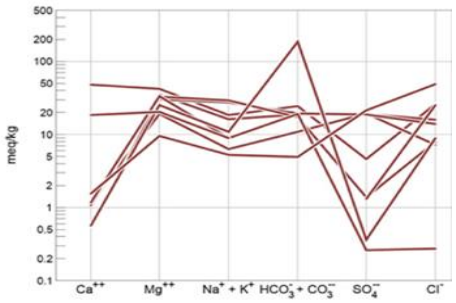
Göl suyunun alkalinitesi titrasyon methodu ile 1700 mg/L olarak ölçülmüştür. Analiz sonuçlarına göre göl sularının ortama Mg^{+2} değeri 334,58 mg/L, Na^{+} değeri 320,37 mg/L ve Ca^{+2} değeri 20,92 mg/L'dir. Piper Diyagramına göre göl suları kalsiyum sülfatlı ve kalsiyum bikarbonatlı olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 3).



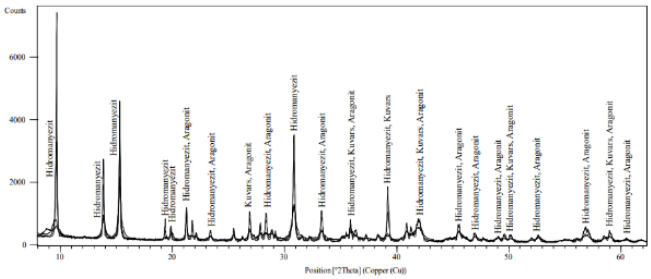
Şekil 3. Salda Gölü'nün Piper Diyagramına göre sınıflandırılması

Yapılan jeokimyasal analizler sonucu katyon trendi Mg^{+2}> Na^{+1}> Ca^{+2}> K^{+1} ve anyon trendi Cl^{-1}> HCO_3^{-1}> SO_4^{-2}> NO_3^{-1} olarak saptanmıştır. Schoeller diyagramına göre gölün klorür miktarı 17,15 mek/L olup oligoklorürlü sular, sülfat miktarına göre 9,60 mek/L olup oligosülfatlı sular karbonat miktarına göre 16,56 mek/L olup hiperkarbonatlı sular sınıfında yer almaktadır (Şekil 4).

Göl sedimanları üzerinde XRD ve XRF analizleri yapılmıştır. Mineralojik bileşimi hidromanyezit, aragonit ve kuvars olarak saptanmıştır (Şekil 5). Sediman örneklerinin major iyon içerikleri ortalama % 47,853 MgO %4,489 SiO_2 ve %3,436 CaO olarak belirlenmiştir.



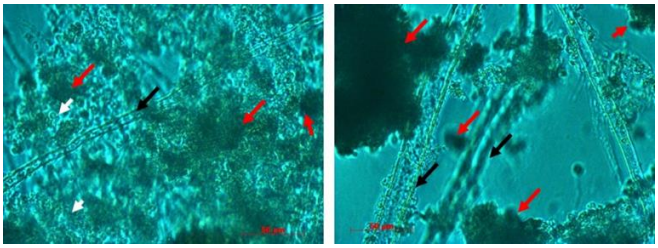
Şekil 4. Salda Göl suyunun sınıflandırılması (Scholler Diyagramı)



Şekil 5. Sediman örneklerinin mineral içerikleri (XRD)

2.2 Bakteri Zenginleştirmesi Deneyleri

Salda Gölü'nden alınan sediman, su örnekleri ile bakteri zenginleştirme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Salda Gölü su kimyasına en yakın besiyer BG11 olarak tespit edilmiştir. 50 ml BG11 besiyeri içerisine 5 ml göl suyu ekilerek hazırlanan örnekler $+25^0$C'de ışıklı etüvde büyümeleri için iki hafta süreyle tutulmuştur. İki hafta sonucunda örneklerde küf gözlemlenmiştir. Küften arınmak için katı besiyere ekilmiştir ve küf elimine edilmiştir. Bu işlem sonucunda katıdan sıvıya ekim işlemi gerçekleştirilmiştir. Sıvıya ikinci ekim işlemi sırasında bakteri konsantrasyonunu arttırmak için son hacim 100 ml olacak şekilde 90 ml besiyer ve 10 ml büyütülmüş kültürden konulmuştur. Mikroskop incelemeleri sonucu coccus-küre ve filament şekilli siyanobakteriler gözlemlenmiştir. Buna ek olarak diatomlar da tespit edilmiştir. Gözlemlenen bu fototrofik ağırlıklı siyanobakteri çevresinde yoğun mineral oluşumları tespit edilmiştir.



Şekil 5. Coccus (beyaz ok) ve filament (siyah ok) şekilli bakterilerle yakından ilişkili mineral çökelimleri (kırmızı ok)

3 EKONOMİK DEĞER: JEOPARK

Salda Gölü'ü kendisine has ekolojik ve jeolojik yapısı nedeniylesit alanı olarak ilan edilmelidir. Son zamanlarda bölgenin popülaritesinin artmasıyla turizm anlamında büyük önem kazanmıştır. Ziyaretçi sayılarının artması göl çevresinde antropojenik kaynaklı tahribatı da attırmaktadır. Gölün yapısını korumak amacıyla Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından bölge Özel Çevre Koruma Bölgesi olarak ilan edilmiştir.

Salda Gölü ve çevresinin sadece jeolojik olarak ele alınmayıp gölün biyoçeşitliliği, kuş gözlem yeri olması ve çevresinde endemik bitkilerin yer alması göz önünde bulundurulmalıdır. Bu bağlamda göl ve çevresinin, ziyaretçiler ile bilim insanlarının bir arada bulunabileceği bir jeopark olarak planlanmasını önermekteyiz.

Salda Gölü ve çevresi ile ilgili UNESCO'ya jeopark çalışmalarının onaylanması için başvuru da yapılmalıdır. Başvurunun onaylanması durumunda Salda Gölü ve çevresi jeopark olarak hizmet sunmalıdır.

4 SONUÇLAR

Arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda hidromanyezit içerikli organosedimanter yapıların mikrobiyal etkiler sonucu oluştuğu, bu mikrobiyal konsorsiyomda siyanobakterilerin ağırklı yer aldığı tespit edilmiştir. Bu mikrobiyal yapılar üzerinde yapılan mikroskop çalışmaları sonucunda filament ve coccus yapılı siyanobakteriler tespit edilmiştir. Buna ek olarak diatomlar bu yapının içerisinde sıklıkla görülmektedir.

Salda Gölü'nün su modeli; meteorik ve yeraltı suları bölgedeki ultramafik kayaçlarla etkileşime girerek göle Mg girişini sağlamaktadır. Littoral zondaki siyanobakterilerin ağırlıkta olduğu mikrobiyal matlar arazide de gözlenebilmektedir. Göl sularında ve çökellerinde yaygın olarak tespit ettiğimiz siyobakteriler göl suyu içerisinde ki çözünmüş halde bulunan karbon dioksiti ve Mg'u karbonat şeklinde bağlayarak organo sedimanter stromatolitlerin oluşmasına neden olan ana biyojeokimyasal faaliyettir. Fotosentetik mikroorganizmaların faaliyetleri sonucunda artan alkalinite karbonatların özellikle filament ve küre şekilli siyobakterilerin etrafında çökelmesine neden olmaktadır. Ancak, Balci vd., 2020'de ilk defa ortaya koydukları çalışmada stromatolitlerin oluşmasında siyanobakterilerin yanısıra diğer mikrobiyal metabolik faaliyetlerinde etkin olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle, gölde daha fazla örnek ve lokasyonda yapılacak çalışmalarla gölün detaylı biyojeokimyasal haritasının çıkarılması planlanmaktadır.

TEŞEKKÜR

İ.T.Ü. Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümü, Jeomikrobiyoloji-Biyojeokimya laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

Bu bitirme tezi, İTÜ BAP Birimi Lisans Öğrencisi Katılımlı Araştırma Projesi (İTÜ-LÖKAP, proje No: 42473) kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Braithwaite, C. J. ve Zedef, V., 1994. Living hydormagnesite stromatolites from Turkey, Sedimentary Geology 92, 1-2.

Balcı, N., Güneş, Y., Kaiser, J., Akcer On, S., Eris, K., Garczynski, B., Horgan, B., HN. 2020. Biotic and Abiotic Imprints on Mg-Rich Stromatolites: Lessons from Lake Salda, SW,Turkey, Geomicrobiology Journal, Cilt:37, 401-425.

Varol, S., Küçük, M., Davraz, A., Şener, Ş., Şener, E., Aksever, F., Kırkan, B., Tokgözlü, A., 2020. Salda Gölü havzası güneyinin (Yeşilova/Burdur) hidrojeolojisi ve hidrojeokimyasal özelliklerinin incelemesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 77-78.

Doğal Taş Üretim Atıklarının Değerlendirilmesine Yönelik Yöntemlerin Araştırılması

Investigation of Methods For The Assessment of Natural Stone Production Waste

E.Barış, Y.M.Kurt, A.Demirel
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖZET İnceleme alanımız Gümüşhane il merkezine bağlı olan İkisu ve Mescitli köylerinin arasında bulunan Hamurkesen Formasyonunda bulunur. Gümüşhane ile ilgili olarak iklim, nüfus, ulaşım imkanları, depremsellik, bitki örtüsü ve morfolojiden tezde bahsedilmiştir. Bölgenin jeolojisi, stratigrafisi, yapısal jeolojisi ve jeolojik evrimi haritalar ve kesitler yardımı ile ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Doğal taşların dünya ve Türkiye ekonomisine etkileri grafikler yardımıyla değerlendirilmiştir. Doğal taş üretim atıklarının çevreye olumsuz etkileri; gürültü, toz oluşumu ve hava kirliği, yer sarsıntıları ve taş savrulmaları, hidrojeolojik bozulmalar, görsel değerlere olan etkisi ve bitki örtüsünün değiştirilmesi ve kaldırılması alt başlıkları halinde incelenmiş olup ayrıca bunlara çözümler de aranmıştır. Doğal taş üretim atıkları oluşum yerlerine ve boyutlarına göre ayrı ayrı sınıflandırılarak atıkların oluşum aşamalarından bahsedilmiştir. Daha sonra doğal taş atık türünün ve boyutunun atığın kullanım alanına etkisi ele alındıktan sonra mermerin doğal yapısı sebebiyle oluşan atıklardan bahsedilmiştir. Tüm bu bilgilerden sonra tezimizin ana konusunu oluşturan doğal taş üretim atıklarının değerlendirilmesine yönelik yöntemler aşamasına geçilmiştir. Bu yöntemlerden en ekonomik olanları ve en sık kullanılanlarına tezimizde yer verilmiştir. Bu bilgilerin ardından Güvencem Mermer A.Ş. tarafından gelen veriler ile birlikte atıkların sebep olduğu ekonomik zararı saptamak için ortalama bir maliyet hesabı yapılmıştır. Ayrıca bu atıkların paledyen uygulamalarında kullanıldığı durumlarda firmanın elde edeceği kar miktarını belirlemek amacıyla paledyen uygulamaları için de maliyet hesabı yapılmıştır.

ABSTRACT Our study area is located in Hamurkesen Formation located between İkisu and Mescitli villages, which are connected to Gümüşhane city center. The geology, stratigraphy, structural geology and geological evolution of the region are mentioned in detail with the help of maps and sections. Natural stone production wastes were classified separately according to their place of formation and size, and the stages of the formation of the wastes were mentioned. Then, after the effect of the type and size of natural stone waste on the usage area of the waste, the wastes formed due to the natural structure of marble are mentioned. After all this information, the stage of methods for the evaluation of natural stone production wastes, which is the main subject of our thesis, has been started. The most economical of these methods and the most frequently used ones are included in our thesis. These methods are; It is used in paledian applications, used in concrete production, used in the glass industry,

used in the production of composite materials, used in brick production and used in the ceramic industry. Following this information, an average cost calculation was made to determine the economic damage caused by the wastes by using the data of Güvencem Marble A.Ş. In addition, in order to determine the amount of profit that the company will gain in cases where these wastes are used in paledian applications, a cost calculation has been made for the paledian applications.

1 GİRİŞ

1.1 Projenin amacı

İlgili bölgeden elde edilen veriler ve yapılan araştırmalar doğrultusunda, olası tüm doğal taş üretim atıklarının değerlendirilme yöntemlerinin araştırılıp bunlardan hangisinin çalışılan bölge için en uygun maliyetli olduğuna karar vermektir. Bunların yanında doğal taş üretim atığının içeriğinin kullanım alanına etkilerini belirlemek, doğal taşların ülkeye ekonomik etkilerini saptamak ve bu doğal taş üretim atıklarının çevreye zararlarını da açıklamaktır. Tüm bu bilgilerin sonucunda karar verilen en uygun yöntemi firmaya sunmaktır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı ve Yöntemi

Bu tez konusunun seçilmesinin sebebi her yıl bilinçsizce doğaya salınan binlerce ton doğal taş atıklarının hem ekonomik hem de çevresel anlamda büyük zararlara yol açmasıdır. Tezde belirlenen yöntemler sayesinde bu zararların önlenmesine yönelik bir çalışma hazırlanmıştır. Prof. Dr. Emin ÇİFTÇİ tarafından belirlenen ve bilgileri paylaşılan Gümüşhane bölgesi çalışma alanını oluşturmaktadır. Teze başlanılmadan önce ilgili literatür iyice araştırılmış ve önceki çalışmalar incelenmiştir. . Mevcut pandemi şartlarında herhangi bir arazi çalışması yapılamadığından dolayı ilgili bölgedeki doğal taş üretimi yapan işletmelere Öğr. Üyesi Dr. İbrahim AKPINAR aracılığıyla ulaşıldı. Bu firmalardan birisi olan Güvencem Mermer A.Ş. tarafından tezimiz için gerekli olan veriler temin edilmiştir. Bu veriler ışığında danışmanlarımızdan Prof. Dr. M. Sezai KIRİKOĞLU'nun yönlendirmeleri sonucunda uygun atık değerlendirilme yöntemleri tezde açıklanmıştır. Bir sonraki adımda Öğr. Üyesi Dr. Demet KIRAN YILDIRIM ile bu yöntemlere dair maliyet hesaplamaları hakkında bir plan yapılmıştır. Son adımda ise bu atıkların değerlendirilmesiyle ilgili nihai karar maliyet hesaplarına ve atıkların karakteristik özelliklerine göre belirlenerek Güvencem Mermer A.Ş.'ye bir rapor sunulmuştur.

2 İNCELEME ALANININ JEOLOJİSİ

İnceleme alanı Ketin (1966) tarafından tanımlanan Pontidler'in doğu kesiminde bulunur. Bu bölge litostatigrafik özellikleri bakımından birbirinden farklı Kuzey zon ve Güney zon olarak iki zona ayrılmıştır. Kuzey zon magmatik aktiviteden yüksek oranda etkilenen kesimdir, Güney zon ise magmatik aktivitenin dışında kalan tortul havza çökellerinin bulunduğu bölgeyi temsil eder. Çalışma alanının büyük bir bölümü Doğu Pontidler'in Kuzey zonu içerisinde yer alırken, az bir kısmı Güney zon içerisindedir.

2.1 Stratigrafi

Bölge litostatigrafik özellikleri bakımından iki farklı zona ayrılır. Güney Zonda yaşlıdan gence sırasıyla, Hamurkesen Formasyonu, Berdiga Formasyonu, Mescitli Formasyonu ve Kabaköy Formasyonu bulunur. Kuzey Zonda ise yaşlıdan gence sırasıyla, Hamurkesen Formasyonu, Berdiga Formasyonu, Çatak Formasyonu, Kızılkaya Formasyonu, Çağlayan Formasyonu, Çayırbağ Formasyonu, Bakırköy Formasyonu ve Kabaköy Formasyonu bulur.

3 DOĞAL TAŞ ÜRETİM ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK YÖNTEMLER

3.1 Yöntemler

Yapılan çalışmada belirlenen yöntemler ile doğal taş atıklarının geri dönüşümü sayesinde, bu atıkların çeşitli endüstrilerde kullanılabilir hale getirilmesi sayesinde hem ülkelerin ekonomilerine ve istihdam oranlarına katkı sağlanır, hem de daha çevreci bir bakış açısıyla doğaya zarar en aza indirilir. Doğal taşların kesim işlemleri sonucunda %40 ve %70 oranları arasında değişen kesim atıkları ortaya çıkmaktadır. Oluşan atık miktarları kesilen malzemenin mineralojisine, çatlak yapısına, süreksizliği ve bunun gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Genellikle atıkların değerlendirilmesinde kullanılan en yaygın yöntemler; paledyen uygulamalarında kullanımı, beton üretiminde kullanımı, cam endüstrisinde kullanımı, kompozit yapı malzemesi olarak kullanımı, tuğla üretiminde kullanımı ve seramik sektöründe kullanımı şeklindedir.

3.1.1 Doğal Taş Üretim Atıklarının Paledyen Uygulamalarında Kullanımı

Blok mermerlerden belirli boyutlarda plaka mermer elde edilmesi sırasında istenilen ebatlardan daha küçük boyutlarda atık olarak nitelendirilen parça plakalar ortaya çıkar. Sözü edilen bu parça plakalara paledyen adı verilir. Paledyenlerin kalınlıkları çoğunlukla 2 ve 3 cm olmakta birlikte özel siparişler doğrultusunda farklı kalınlıklarda da olabilmektedir. Yüzey genişlikleri ise çoğunlukla 20x20 cm'dir. Paledyenler uzun zamandır pasajlarda, iş yerlerinde, kaldırımlarda, okullarda ve çeşitli binalarda yer döşemesi olarak çimento harcı ile birlikte değerlendirilmektedir. Zemin üzerine rastgele veya düzenli olarak yerleştirilen paledyenlerin arasına sade veya boya ilave edilmiş beyaz çimento harcı dökülerek zemin döşenir. Dökülen çimento harcı kuruduktan sonra silme taşı kullanılarak zemin parlatılır. Zemin yeterli dayanıma ulaştıktan sonra sonda yüzey zımpara taşı ile silinerek istenilen sonuca ulaşılmış olur. Pladyenler güzel görünüme ve desene sahip olduğunda, ekonomik olarak büyük getirileri olabilir.

3.1.1.1 Paledyen Uygulamalarının Maliyet Analizi

Blok üretimi için 0.426m^3 paledyen kullanılması uygun görülmüştür, mermerin ortalama yoğunluğu 2.057 ton/m^3'tür, yapıştırma işlemi için 20kg akemi kullanılmıştır ve bunun maliyeti 1600TL'dir, yapıştırma işlemi için 3 kişi 3 gün boyunca görevlendirilmiştir ve işçi ücreti 1350TL'dir, paledyenin maliyeti 1.62TL/kg'dir, kullanılan paledyenin toplam maliyeti 1419,5TL'dir, diğer maliyetler ise 4000TL'dir, toplam maliyet ise 8369,5TL tutmuştur. Bloktan elde edilen paledyen miktarı 108m^2'dir, ortalama mermer fiyatları günüzde 170TL/m^2'dir. Bu veriler ile bir bloktan elde edilecek gelir miktarı 18360TL, bloktan elde edilecek kar 9990,5TL ve 1m^3 bloktan elde edilecek kar miktarı 23451,8TL olarak hesaplanmıştır.

4 SONUÇLAR

Çalışma alanımız daha çok magmatik etkiden oldukça fazla etkilenmiş Kuzey zon tarafında bulunduğu belirlenmiştir. Güney zon ise magmatik aktivitenin dışında kalan sedimanter havza çökellerinin bulunduğu bölgeyi temsil ettiği görülmüştür. Gümüşhane Türkiye' nin en aktif fay zonlarından biri olan Kuzey Anadolu Fay Hattı'na sahip olması sebebiyle çalışma alanımızda bu faylara yakın yerlerde doğrultu, ters ve normal faylardan bulunabileceği sonucuna varılmıştır. Türkiye coğrafi konumu nedeniyle yer altı kaynakları bakımından oldukça zengin kaynaklara sahiptir. Türkiye'nin sahip olduğu en önemli

yer altı zenginliklerinden birisi mermerdir. Mermer, kalsitin belirli sıcaklık ve basınç koşulları altında metamorfizma geçirmesi ile oluşur. Projemiz kapsamında verilerin alındığı Güvencem Mermer A.Ş.' de üretilen mermerlerin %40'ı atık olarak meydana geldiği tespit edilmiştir. Mermerleri de içeren bu doğal taş atıkları üretim tesisinden uzak bölgelerdeki pasa döküm arazilerine bırakıldığı durumlarda nakliye işleminden dolayı üretim maliyetini arttırmaktadır, eğer bu işlem, işletme sahasının içerisinde depolanırsa sahanın kullanım verimliliği azalmaktadır. Tüm ekonomik zararların yanında bu atıklar depolandıkları bölgede ve çevresinde topoğrafya değişikliklerine, yüzey ve yeraltı sularının bozulmasına, görüntü ve hava kirliliği gibi çevresel sorunlara neden olurlar. Bu noktada bu atıklara belirli değerlendirme yöntemleri uygulanılarak hem doğal taş üretimi yapan firmalar hem de çevre için oldukça önemlidir. Güvencem Mermer A.Ş.'ye ait veriler ile yapılan maliyet hesaplamaları sonucunda atıkları kullanmadığı yani doğaya bıraktığında günlük zararının, günlük üretimin yüksek olmasının da etkisiyle 123649 TL olduğu hesaplanmıştır ve bu tez kapsamında ilgili firmanın atıklarının miktarı ve boyutu göz önüne alındığında en uygun değerlendirme yönteminin bu atıkların paledyen uygulamalarında kullanılması olduğu sonucuna varılmıştır. Paledyen uygulamalarıyla ilgili olarak firmanın verileri ile yapılan maliyet hesaplamalarının sonucunda 1 m^3 bloktan elde edilecek kar miktarı 23451,8 TL olarak hesaplanmıştır.

TEŞEKKÜR

Yapmış olduğumuz Bitirme Tasarım Projemiz boyunca bize yol gösteren, her türlü sıkıntımızda yanımızda olan danışman hocalarımız Prof. Dr. Emin ÇİFTÇİ, Prof. Dr. M. Sezai KIRIKOĞLU ve Öğr. Üyesi Dr. Demet KIRAN YILDIRIM hocalarımıza sonsuz teşekkürlerimizi iletiriz.

Çalışmanın kapsamında ilgili verilere ulaşmamıza ve bölge hakkındaki bilgi toplamamıza olanak sağlayarak projemize büyük yardımlarda bulunan Öğr. Üyesi Dr. İbrahim AKPINAR ve Güvencem Mermer A.Ş.'ye teşekkürlerimizi sunarız.

Bugünlere gelmemizde kuşkusuz en büyük pay sahibi olan ailelerimize ve sevgili arkadaşlarımız Barış DEMİREL, Arzu DEMİREL, Ayhan DEMİREL, Vahap BARIŞ, Naime BARIŞ, Yasemin BARIŞ, Mustafa KURT, Meryem KURT, M. Taha KURT, N. Elif KURT, Damla AYTAN, Betül ÇIKRIKCI, Turusan ASAK, Berkay DEDE, Oğuzkaan OKUR, Tunahan Uğur TURAN ve Furkan BAYBURT'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Ağar, A., Altınbaş, F, A., Eroğlu, İ, C., Hamzaçebi, S., Aydın, Ü., ve Çetiner, L., 2017. "Trabzon-Rize (Doğu Karadeniz Bölgesi) Metalik Maden Aramaları"*, MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, Cilt. 23, s. 53-65.

Altındağ, R., 2018. Doğal Taş Ocaklarında Artık Oluşumunun Önlenmesi ve Artıkların Değerlendirilmesi. "*Muğla Büyükşehir Belediyesi Kültür Yayınları" (Editör T.Güler ve E. Polat)*, Muğla, s. 35-50.

Cihan, İ., 2016. "Mineralogy and Geochemıstry of The Kocadal (Torul, Gümüşhane, Eastern Black Sea Region, Turkey) Zn-Pb-Ag, Au and Cu Mineralizations", *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, Cilt. 153, s. 139-158.

Elçi, H., Hacımustafaoğlu, R., Yılmaz, M., ve Yılmaz, Ö., 2017. "As A Source Of Raw Materials Dimension Stone Wastes, A Case Study Torbalı–İzmir, Turkey", *ISME2017,* Bodrum/TURKEY, s. 1029-1042.

Özcan, D., 2011. "Gümüşhane – Torul – Yücebelen (Adile Mezrası) ve Yakın Dolayının Jeolojik Ve Petrografik Olarak İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, s. 1-5.

Yıldız, Ö., 1995. "Afyon Yöresi Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 37-45.

Kuzuluk (Sakarya) Bölgesindeki Eosen Volkanitlerinde Fay Zonları ile İlişkili Cu Cevherleşmesinin Jeokimyasal Özellikleri

Geochemical Characteristics of Cu Oreerization Related to Fault Zones in Eocene Volcanites in Kuzuluk (Sakarya) Region

C. Korkmaz, Z.B. Aydın , M. Kumral
İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul

C. Yalçın
Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Ankara

ÖZET 26 - 30 Eylül 2020 tarihinde Sakarya, Akyazı ilçesinin Kuzuluk Mahallesi'nin Güneybatısındaki alanda çalışılmıştır. Olası Cu cevherleşmesinin işletilebilirliğinin irdelenmesi amacıyla Eosen volkanitlerindeki fay zonları ile ilişkili Cu cevherleşmesinin jeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Yığılca Formasyonuna ait tüfler içerisindeki fay zonlarıyla ilişkili epijenetik damar tipi Cu cevherleşmesi gözlenmekte olup cevher damarının mostrası eğim atımlı faylar ile sınırlandırılmıştır. Araziden sistematik alınan örneklerin İTÜ Jeokimya Araştırmaları Laboratuvarı'nda X-Ray Fluorescence (XRF) ve ICP-MS analizleri gerçekleştirilmiştir. Cevher zonundaki örneklerin major-oksit ve iz-element değerlerinin bölgesel değişimi Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda fay zonundan uzaklaştıkça Cu değerlerinin azalarak altere zonlara geçtiği belirlenmiştir. Alterasyon jeokimyası çalışmalarında cevher zonunda hesaplanan kimyasal alterasyon indeksi (CIA) değerleri; 11,1455- 45,1478, klorit-karbonat-pirit indeksi (CCPI) değerleri; 99,8185 – 100 ve alterasyon indeksi (AI) değerleri 4,9645- 26,8169 arasındadır. Bu veriler ışığında alterasyonların karbonatlaşma şeklinde olduğu belirlenmiştir. Jeokimyasal verilerin istatistiksel analizi sonucunda ise Cu ve Rb'nin pozitif korelasyon gösterdiği, Pb ile negatif korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Cevher damarının doğrultusu, eğimi, kalınlığı ve jeokimyasal analiz sonuçlarına göre ekonomik durumunun belirlenmesi için muhtemel rezerv hesabı yapılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Eosen volkanitleri, epijenetik damar tipi Cu cevherleşmesi, alterasyon jeokimyası.

ABSTRACT The study was conducted on the southwest of the Kuzuluk District of Akyazı district, Sakarya on 26 - 30 September 2020. In order to examine the exploitability of possible Cu mineralization, geochemical characteristics of Cu mineralization associated with fault zones in Eocene volcanics were investigated. Epigenetic vein type Cu mineralization associated with fault zones in the tuffs of the Yığılca Formation is observed and the exposure of the ore vein is limited by dip-slip faults. X-Ray Fluorescence (XRF) and ICP-MS analyzes of the systematically collected samples from the field were carried out in ITU Geochemistry Research Laboratory. The regional variation of major-oxide and trace-element values of the samples in the ore zone were analyzed in the Geographical Information System (GIS) environment. As a result of the analyzes made, it was determined that the Cu values decreased as they moved away from the fault zone and passed into the altered zones. Chemical alteration index (CIA) values calculated in the ore zone in alteration geochemistry studies; 11,1455- 45,1478, chlorite-carbonate-pyrite index (CCPI) values; 99.8185 – 100 and alteration index (AI) values range from 4.9645 to 26.8169. In the light of these data, it has been determined that the alterations are in the form of carbonation. As a result of the statistical analysis of the geochemical data, it was determined that Cu and Rb showed a positive correlation and showed a negative correlation with Pb. Probable reserve calculation was made to determine the direction, slope, thickness of the ore vein and its economic status according to the results of geochemical analysis.
Keywords: Eocene volcanite, epigenetic vein type Cu oreization, alteration geochemistry.

1 GİRİŞ

26-30 Eylül 2020 tarihinde Sakarya, Akyazı ilçesinin Kuzuluk Mahallesi'nin Güneybatısındaki alanda çalışılmıştır. Olası Cu cevherleşmesinin işletilebilirliğinin irdelenmesi amacıyla Eosen volkanitlerindeki fay zonları ile ilişkili Cu cevherleşmesinin jeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Araziden sistematik alınan örneklerle laboratuvar çalışmaları tamamlanmıştır. İTÜ Jeokimya Araştırmaları Laboratuvarı'nda X-Ray Fluorescence (XRF) ve ICP-MS analizleri gerçekleştirilmiştir. Büro çalışmalarında MS Office, Adobe Illustrator, Grapher 9, ArcGIS kullanılmıştır.

2 GENEL JEOLOJİ

2.1 Çalışma Alanı Jeolojisi

İnceleme alanı Türkiye'nin ana tektonik birimlerinden olan Sakarya zonunda yer almaktadır. İnceleme alanında Mesozoyik-Senozoyik yaşlı birimler bulunmaktadır. Bu birimler Sultaniye Metamorfitleri, türbiditik çökellerden oluşan Abant Formasyonu, Çaycuma Formasyonu ve Yığılca Formasyonu şeklindedir. Bu istifi ise Pliyosen yaşlı Örencik Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar açısal uyumsuzlukla örtmektedir.

3 CEVHER MİNERALOJİSİ

3.1 Cevherleşme

Cu cevherleşmesi Eosen yaşlı tüfler içerisinde epijenetik oluşumlu ve damar tipi şeklindedir. Cevherleşme ortalama 20 metre genişliğinde 170 metre uzunluğundadır.

3.2 Petrografik Çalışmalar

Cevher petrografisi çalışmaları sonucunda cevher parajenezi pirit, kalkopirit ve bornit ve götitten oluşmaktadır. El ve parlak kesit örnekleri cevher minerallerinin saçınımlı olduğunu göstermektedir.

4 JEOKİMYASAL İNCELEMELER

4.1 Jeokimyasal Analizlerin Yorumlanması

Cevher zonunda derlenen örneklerin smajör oksit ve iz element analizleri gerçekleştirilmiştir. SiO_2 değerlerinin %5 ile %33 arasında Fe_2O_3 değerlerinin %14-24 arasında SO_3 değerlerinin ise %6-32 arasında olduğu belirlenmiştir. Cu ise maksimum 1711 ppm'e ulaşmaktadır.

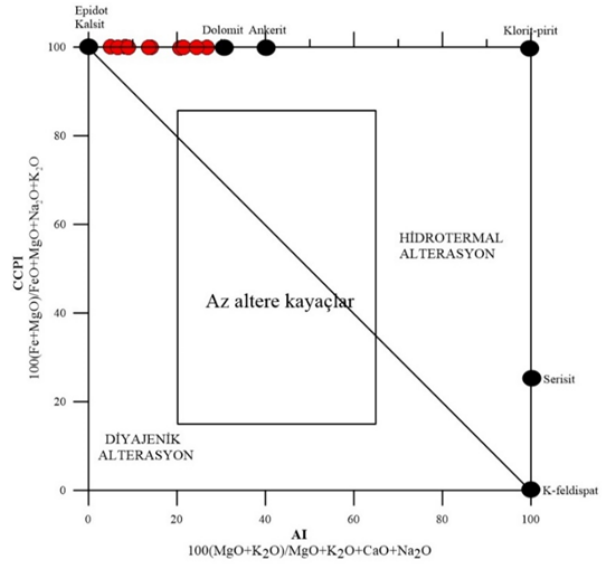
4.2 Alterasyon Jeokimyası

Cevher zonu boyunca yan kayaç ve cevher damarı boyunca yoğun alterasyonlar gözlenmektedir. Bu sebeple cevher zonunda alterasyon jeokimyası [1] çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada çeşitli hesaplamalar yapılmıştır.

- Klorit-karbonat-pirit indeksi [2][3] (CCPI=100(MgO+ FeO*) / (MgO + FeO* + Na_2O+ K_2O).
- Kimyasal alterasyon indeksi [4] (CIA=molarAl_2O_3/(Al_2O_3+CaO*+Na_2O+K_2 O) × 100).
- Alterasyon indeksi [2][3] (AI=100(K_2O+MgO)/(K_2O+MgO+Na_2O+Ca O).

Klorit-karbonat-pirit indeksi (CCPI) değerleri; 99,8185–100, kimyasal alterasyon indeksi (CIA) değerleri; 11,1455-45,1478, alterasyon indeksi (AI) değerleri ise 4,9645-26,8169 aralığındadır (Tablo 1).

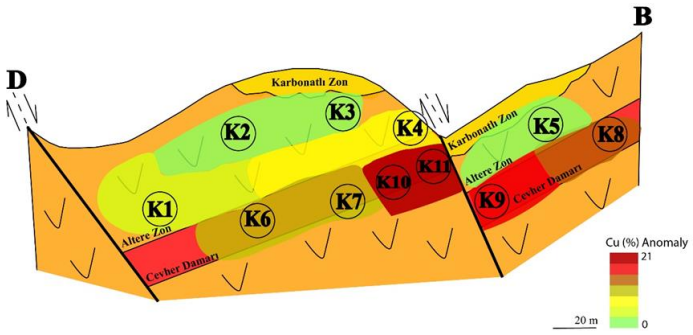
CCPI-AI diyagramı incelendiğinde (Şekil 1) cevher zonuna ait örneklerin hidrotermal alterasyon bölgesinde [3] bulunduğu belirlenmiştir. Petrografik ve jeokimyasal çalışmalar sonucunda cevher zonunda görülen yaygın alterasyonun karbonatlaşma şeklinde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1. Cevher zonlarındaki örnekler için CCPI- AI diyagramı

4.3 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Analizi

Çalışma alanından alınan örneklerin Cu, Zn, Fe_2O_3, SO_3, SiO_2, As, CaO, Pb major oksit değerlerine bakılarak Eosen volkanitlerinin CBS ortamında ısı haritaları (heatmap) oluşturulmuştur. Cu cevherleşmesinin fay zonları ile ilişkisi incelendiğinde fay zonuna yaklaşıldıkça Cu konsantrasyonunun arttığı ve uzaklaştıkça altere zonlara geçtiği alterasyonun ise genel olarak karbonatlaşma şeklinde olduğu görülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Cu major oksit değerlerinin ısı haritası

4.4 Jeoistatistik

İnceleme alanından derlenen örneklerin karşılaştırmalı bir şekilde jeokimyasal davranışlarını incelemek amacıyla iz element değerlerine bakılarak korelasyon matrisi hazırlanmıştır (Tablo 1).

-Cu ile Rb arasında yüksek korelasyon gözlenmektedir.
-Cu ile Pb arasında yüksek negatif korelasyon gözlenmektedir.
Tablo 1. Korelasyon matrisi

	Cu	V	Co	Ni	Sc	Zn	Ga	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Cs	Ba	Pb
Cu	1.00																
V	0.50	1.00															
Co	0.46	0.46	1.00														
Ni	-0.55	-0.56	-0.39	1.00													
Sc	0.56	0.89	0.51	-0.69	1.00												
Zn	0.18	-0.34	-0.12	-0.36	-0.14	1.00											
Ga	0.57	0.27	0.59	-0.23	0.15	-0.22	1.00										
As	0.46	-0.13	0.17	0.39	-0.21	0.11	0.37	1.00									
Rb	0.74	0.60	0.31	-0.49	0.74	-0.20	0.43	0.09	1.00								
Sr	0.28	0.41	0.31	-0.15	0.28	-0.47	0.54	0.12	0.46	1.00							
Y	0.28	0.52	0.64	-0.08	0.60	-0.41	0.41	0.14	0.51	0.27	1.00						
Zr	0.59	0.80	0.77	-0.27	0.71	-0.45	0.52	0.28	0.55	0.48	0.70	1.00					
Nb	0.30	0.63	0.40	0.02	0.64	-0.52	0.18	0.18	0.58	0.29	0.84	0.69	1.00				
Mo	0.47	-0.19	0.18	0.30	-0.28	0.24	0.45	0.92	-0.02	-0.12	0.05	0.19	-0.02	1.00			
Cs	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00		
Ba	0.53	0.82	0.48	-0.27	0.63	-0.24	0.28	0.28	0.35	0.24	0.39	0.85	0.46	0.27	0.00	1.00	
Pb	-0.83	-0.38	-0.25	0.80	-0.53	-0.49	-0.36	-0.12	-0.65	-0.27	0.00	-0.24	0.02	-0.13	0.00	-0.25	1.00

5 EKONOMİK JEOLOJİ

Laboratuvar analizi ve araziden elde edilen sonuçlara göre; tenörü ortalama 1014,6 ppm olan Cu ile yan kayaç ağırlığı çarpıldığında toplam Cu değeri 37.598,49 ton olarak hesaplanmıştır.

6 SONUÇ

1. MTA tarafından yapılmış jeolojik haritalar referans alınarak 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır.
2. Stratigrafisine bakıldığında yaşlıdan gence doğru metamorfik kayaçlar, kumtaşı-şeyl-kiltaşı ardalanması, tüf, aglomera ve volkanojenik kumtaşı içeren volkanik birimler; konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ardalanması ve alüvyon birimleri gözlenmektedir.
3. İnceleme alanında Yığılca formasyonu içerisinde eğim atımlı faylar ile sınırlandırılmış damar tipinde epijenetik oluşumlu Cu cevherleşmesi bulunmaktadır. Cevher parajenezi pirit, kalkopirit, bornit ve götitden oluşur.
4. Cevher zonunda cevher damarının doğrultusu K55D, eğim ve eğim yönü ise 20GD şeklindedir.
5. Yapılan jeokimyasal analiz sonucunda Cu maksimum 1711 ppm iken ortalama değeri 1014,6 ppm şeklindedir.
6. Bölgede yer alan genç yaşlı eğim atımlı fayların KAF'ın etkisi ile oluştuğu, cevher oluşturan fay mekanizmasının da bu faya ait stresler sonucunda olduğu düşünülmektedir.

7. Bölgede bilinen hidrotermal sular, saha çalışmaları, cevher mikroskobisi ve jeokimyasal analiz sonuçları bu cevherleşmenin damar tipi hidrotermal bir yatağı karakterize ettiğini göstermektedir.
8. Alterasyon jeokimyası çalışmalarında İndeks değerlerine bakılacak olunursa klorit-karbonat-pirit indeksi (CCPI) değerleri; 99,8185 – 100, kimyasal alterasyon indeksi (CIA) değerleri; 11,1455-45,1478, alterasyon indeksi (AI) değerleri ise 4,9645-26,8169 aralığındadır. Genel alterasyon eğiliminin ise karbonatlaşma ve kloritleşme şeklinde olduğu belirtilmiştir.
9. Sistematik örneklerin cevher zonundaki jeokimyasal değişimini anlamak amacıyla CBS ortamında tematik haritalar hazırlanmıştır. Buna göre: Kuzuluk (Sakarya) bölgesindeki Eosen volkanitlerinde Cu cevherleşmesinin fay zonları ile ilişkisi incelendiğinde fay zonuna yaklaşıldıkça Cu konsantrasyonunun arttığı ve uzaklaştıkça altere zonlara geçtiği alterasyonun ise genel olarak karbonatlaşma şeklinde olduğu görülmektedir.
10. Yapılan jeokimyasal analiz sonuçları istatistiksel olarak da yorumlanmıştır. Korelasyon ve regresyon analizi sonucunda Cu ile Rb arasında pozitif korelasyon ve Pb ile negatif korelasyon gösterdiği belirlenmiştir.
11. Yapılan hesaplamalar sonucunda bölgede muhtemel rezerv olarak 37.598,49 ton Cu ve 19.151,29 ton Zn bulunmaktadır. Londra Metal Borsası'ndan 23 Ocak 2021 tarihinde alınan verilere göre toplam cevher rezervi 353.475.539,78 $ dır.
12. Cevher zonunun kökeninin belirlenmesi için cevher damarı ile ilişkili kuvars damarlarından sıvı kapanımı yapılmalıdır. Ayrıca cevher oluşturan çözeltilerin kökeni için ise birincil pirit, kalkopirit ve bornitten ^{34}S ve ^{18}O izotop çalışmaları yapılmalıdır. Bu minerallerden ayrıca mikroprob çalışmaları da yapılarak daha detay veriler elde edilecektir. Son olarak da piritlerden Re/Os yaşlandırma yapılarak cevherin oluşum yaşı belirlenebilir. Belirlenen yaş ile bölgedeki önemli bir yapısal unsur olan KAF'ın etkisi yorumlanabilir.

TEŞEKKÜR

Tezin her aşamasında bize yardımcı olan Doç. Dr. Mustafa Kumral ve Dr. Cihan Yalçın'a teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

Genç, Y., 2001. *Altere Kayaçlar Petrografisi*, s.3.**[1]**

Ishikawa Y., Sawaguchi T., Iwaya S., Horiuchi M. 1976. Delineation of Prospecting Targets for Kuroko Deposits Based on Modes of Volcanism of Underlying Dacite and Alteration Haloes. Mining Geology, 26: 105-117. **[2]**

Large R.R., Gemmell J.B., Paulick H., Huston D.L. 2001. The alteration box plot: A simple approach to understanding the relationship between alteration mineralogy and lithogeochemistry associated with volcanichosted massive sulfi de deposits: Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists, 96: 957-971. **[3]**

Nesbitt H.W., Young G.M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. Nature, 299: 715-717. **[4]**

Nesbitt, H. W., Young, G. M. 1989. Formation and diagenesis of weathering profiles: *The Journal of Geology*, 97: 129-147. **[5]**

Gümüşhane İli Kuzeyinde Yer Alan Silisleşmiş Kireçtaşı Breşlerinin Jeolojik, Jeokimyasal ve Gemolojik İncelenmesi

Geological, Geochemical and Gemological Investigation of Silicified Limestone Breccia in the North of Gumushane Province

Ö.Ö. Geren, Y. Aksu, M.S. Kırıkoğlu, E. Çiftçi, D. Yıldırım Kıran
İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu tez çalışması kapsamında, Türkiye'nin kuzeydoğusunda bulunan Gümüşhane ili kuzeyinde yer alan Trabzon C28 ve D28 paftalarının jeolojik incelemesi ve Alt-Orta Jura yaşlı Hamurkesen Formasyonu içerisinde bulunan silisleşmiş kireçtaşı breşlerinin mineralojik, petrografik ve jeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Proje kapsamında, Gümüşhane iline bağlı çalışma alanında doğal taş işletmeciliği yapmakta olan Gümüşzon Madencilik A.Ş'ye ait pasalar sürdürülebilir madencilik anlayışı ile endüstriye tekrardan kazandırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusundan firmaya ait mermer ocağı pasaları temin edilip, süs taşı olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. El örneklerinin, İTÜ Maden Fakültesi Dedeman Optik Mineraloji Labarotuvarı'nda mineralojik ve petrografik incelemeleri yapılmıştır. İnceleme alanının bazaltik andezitlerden meydana geldiği; başlıca minerallerin kuvars, kalsit, plajioklaz ve hematit olduğu belirlenmiştir. XRD çalışmalarının sonucunda belirtilen parajenezin doğru olduğu tespit edilmiştir. Numunelerin fiziksel ve gemolojik özellikleri dikkate alınarak Zümrüt Tabii ve Sentetik Taş İşletmeciliği'nde takı tasarımı yapılmış ve kabaşon kesim uygulanmıştır. Bu tez çalışmasının sonucunda silisleşmiş kireçtaşı breşlerinin yarı kıymetli taş ve süs taşı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Gümüşhane, Süstaşı, Gemoloji

ABSTRACT Within the scope of this thesis, the geological investigation of Trabzon C28 and D28 sheets located in the north of Gümüşhane province in the northeast of Turkey and mineralogical, petrographic and geochemical properties of silicified limestone breccias in the Lower-Middle Jurassic Hamurkesen Formation were investigated. Within the scope of the project, it is aimed to reintroduce the wastes of Gümüşzon Madencilik A.Ş., which operates in the working area of Gümüşhane province, to the industry with a sustainable mining approach. For this purpose, marble quarry wastes belonging to the company were procured and their usability as ornamental stones were examined. Mineralogical and petrographic examinations of the hand samples were carried out at ITU Mining Faculty Dedeman Optical Mineralogy Laboratory. The study area consists of basaltic andesites; It was determined that the main minerals were quartz, calcite, plagioclase and hematite. As a result of XRD studies, it was determined that the indicated paragenesis was correct. Considering the physical and gemological properties of the samples, jewelry was designed in Emerald Natural and Synthetic Stone Management and cabochon cutting was applied. As a result of this thesis, the usability of silicified limestone breccias as semi-precious stones and ornamental stones was investigated.
Key Words: Gumushane, Gemology, Ornamental stone

1 GİRİŞ

Bu tasarım projesi kapsamında, Gümüşhane ili kuzeyinde yer alan silişleşmiş kireçtaşı breşlerinin jeolojisi, gemolojik incelenmesi ve kıymetli taş veya dekorasyon taşı olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Dünya sorunlarının başında, hızlı sanayileşme ve nüfus artışına bağlı olarak doğal kaynakların

bilinçsiz tüketimi gelmektedir. Maden atıklarının/pasalarının değerlendirilmesi, depolanan maden atıklarının çevreye verdiği zararın minimalize edilmesinde ve sürdürülebilir madenciliğin sağlanmasında gereklidir. Günümüzde çevre sorunlarına karşı duyarlılığın artmasıyla birlikte sürdürülebilir madencilik yaklaşımına verilmesi gereken önem de artmaktadır. Tüm bu yaklaşımlardan yola çıkarak, bu tasarım projesinde mermer madenciliği atıklarından elde edilen numuneler kullanılmıştır.

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada söz konusu kireçtaşı breşlerinin mineralojik, petrografik, jeokimyasal incelenmesi, kesilebilirlik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılmasını amaçlanmaktadır. Gerekli laboratuvar ve literatür çalışmaları ardından elde edilen sonuçlar ışığında taşın fiziksel ve gemolojik özelliklerine göre en uygun kullanım şekli belirlenecek ve mühendislik tasarımı yapılacaktır.

1.2 Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Gümüşhane ili kuzeyinde Gümüşhane – Trabzon karayolunun girişinde yer alan İkisu köyü 'nün 1.05 km Güneyinde Mescitli köyü 'nün ise 2 km Batısında yer almaktadır. Numunelerin temin edildiği firma ruhsat alanı 96.35 Hektar alanı kaplamaktadır.

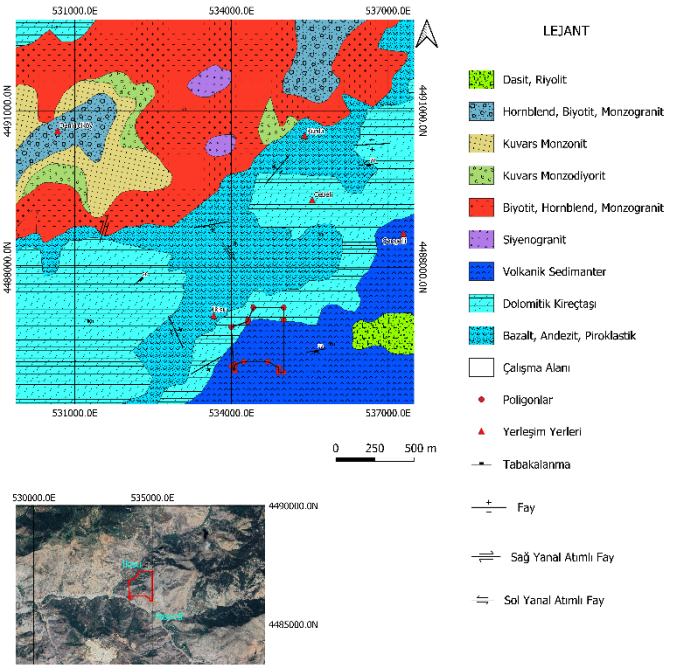
1.3 Çalışma Yöntemleri

Maden Tetkik ve Arama tarafından çıkartılmış olan 1/100.000 ölçekli topoğrafya haritalarından yararlanılmıştır. Literatür araştırmaları ve çalışma alanına ait Trabzon C28 ve D28 paftalarından yararlanılarak, Qgis programı ile 1:25000 ölçekli jeoloji haritası oluşturulmuştur (Şekil 1).

Çalışma sahasından temin edilen 10 adet el örneği ince kesit haline getirildikten sonra İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Dedeman Optik Mineraloji laboratuvarında cevher mikroskopisi için polarizan mikroskopla incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanından (hepsi çalışma alanı olsun) temin edilen el örneklerinden 8 adet temsili örneğin mineral bileşimlerini belirlemek amacıyla X-ışınları Difraksiyon (XRD) analizi gerçekleştirilmiştir.

Mineralojik/Petrografik ve Jeokimyasal veriler ışığında bölgedeki breşleşme ve breşleşmeye bağlı silişme konsunda yorumlamalar yapılmıştır. Yapılan araştırmaların sonucunda örneklerin yarı kıymetli süs taşları olarak işlenebilirliği araştırılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanını kapsayan 1:25000 ölçekli jeoloji haritası (Kaygusuz vd., 2008 sadeleştirilmiştir).

2 GENEL JEOLOJİ

Bölgeye özgü temel Paleozoik, Devoniyen yaşlı Kurtoğlu metamorfiklerinin, Paleotetisin kuzey kısmının güneye doğru dalmasında meydana gelen intrüsif karaktere sahip Permo-Karbonifer yaşlı Gümüşhane graniti ile oluşmaktadır. Temelde bulunan metamorfikler Gümüşhane Graniti (Yılmaz, 1972); Gümüşhane Plutonu (Çoğulu, 1975); Gümüşhane Batoliti (Topuz vd., 2010); Köse Kompozit Plutonu (Dokuz, 2011) olarak adlandırılan birimin başlıca mineral bileşimi granodiyorit, kuvarslı mikrodiyorit, granit ve dasittir. Üzerine Erken-Orta Jura yaşlı Hamurkesen Formasyonu uyumsuz olarak istiflenmiştir. Derin denizel ortamın özelliklerini taşıyan bu birim genişletme tektoniği ile ilişkilendirilir. Hamurkesen Formasyonu, volkano-sedimanterlerden meydana gelmektedir. Alt-Orta Jura döneminde gerçekleşen aktif tektonik hareketlerden meydana gelen çökellerin devamında Geç Jura'dan Erken Kretase

dönemi arasında sakin tektonik hareketlerin sonucunda çökelen karbonat platformu çökelmiştir (Yılmaz, 2002). Karbonat platformu, Doğu Pontidler'de yaygın bir alanlarda görülmektedir. Bol fosil içeren platformda sığ denizel kireçtaşı, dolomit ve dolomotik kireçtaşı görülmektedir. Hamurkesen Formasyonunun üzerine uyumlu bir şekilde çökelen Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu, riftleşmenin devamında sığ denizel ortamın özelliklerini taşıyan platform kireçtaşlarından oluşmaktadır. Berdiga Formasyonu Turoniyen-Paleosen yaşlı Mescitli Formasyonu olarak adlandırılan istif tarafından uyumlu olarak örtülmektedir. Bütün bu birimlerin üzerine Alibaba Formasyonu olarak isimlendirilen Orta Eosen yaşlı volkano-tortul birim çökelmektedir (Tokel, 1972).

3 MİNERALOJİK PETROGRAFİK İNCELEMELER

3.1 İnce Kesit Çalışmaları

Çalışma alanının farklı bölgelerinden alınan volkanik kayaçların mineralojik bileşiminde birincil olarak; kalsit, kuvars, plajiyoklaz, hematit içermektedir. İkincil olarak ise olivin ve amfibol içeriği mevcuttur. İncelemelerde çatlaklarda ya da boşluklarda uygun sıcaklık ve basınç koşullarında gelişme imkânı bulan iri taneli Kalsit, Hematit ve Kuvars mineralleri tespit edilmiştir. Nadir olarak sınırları belli iri kalsit kristalleri gözlenmiştir. İnceleme alnanına ait örneklerde, ağırlıklı olarak matriksi oluşturan mikritik kalsitler bulunmaktadır. Çalışma alanında bulunan Hamurkesen Formasyonu'na ait bazaltik andezitik ana kayaçtan elde edilen ince kesitlerde iri kristalli kuvarslar tespit edilmiştir, bunun yanında olivin minerallerinin içerisinde silis birikmesi sonucunda ikincil kuvars oluşumları da gözlenmiştir. Çalışma alanına ait volkanik kayaç çatlaklarında, hidrotermal alterasyon sonucu silis ve karbonat birikmesi ile birlikte kuvars ve kalsit damarları gözlemlenmektedir. Yapılan ince kesit incelemelerinde, silisleşme ve karbonatlaşmaya bağlı alterasyonlar kayacın neredeyse tamamını kaplamıştır.

3.2 XRD Çalışmaları

Çalışma alanından temin edilen el örneklerinin mineralojik bileşimini belirlemek amacıyla XRD (X-Ray Diffraction Analysis: X-Işını Kırınım Analizi) çalışması gerçekleştirilmiştir.

Yapılan XRD çalışması sonuçlarına göre, Gümüşhane ili kuzeyinde yer alan silisleşmiş kireçtaşı breşlerinin ana minerallerinin; kuvars, kalsit, dolomit ve klinoklor olduğu gözlenmiştir. 8 adet örneğin XRD sonuçları Çizelge 1'de gösterilmiştir

Çizelge 1. XRD Sonuçları

ÖN	Mineralojik Birleşim
G1	Kalsit + Kuvars + Jips
G2	Dolomit + Kalsit + Kuvars + Muskovit + İllit – Montmorillonit + Klinoklor + Albit
G3	Kuvars + Kalsit + Dolomit + Klinoklor + Vermikulit + Muskovit + Albit
G4	Kalsit + Kuvars +Klinoklor + Dolomit + Albit (Ca) + Hematit + Montmorillonit
G5	Kalsit + Kuvars + Klinoklor + Dolomit + Hematit + İlmenit
G6	Kalsit + Kuvars + Klinoklor + Dolomit + Hematit + Anortit (Na)
G7	Kalsit + Kuvars + Klinoklor + Dolomit + Hematit + Anortit (Na)
G8	Kalsit + Kuvars + Klinoklor + Dolomit + Hematit + Anortit (Na) +Kuvars + Kalsit + Dolomit + İlmenit + Hematit

ÖN: Örnek Numarası

4 SÜS TAŞI OLARAK İŞLENEBİLME ÖZELLİKLERİ

Çalışma alanında aktif olarak çalışan mermer ocağı atıklarından derlenen örneklere, temizleme, kesme, şekillendirme, aşındırma, parlatma, delme ve takı üretimi işlemleri uygunlanmıştır. İTÜ ince kesit laboratuvarında kesme işlemi uygulanmıştır. Kesilen örnekler Zümrüt Tabii ve Sentetik Taş İşletmeciliğinde toz, çamur gibi istenmeyen bileşenlerden arındırılmıştır. Kesme işleminin ardından ikinci bir aşama olarak dönen aşındırıcıya sürtme yoluyla kaba şekillendirme yapılmıştır. Zımpara tozları ile birlikte örneklerin yüzeylerinin maksimum pürüzsüzlüğe ulaşması sağlanmıştır.

Farklı desen ve renkte olan taşların kaba şekillerinin verilmesinin ardından damla, oval, kare diktörtgen kabaşon kalıpları

çıkartılarak ince kesim işlemi uygulanmıştır. Kesme işlemi tamamlandık sonra üçüncü aşama olarak parlatma işlemi uygulanmıştır. Parlatma işleminde elmas taş tozu kullanılmıştır. Hint yağı ile elde edilen karışım krem haline getirilir ve keçe diske yerleştirilir. Her bir plaka yüzeyi istenilen parlaklığa ulaşılana kadar her bir yüzeye sürtme işlemi gerçekleştirilmiştir.
Parlatılan ve şekillendirilen taşlardan uygun bulunanlar Zümrüt Tabii ve Sentetik Taş İşletmeciliğinde rotari delme aleti ile uygun delikler açılarak takıya dönüştürülmüşlerdir. Gümüşhane ili silisleşmiş kireçtaşı içeriğine sahip maden firması atıklarından, kuvars içeriği yüksek güzel görünümlü takı, kolye, küpe, yüzük, bileklik, broş vb. süstaşları üretilebileceği saptanmıştır.

Şekil 2. Üretilen takı ve kabaşon kesim süs taşlarının görüntüsü

5 SONUÇLAR

İTÜ Dedeman Optik Mineraloji Labaratuvar'ında incelenen Hamurkesen Formasyonu'na ait bazaltik andezit kayaçlarda hidrotermal alterasyon ile birlikte kuvars kalsit damarlarının oluşumu gözlenmiştir. Alterasyon derecesini etkileyen birden fazla parametre bulunmaktadır. Bu parametreler: hidrotermal çözeltinin bileşimi, sıcaklığı, yankayaçla ilişkisi ve ortamın fizikokimyasal şartlarıdır (Reçber, 1977)

Doğal taş işletmeciliği yapan Gümüşzon Madencilik A.Ş firmasının pasalarının süstaşı olarak kullanılabilirliğini tespit etmek için sertiği, sağlamlığı, cila alması, rengi ve şekillendirilebilmesi ölçütleri incelenmiştir. Kuvars içeriği yüksek örneklerin Zümrüt Tabii ve Sentetik Taş İşletmeciliği'nde takı tasarımı yapılmıştır, süstaşı olarak kullanılabilirliği tespit edilmiştir.

Sürdürülebilir madencilik anlayışı ile numunelerin temin edildiği firmanın artıkları değerlendirilip yeniden kullanılabilirliği ile çevreye olan katkısı değerlendirilmiştir ve bu çalışma ile birlikte bölgede istihdam sağlayarak ekonomik bir potansiyel ortaya çıkarılmıştır.

TEŞEKKÜR

İTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü Bitirme Tasarımı Projesi kapsamında yaptığımız bu çalışmanın her safhasında vermiş olduğu destek ve katkılarından dolayı başta değerli tez danışmanlarımız Prof. Dr. M. Sezai KIRIKOĞLU, Prof. Dr. Emin ÇİFTÇİ ve Dr. Öğr. Demet YILDIRIM'a sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

Çoğulu, E., 1975. Gümüşhane ve Rize Bölgelerinde Petrolojik ve Jeokronometrik Araştırmalar, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, 1034, İstanbul.

Dokuz, A., 2011. A slab detachment and delamination model for the generation of Carboniferous high-potassium I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: the Köse composite pluton. *Gondwana Research, 19*(4), 926-944.

Kaygusuz, A., Siebel, W., Şen, C., & Satir, M., 2008. Petrochemistry and petrology of I-type granitoids in an arc setting: the composite Torul pluton, Eastern Pontides, NE Turkey, *International Journal of Earth Sciences*, 97(4), 739-764.

Reçber, A., 1997. Ultramafitlerin hidrotermal alterasyon derecesini belirleyen doku çeşitleri, 20. yıl Jeoloji Sempozyumu, Selçuk Üniversitesi, Eskişehir, 293-298.

Tokel, S., 1972. "Stratigraphical and vocanic history of Gümüşhane region (NE Turkey)", *Ph.D. Thesis*, University College, London. (Unpublished)

Topuz, G., Altherr, R., Siebel, W., Schwarz, W.H., Zack, T., Hasözbek, A., Barth, M., Satır, M. ve Şen, C., 2010. Carboniferous High-Potassium I-type Granitoid Magmatism in the Eastern Pontides, The Gümüşhane Pluton, NE Turkey, *Lithos* 116, 92–110.

Yılmaz, C., 2002. Gümüşhane-Bayburt yöresindeki Mesozoyik havzalarının tektano sedimantolojik kayıtları ve kontrol etkenleri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 45, 1, 141-165.

Yılmaz, Y., 1972. "Petrology and structure of the Gümüşhane granite and surronding rocks, North-Eastern Anatolia", *Doktora Tezi,* University of London, İngiltere. (yayınlanmamış)

Çatalca Bölgesindeki Granitlerin (Çatalca ve Tepecik) Isı Üretme Kapasitelerinin Belirlenmesi

Determination Of Heat Generating Capacities of Granites In Çatalca Region

M. Hanamirian

İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET İstanbul ili Çatalca ilçesinde yer alan Çatalca ve Tepecik sokulumlarının radyonüklid içeriklerinden dolayı son yıllarda önem kazanmakta olan Geliştirilebilir Jeotermal Sistemler (EGS) için uygun olup olmadığı araştırılmıştır. Çatalca Metagranitine ve Tepecik Kataklastik Granitine ait literatürden elde edilen 238U, 232Th ve 40K değerleri kullanılarak her iki sokulum için ısı üretim kapasiteleri hesaplanmıştır. Çatalca sokulumuna ait U değerleri 0,7-4,3 ppm arasında değişirken, Th 0,8-22,5 ppm ve K %2,15-4,27 arasında değerler almaktadır. Tepecik sokulumuna ait U, Th ve K değerleri ise sırasıyla 2,6-8,6 ppm, 12,3-38,4 ppm ve %3,12-4,79 arasındadır. Çatalca Metagranitine ait ısı üretim kapasitesi değerleri 0,45-2,98 µW/m3 olarak hesaplanmıştır. Aynı yöntemle Tepecik Kataklastik Granitinin ısı üretim kapasitesinin 2,3-5,17 µW/m3 olduğu belirlenmiştir. Bunun sonucunda 5 µW/m3'ten küçük ısı üretim kapasitesine sahip olan Çatalca ve Tepecik (bir örnek hariç) sokulumlarının Yüksek Isı Üreten Granitler olmadığı ve bu sebeple Geliştirilebilir Jeotermal Sistemler (EGS) için uygun olmadıkları tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak çalışmada; Çatalca ve Tepecik sokulumlarının mineralojik-petrografik ve jeokimyasal özellikleri bölgede bulunan diğer sokulumlarla tablolar yardımıyla karşılaştırılmıştır.
Anahtar kelimeler: Geliştirebilir Jeotermal Sistemler, Yüksek Isı Graniti, Radyoaktivite, Tepecik Kataklastik Graniti, Çatalca Metagraniti

ABSTRACT It has been investigated whether Çatalca and Tepecik intrusions located in Çatalca district of Istanbul are suitable for Enhanced Geothermal Systems (EGS), which has gained importance in recent years due to their radionuclide content. The heat generation capacities for both intrusions were calculated using 238U, 232Th and 40K values obtained from the literature of Çatalca Metagranite and Tepecik Cataclastic Granite. While U values of Çatalca intrusion vary between 0.7-4.3 ppm, Th values between 0.8-22.5 ppm and K 2.15-4.27%. U, Th and K values of the Tepecik intrusion are between 2.6-8.6 ppm, 12.3-38.4 ppm and 3.12-4.79%, respectively. Heat generation capacity values of Çatalca Metagranite were calculated as 0.45-2.98 µW / m3. With the same method, it was determined that the heat generation capacity of Tepecik Cataclastic Granite was 2.3-5.17 µW / m3. As a result, it has been determined that Çatalca and Tepecik intrusions (except for one sample), which have a heat production capacity of less than 5 µW/m3, are not High Heat Production (HHP) Granites and therefore are not suitable for Enhanced Geothermal Systems (EGS). In addition to these; the mineralogical-petrographic and geochemical features of the Çatalca and Tepecik intrusions were compared with the other intrusions in the region with the help of tables.
Keywords: Enhanced Geothermal Systems, High Heat Generating Granite, Radioactivity, Tepecik Cataclastic Granite, Çatalca Metagranite

1.GİRİŞ

Enerjiye duyulan ihtiyaç gün geçtikçe artmaya devam etmektedir. Bu ihtiyacı karşılamak için geleneksel kaynaklar, nüfusun artması ve sanayileşmenin çoğalmasıyla hızla tükenmektedir. Kullanılan bu biyofosil yakıtlar aynı zamanda hem çevreye ve atmosfere ciddi zararlar vermekte hem de mikro ve makro iklim değişikliklerine de sebep olmaktadır. Bu nedenden dolayı yeni ve çevreye duyarlı enerji kaynakları araştırılmaktadır. Araştırılmaya başlanan en yeni ve çarpıcı kaynaklardan biri de Sıcak Kuru Kaya (HDR) olarak da geçen Yüksek Isı Üreten Granitik kayalardır. Bu granitik kayalar fraksiyonel kristallenme ile magma odasının en son ürünlerindendir. Yüksek SiO2 oranına sahip olan bu kaya grubu aynı zamanda uyumsuz elementler olan ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K gibi radyoaktif elementler açısından oldukça zengindirler. Bu radyoaktif elementlerin bozunmasından kaynaklı ortaya çıkan ısı enerjisi yeşil ve sürdürülebilir bir sistem olan Geliştirilebilir Jeotermal Sistemlerin (EGS) doğmasına yardımcı olmuştur. EGS uygulamalarında kaynak olarak radyonüklid içeriği yüksek olan ve birkaç km derinlikte bulunan Sıcak Kuru Kayalar kullanılmaktadır. Çin, Antarktika, Kanada, Avusturalya ve Mısır gibi birçok ülke de bu kaynakların kullanılmasını ve kullanılması durumunda ülkelerine katkı sağlayabilecek projeler için adımlar atmaya başlamıştır (Kromkhun ve diğ., 2013; Zhou ve diğ., 2020; Abbady ve diğ., 2006; Mohammadi ve diğ., 2019; Leat ve diğ., 2018). Geliştirilebilir Jeotermal Sistemlerin temel amacı yerin birkaç km altındaki potansiyel ısı enerjisinin su veya gaz yardımıyla yüzeye çıkartılarak elektrik üretmek için kullanılmasını sağlamaktır. Bunlara ek olarak, fosil yakıtların yakılmasından kaynaklı atmosfere salınan CO_2 miktarının geliştirilebilir jeotermal sistemlerin kullanılması ile azalabileceği belirtilmiştir (Chandrasekharam ve diğ., 2015). Aynı çalışmada Arabistan'ın bu jeotermal sistemi kullanarak dış ülkelere bağımlılığının azalabileceği ve tarımdan su arıtmaya birçok alanda çıkarılan bu enerjinin kullanılabileceği belirtilmiştir. Bu kapsamda, tektonik olarak aktif bir bölgede yer alan Türkiye, Geliştirilebilir Jeotermal Sistemler açısından ciddi bir potansiyele sahiptir. Çalışma alanınını oluşturan Çatalca ve Tepecik sokulumlarının radyonüklid içeriklerinin kabuk ortalamasının üstünde olduğu ve bölgenin faylarla kesildiği, çeşitli kırık ve çatlak sistemlerinin olduğu saptanmıştır. Bu çalışmada radyonüklid içerikleri bilinen Çatalca ve Tepecik Granitoyidlerinin ısı üretim kapasiteleri hesaplanmış ve bu bölgelerdeki granitik kayaçların alternatif enerji kaynağı olarak kullanılıp kullanılamayacağı incelenmiştir.

2.ÇALIŞMA ALANININ JEOLOJİSİ

Çalışma alanını oluşturan Çatalca Bölgesi Granitleri (Çatalca ve Tepecik), İstanbul il sınırları içerisinde bulunan Çatalca ilçesinde geniş bir alanda yüzeylenmektedirler. Çatalca Metagraniti, Çatalca ilçesinin, kuzeybatısında Elbasan Köyünün kuzeyinde ve kuzeydoğusunda çoğunlukla örtülü halde vadiler ve yol yarmaları boyunca yüzeylenmektedir (Şahin ve diğ., 2007). Çatalca Metagraniti, bölgedeki şist ve gnaysları kesmektedir. Tepecik Kataklastik Graniti ise Çatalca'nın kuzeyinde Ahmediye ve güneyinde Tepecik-Türkoba köyleri arasında bir yerde, Istranca Masifine ait meta-sedimanter birimler içerisine yerleşmiştir (Şahin ve diğ., 2007; Şahin ve diğ., 2014a). Çalışma alanı içerisinde ayrıca yer alan birimler; metakonglomera, kuvarsit, fillit, kalkşist, mermer, kireçtaşı, kırıntılı kayaçlar ve alüvyonlardır. Çatalca Bölgesinde yer alan bu iki sokulumun bulunduğu alanda yoğun fay, kırık ve çatlak sistemleri gözlenmektedir. EGS sistemleri için gerekli olan ısı kayaçlardaki radyoaktif elementlerin bozunmasından elde edilmektedir. Bu bölgenin çalışma alanı olarak seçilmesinin nedeni, Tepecik Kataklastik Granitinin yüksek radyonüklid içeriğine sahip olmasıdır.

3.RADYOAKTİVİTE

Dünyadaki radyasyonun büyük çoğunluğu doğal radyasyon sonucu oluşmaktadır. Doğal radyoaktivite çoğunlukla ^{232}Th ve ^{238}U bozunma serilerindeki radyonüklidler ile doğada bol miktarda olan ^{40}K'tan oluşmaktadır. Uranyum elementi doğada serbest halde bulunmamakta, başka elementlerle bileşik oluşturarak uranyum minerallerine dönüşmektedirler (MTA, 2017). Bu element eser miktarda sularda rastlandığı gibi birçok kayaç türünde de bulunmaktadır. Bu kayaç gruplarından en önemlileri asidik bileşime sahip olanlarıdır. Uranyum granitik kayalarda; zirkon, monazit, apatit, sfen gibi aksesuar minerallerde bulunmaktadır. Buna ek olarak; florit, apatit, hematit ve mika içerisinde bir safsızlık olarak da ortaya çıkabilmektedir. Granitik bileşime sahip kayaçlarda ortalama U değeri 5 ppm; bazik ve ultrabazik kayaçlarda ise bu değer 1 ppm'den daha azdır. (Mason ve Moore, 1982; Van Schmus, 1995; Gao, 2003). MTA (2017)'ye göre yeryüzündeki ortalama U değeri 2-4 ppm arasındadır ve birçok mineralde küçük konsantrasyonlarda bulunabilmektedir. Toryum radyoaktif bir elementtir ve doğada serbest halde bulunmamaktadır. Bu element yaklaşık 50 mineralin yapısında bulunmakta ancak genellikle nadir toprak elementleri (NTE) ile birlikte az sayıda mineralde ekonomik olarak işletilebilecek oranda zenginleşmektedir. Bu mineraller; torit, torianit, monazit ve allanit'tir (MTA, 2007). Toryum elementi; ^{227}Th, ^{228}Th, ^{230}Th, ^{231}Th, ^{232}Th ve ^{234}Th olmak üzere 6 tane izotopa sahiptir. Bu izotoplardan yalnızca ^{232}Th duraylıdır. Mobilitesi oldukça düşük olan toryumun yeryüzündeki ortalaması 9.6 ppm'dir. Bu değer granitik bileşimli kayalarda ortalama 15 ppm iken bazik ve ultrabazik kayalarda 2 ppm'den daha azdır (Mason ve Moore, 1982; Van Schmus, 1995; Gao, 2003). Bu değer granitik bileşimli kayalarda ortalama 15 ppm iken bazik ve ultrabazik kayalarda 2 ppm'den daha azdır (Mason ve Moore, 1982; Van Schmus, 1995; Gao, 2003). Bu değerlerden de anlaşılacağı üzere Th asidik kayaçlarda zenginleşmektektedir. Uranyumda olduğu gibi Granitik kayalarda Th; zirkon, monazit, apatit, sfen ve allanit gibi aksesuar minerallerde bulunmaktadır. Ek olarak; florit, apatit, hematit ve mika içinde bir safsızlık olarak da ortaya çıkabilirler. Th'un killer, demirokistler ve hidroksitler içerisinde absorbe edilmesi de mümkündür. Potasyum, uranyum ve toryuma göre toprakta ve kayaçlarda ağırlıkça 1000 kat fazla bulunmaktadır ancak potasyumun yalnızca %0,018'i radyoaktif olan ^{40}K oluşturmaktadır (Arı ve Örgün, 2015). ^{40}K; U ve Th gibi asidik kayaçlar içerisinde zenginleşmektedir. Bunun en büyük nedeni, asidik kayaçların alkali feldispatlarca zengin olmasının yanı sıra K'un granitik kayaçlarda biyotit ve muskovitte zenginleşmesidir. Potasyumun yeryüzündeki ortalama konsantrasyonu %2,1, topraktaki ortalama konsantrasyonu ise UNSCEAR (2020)'e göre 140-850 Bq.kg^{-1}'dir.

Bu çalışma kapsamında Çatalca ve Tepecik sokulumlarına ait radyoaktivite değerleri bölgedeki diğer sokulumlarla karşılaştırılmıştır. Tepecik Kataklastik graniti yüksek SiO_2 ve radyonüklid (^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K) içeriğine sahiptir. Şahin ve diğerlerinin (2014b) yapmış oldukları çalışmadan alınan verilere göre Çatalca Metagraniti için ortalama U değeri (2,36 ppm) kıtasal kabuğun ortalamasından (2.7 ppm) düşüktür. Buna karşın sokulumun ortalama Th değeri (12,78 ppm) kıtasal kabuğun ortalamasının (9,6 ppm) yaklaşık 1,5 katıdır. Sokulumun K ortalaması (%3,76) incelendiğinde ise kıtasal kabuğun (%2,1) yaklaşık 2 katına yakın olduğu gözükmektedir. Yapılan işlemler sonucunda Çatalca sokulumuna ait ortalama Th/U oranı 6,99 olarak tespit edilmiş ve bunun kıtasal kabuktaki ortalamanın (3,55) yaklaşık 2 katı olduğu tarafımızca tespit edilmiştir. Aysal ve diğerlerinin (2018) yapmış oldukları çalışmadan alınan verilere göre ise Tepecik Kataklastik Granitinde U değerlerinin 2,6-8,6

ppm, Th 12,3-38,4 ppm, K değerlerinin %3,12-4,79 ve U/Th değerlerinin 2,32-7 arasında değiştiği gözükmektedir. Kıtasal kabuktaki ortalama U (2,7 ppm), Th (9,6 ppm), K (%2,1) ve Th/U (3,55) oranıyla karşılaştırıldığında; sokuluma ait ortalama U değeri 2 kat, Th değeri 2,5 kat, K değeri yaklaşık 2 kat ve Th/U değeri yaklaşık 1,5 kat fazladır.

4.ISI ÜRETİM KAPASİTESİ

Uzun ömürlü potasyum, uranyum ve toryum izotoplarının radyoaktif bozunması, kabukta üretilen ısıya en büyük katkıyı sağlamaktadır. Uranyum ve toryum elementleri uyumsuz elementler olup magmatizmanın en son evresine kadar sıvı fazda kalmaktadırlar. Bu elementler, magmadan en son kristallenen granitik (felsik) kayaların içerisinde mineral oluşturmakta ve/veya başta alkali feldispatlar olmak üzere minerallerde zenginleşmektedirler. Bu sebeple, SiO2 içeriği yüksek olan granitik kayalar ve bunların yüzey eşlenikleri ile metamorfik olanları (metagranitler vb.) radyoaktif ısı üretme kapasitesine sahiptirler. Yüksek ısı granitleri (HHP) terimi, ısı üretim kapasitesi 5µW/m3'ten büyük değerlere sahip olan granitik kayaçları tanımlamak için kullanılmaktadır (Kromkhun, 2010; Kromkhun ve diğ., 2013; Siegel, 2012). Granitlerdeki ısı üretim kapasitesi değeri, kayaca ait U, Th ve K konsantrasyonları kullanılarak belirli bir formülizasyon yardımıyla hesaplanmaktadır. Bu konsantrasyonların eş zamanlı olarak tespit edilmesinde gama ışını spektrometrisi yöntemi kullanılmaktadır. HHP granitlerinde; potasyumun çoğu K-feldispat ve mikalarda bulunurken, uranyum ve toryum büyük ölçüde zirkon, allanit, sfen, monazit, apatit vb. aksesuar mineraller içerisinde bulunmaktadır. (Chiozzi ve diğ., 2003; Lachenbruch, 1970). İlk olarak yalnızca A-tipi granitler yüksek ısı graniti olarak kabul edilmiştir (Artemieva, 2017; Kromkhun, 2010). Ancak daha sonra Zhou ve diğerlerinin 2020 yılında yapmış oldukları çalışmada A-tipi granitler ile birlikte S ve I tipi granitlerinde yüksek ısı granitleri olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda bu bitirme çalışmasında Çatalca ve Tepecik sokulumlarına ait ısı üretim kapasiteleri hesaplanmıştır. Çatalca ait ısı üretim kapasitesi değerleri 0,45-2,98 $\mu W/m^3$ aralığındadır. Tepecik Kataklastik Granitine ait ısı üretim kapasitesi ise 2,3-5,17 $\mu W/m^3$ aralığındadır. Bu nedenle bu çalışmada Çatalca ve Tepecik sokulumu 'Yüksek Isı Üreten' Granitler sınıfına girmediği anlaşılmıştır. Bu sebeple, her iki sokulumun da ısı enerjisi üretimi için uygun alanlar olmadıkları belirlenmiştir.

SONUÇLAR

Çatalca ve Tepecik sokulumlarının ısı üretim kapasitelerinin hesaplanmasıdır. Literatür araştırmalarından elde edilmiş olan jeokimyasal analiz sonuçları kullanılarak sokulumlara ait ısı üretim kapasitesi değerleri hesaplanmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda, Çatalca Metagranitine ait ısı üretim kapasitesinin 0,45-2,98 $\mu W/m^3$ arasında değiştiği hesaplanmıştır. Tepecik Kataklastik Granitinde ise ısı üretim kapasitesi değeri 2,3-5,17 $\mu W/m^3$ arasında olduğu bulunmuştur. Tepecik Kataklastik Granitine ait bir örnek haricinde tüm örnekler 5$\mu W/m^3$ ısı üretim kapasitesinden daha düşüktür. Bu sebeple Tepecik sokulumuna ait tek bir örnek haricinde geriye kalan tüm örnekler ve dolayısıyla Çatalca ve Tepecik sokulumları yüksek ısı üreten granit (HHP) kategorisine girmemektedir. Bu bilgiler ışığında her iki sokulum da geliştirilebilir jeotermal sistemler (EGS) için uygun değildir.

TEŞEKKÜR

Bitirme Tasarım Projesi danışmanım olan Prof. Dr. Örgün Tutay'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

KAYNAKLAR

Abbady, A. G., El-Arabi, A. M., & Abbady, A. (2006). *Heat* production *rate from radioactive elements in igneous and metamorphic rocks in Eastern Desert, Egypt. Applied radiation and isotopes, 64(1), 131-137.*

Arı Çetin, E. & Örgün Y., (2015). Konutlarda Kullanılan Granit Karoların Radyolojik İçerikleri ve Radon Salınım Hızları, ResearchGate

Artemieva, I. M., Thybo, H., Jakobsen, K., Sørensen, N. K., & Nielsen, L. S. (2017). Heat production in granitic rocks: Global analysis based on a new data compilation GRANITE2017. *Earth-Science Reviews*, *172*, 1-26.

Aysal, N., Şahin, S. Y., Güngör, Y., Peytcheva, I., & Öngen, S. (2018). Middle Permian–early Triassic magmatism in the Western Pontides, NW Turkey: Geodynamic significance for the evolution of the Paleo-Tethys. *Journal of Asian Earth Sciences*, *164*, 83-103.

Chandrasekharam, D., Lashin, A., Al Arifi, N., Al Bassam, A., El Alfy, M., Ranjith, P. G., ... & Singh, H. K. (2015). The potential of high heat generating granites as EGS source to generate power and reduce CO2 emissions, western Arabian shield, Saudi Arabia. *Journal of African Earth Sciences*, *112*, 213-233.

Chiozzi, P., Pasquale, V., & Verdoya, M. (2003). Heat from radioactive elements in young volcanics by γ-ray spectrometry. *Journal of volcanology and geothermal research*, *119*(1-4), 205-214.

Gao, R. (2003). Composition of the Continental Crust, Treatise of Geochemistry. *vol*, *3*, 1-64.

Kromkhun, K. (2010). *Petrogenesis of high heat producing granite: implication for Mt Painter Province, South Australia* (Doctoral dissertation).

Kromkhun, K., Foden, J., Hore, S., & Baines, G. (2013). Geochronology and Hf isotopes of the bimodal mafic–felsic high heat *producing* igneous suite from Mt Painter Province, south Australia. *Gondwana Research*, *24*(3-4), 1067-1079.

Lachenbruch, A. H. (1970). Crustal temperature and heat production: Implications of the linear heat-flow relation. *Journal of Geophysical Research*, *75*(17), 3291-3300.

Leat, P. T., Jordan, T. A., Flowerdew, M. J., Riley, T. R., Ferraccioli, F., & Whitehouse, M. J. (2018). Jurassic high heat production granites associated with the Weddell Sea rift system, Antarctica. *Tectonophysics*, *722*, 249-264.

Mason, B. and Moore, C.B., (1982). *Principles of Geochemistry*. 4th ed., John Wiley & Sons, New York

Mohammadi, N., McFarlane, C. R., & Lentz, D. R. (2019). U–Pb geochronology of hydrothermal monazite from uraniferous greisen veins associated with the high heat production Mount Douglas Granite, New Brunswick, Canada. *Geosciences*, *9*(5), 224.

MTA, (2017). Dünyada ve *Türkiye'de* uranyum ve toryum.

Siegel, C., Bryan, S., Purdy, D., Gust, D., Allen, C., Uysal, T., & Champion, D. (2011). A new database compilation of whole-rock chemical and geochronological data of igneous rocks in Queensland: a new resource for HDR geothermal resource exploration. In *Proceedings of the 2011 Australian Geothermal Energy Conference [Geoscience Australia, Record 2011/43]* (pp. 239-244). Geoscience Australia.

Şahin, S. Y., Aysal, N., ve Güngör, Y. (2007). İstanbul 'un granitoyidleri, (April 2015).

Şahin, S. Y., Aysal, N., ve Güngör, Y. (2014a). Batı Pontidlerde Geç Prekambriyen'den – Üst Kretase'ye Çok Evreli Plütonizma: Jeokimyasal ve Jeokronolojik Yaklaşımlar, (December).

Şahin, S. Y., Aysal, N., Güngör, Y., Peytcheva, I., & Neubauer, F. (2014b). Geochemistry and U–Pb zircon geochronology of metagranites in Istranca (Strandja) Zone, NW Pontides, Turkey: implications for the geodynamic evolution of Cadomian orogeny. *Gondwana Research*, *26*(2), 755-771.

UNSCEAR, (2020).

Van Schmus, W. R. (1995). Natural radioactivity of the crust and mantle. In *Global earth physics: A handbook of physical* constants (Vol. 1, pp. 283-291). Washington, DC: American Geophysical Union.

Zhou, Z. M., Ma, C. Q., Qi, S. H., Xi, Y. F., & Liu, W. (2020). Late Mesozoic high-heat-producing (HHP) and high-temperature geothermal reservoir granitoids: The most significant geothermal mechanism in South China. *Lithos*, *366*, 105568.

PETROL VE DOĞAL GAZ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Bitirme Tasarım Projeleri Bildirileri

Saha Geliştirme
Field Development

H. Acar, M. B. Aydın, M. Çilingir, A. Korkmaz, Ö.İ. Türeyen, G. Altun, F. E. Artun, E. D. Korkmaz Başel
İstanbul Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Saha geliştirme çalışmaları formasyon analizleri, sondaj dizaynı, rezervuar modellemesi ve ekonomik analizler aracılığıyla yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı sahadan elde edilen kârı arttırmaktır. Üretim planlaması bir yıl süresince yapılan çalışmalar sonucunda belirlenmiş olup, bu süreçte MS Excel, Petrel, Surfer, AutoCAD, RStudio ve CMG programları kullanılmıştır. Formasyon gözeneklilik, geçirimlik, kalınlık parametlerine göre haritalanmıştır. Basınç, üretim ve rezervuar özellikleri de göz önünde bulundurularak modellenmiştir. Kuyu açılması gerekli görülen konumlarda gerekli sondaj dizaynı yapılmış olup, yeni kuyular ve gerçekleştirilen saha geliştirme operasyonları ile üretimin arttırılması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre rezervuardan 01.07.2030 tarihine göre üretilen 67196 milyon varil üretim %61 petrol geri kazanımı sağlayarak, kuyu açma ve bakım maliyetleri, sıvıların enjeksiyon ve bertaraf edilme maliyetleri gibi maliyetler göz önüne alındığında 1.152 milyar dolar kâr sağlamıştır.
Anahtar Kelimeler: Formasyon analizleri, Sondaj dizaynı, Rezervuar planlaması, Ekonomik karar verme analizi.

ABSTRACT Field development studies were made through formation analysis, drilling design, reservoir modeling, and economic analysis. This study aims to increase the profit from the field. Production planning was determined as a result of studies carried out for a year, and programs such as Excel, Petrel, Surfer, AutoCAD, RStudio, and CMG were used in this process. The formation was mapped according to the parameters of porosity, permeability, and thickness. The reservoir is modeled by considering the pressure, production, and reservoir characteristics. Suitable drilling designs have been made in locations where it is beneficial to drill wells, and the goal is to increase productivity with new wells and field development operations. According to the results obtained, 67.196 MMSTB oil produced from the reservoir until 01.07.2030 provided 61% oil recovery and made a profit of 1.152 billion dollars when the costs such as well drilling, maintenance, fluid injection, and disposal costs are considered.
Keywords: Formation evaluation, Drilling design, Field development design, Economic decision analysis.

1 FORMATION EVALUATION

1.1 Well Log Analysis

Well log analysis provides insight into the structures and environments of the subsurface. It is significant to determine the hydro-carbon bearing zones. Thus, the log data graphic made by both PETREL and Excel are analyzed. According to the analysis of the well by the Quick Look Method, the results showed that totally 168.5 feet gas zone and 168 feet oil zone were detected, in this area.

1.2 Determination of New Well Locations

The new well location is important to increase productivity. There are distribution

maps made by Surfer program according to obtained thickness, porosity, and permeability. The well is decided to be located to the region nearby Well-2 and Well-5.

2 WELL DESIGN

2.1 Casing Design

All wells require proper casing with adequate strength and functionality because casing supposed to avoid contamination of water sands, control well pressures during operations, and preserve stability of borehole. There are three sections: Surface, Intermediate and Production. The casing design is made regarding the necessities of each section. Wellhead equipment, blowout preventers, production tubing and packers are all installed in the casing. The AutoCAD program is used to illustrate the casing designs.

2.2 Drill String Design

The fundamental purpose of the drill string design is to determine the suitable drill pipes for transmitting the torque to the drill bit. The length and strength of the drilling pipes are decided according to each section. These decisions are made regarding inventory and economic concerns.

2.3 Hydraulic Design

There is a hydraulic pressure load that occurs on the drill string tools because of the mud. The endurance of the equipment is checked by hydraulic design. The grade of the mud pump is selected considering the required capacity of the mud circulation.

3 RESERVOIR ENGINEERING AND MODELLING

3.1 Probabilistic OOIP Estimation

Reserves are estimated volumes of crude oil, natural gas, and related compounds that are expected to be economically recoverable from known accumulations from a given date forward, under current economic conditions, using standard operating procedures. Reserve estimation is one of the crucial points in petroleum engineering. Geostatistical methods including histogram and Monte Carlo simulation were used in R-Studio to calculate oil reserves which are 23.96MMSTB at P-50.

3.2 Reservoir Model Construction

A reservoir model provides an insight about the actual reservoir. Hence, the field development design can be made. The formation evaluation, well test analysis, material balance equation and pressure production matchings are made to create a reservoir model as similar as possible to actual reservoir. The reservoir model is created by CMG's Builder Module.

4 FIELD DEVELOPMENT DESIGN

The field development design aims to improve the productivity of the reservoir regarding economical concerns. It is possible to increase the oil recovery of a reservoir up to 60 percent by applying enhanced oil recovery and well stimulation methods. Therefore, there is a series of methods are considered for the field development design. These methods are opening new production wells, water injection, horizontal wells, acidizing, and fracturing. The final model consists of 6 vertical, 3 horizontal, and 6 injection wells, the cumulative oil production is 67.2 MMSTB. The ITU Field's position is given in Figure 1. The 4 scenarios recovery factor through the improvement process in Table 1.

Table 1. Oil production and recovery factor of 4 scenarios

Scenario	C. Oil Production (MSTB)	Recovery Factor	NPV (Billion $)
6P	24656	22%	0.417
14P	26344	24%	0.403
17P-12I	62531	56%	0.97
ITU Field	67196	61%	1.152

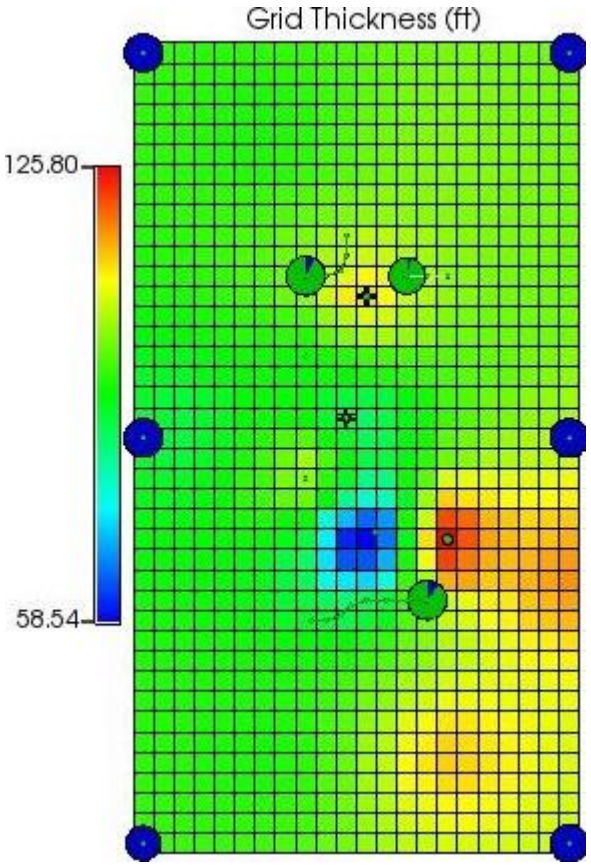


Figure 1. ITU Field grid thickness and well distribution

5 ECONOMIC AND DECISION ANALYSIS

Economic analysis is crucial to determine the field development plans. Almost every decision is made based on an economic analysis. All scenarios were compared after economic calculations and the most profitable one was chosen. ITU Field scenario has 9 production wells, 6 injection wells, and 3 of them are horizontal wells. During these 10 years, 6 well were shut-in due to inefficiency. Some wells have acidizing and fracturing process. All in all, this scenario has $1.152.020.137,68 profit. ITU Field scenario is chosen by BAHM Oil Company for the development of the field.

6 CONCLUSION

Finally, the reservoir has 880 grids with a 345-foot grid size and an OOIP of reservoir is equal to 110.870 MMSTB. The most successful scenario achieved 61% oil recovery, there are 5 well treatment operations are made: 3 Acidizing, 2 fracturing. All scenarios were compared after economic calculations and the most profitable one was chosen. ITU Field scenario has 9 production wells, 6 injection wells, and 3 of them are horizontal wells. All in all, this scenario has $1.152.020.137,68 profit. ITU Field scenario is chosen by BAHM Oil Company for the development of the field. A Research is necessary to determine the most efficient EOR method. The produced natural gas could be profitable if it has been sold. More parameters should be taken into consideration in economic calculations such as health safety environment, and worker wages.

DEDICATION

This graduation design project is dedicated to all academic staff and our families. Thanks for their effort and patience.

REFERENCES

Altun, G. (2021). Well Complation, *Lecture notes*, Istanbul Technical University.

API Bul. (1980). 5C3, Casing, Tubing, Drillpipe, and Line Pipe Properties.

Artun, F. E. (2020). Petroleum and Naturel Gas Economics, *Lecture Notes*, Istanbul Technical University.

Baker, R. (2004). Oil and Natural Gas: Offshore Operations, Encyclopedia of Energy.

Bassiouni, Z. (1994). Theory, Measurement and Interpretation of Well Logs, SPE Textbook Series, Vol. 4, Richardson, Texas, USA.

Bourdet, D. (2002). Well Test Analysis: The Use of Advanced Interpretation Models, Handbook of Petroleum Exploration and Production.

Bourgoyne, A.T., Millheim, K. K., Chenevert, M. E., and Young, F. S. (1986, 2nd printing 1991). Applied Drilling Engineering. Society of Petroleum Engineers, Richardson, TX.

CRAN, (2020). R Project.

Çınar, M. (2020). Areal Displacement Efficiency. Enhanced Oil Recovery. Istanbul

Technical University. *Lecture-Chapter 7 notes*.

İbrahim Khan, M., Islam, M. R. (2007). Reservoir Engineering and Secondary Recovery, The Petroleum Engineering Handbook**:** Sustainable Operation**s**.

Kamel, M. H., and Mabrouk, W. M. (Dec, 2003). Estimation of shale volume using a combination of the three porosity logs, Journal of Petroleum Science and Engineering, vol. 40, no. 3.

Korkmaz, E. D. (2018). Well log-1, Lecture Notes.

Log Interpretation Charts. (1986). Schlumberger Co., Houston, Texas, USA.

Mıhçakan, İ. M. (2020). "Acidizing." Well Stimulation. Istanbul Technical University. Lecture.

Oil Production Greenhouse Gas Emission Estimator. (2017). Stanford University

Onur, M., Sarak, H., and Türeyen, Ö. İ. Power generation potentials of major geothermal fields in Turkey, Istanbul Technical University, Maslak, Istanbul, Turkey.

Palabıyık, Y. (2020). Well Test Analysis, *Lecture Notes*, Istanbul Technical University.

PETREL, 2017, [Computer software]. West Sussex, Schlumberger LTD.

Reservoir Simulation Software (2020) [Computer software]. Calgary, Computer Modelling Group LTD.

Richard, H., Merkel, (1979).Well Log Formation Evaluation, American Association of Petroleum Geologists Vol. 14.

Surfer, [Computer software] (Version 2019). Golden Software.

Sustainability Report. (2018). SHELL

Sustainability Report- Environmental Drilling. (2017). SGS.

Türeyen, Ö. İ. (2019). Flow Through Porous Media. *Lecture Notes*, Istanbul Technical University.

White Star Pump Company, (2002). *Quatro Brochure*, www.whitestarpump.com.

ITUFIELD Adlı Sahanın Geliştirme Tasarımı ve Karakterizasyonu

Characterization and Field Development Design of The ITU Oil Field

A. Önder, E. Gökmen, Ö.L. Toktaş, U. Çakmakcı
Istanbul Technical University – Petroleum and Natural Gas Engineering Department

ÖZET Tez içeriğinde ITUFIELD üzerinde yapılan saha çalışması kapsamında kuyu logları incelenerek rezervuar parametreleri belirlenmiş, yeni lokasyonlar için sondaj tasarımları yapıldıktan sonra elde edilen bulgular ile rezervuar modellemesi yapılmıştır. Sahanın geliştirilmesi amacıyla çeşitli üretim senaryoları uygulanmıştır. Bu senaryolar, ekonomik analizleri ile beraber değerlendirilip en karlı olan senaryo belirlenmiştir.
Anahtar Kelimeler: Geliştirme, simülasyon, rezervuar.

ABSTRACT In scope of this thesis, the reservoir parameters were determined by examining the well logs, and after drilling designs were made for new locations, reservoir modeling was made with the parameters obtained. Various production scenarios have been implemented in order to develop the field. These scenarios were evaluated together with their economic analysis and the most profitable scenario was determined.
Keywords: Development, simulation, reservoir.

1 FORMATION EVALUATION

1.1 Well Log Analysis

Firstly, potential hydrocarbon zones were determined from filtered log graphs. Depth intervals for zones were selected where GR and RHOB values tend to decrease, vice versa resistivities tend to increase.

If the interested interval corresponds to water zone, resistivities should be lower compared to hydrocarbon zones. GR and RHOB values show similar behavior with hydrocarbon zones.

1.2 Determination of Model parameters

Model parameters are also derived from well log analysis. These model parameters are porosity, water saturation and thickness of the hydrocarbon zone.

1.2.1 Determination of porosity

Porosity is the rate of pore volume to bulk volume. In order to determine effective porosity (2.6), (2.7), shale effect has to be considered for sonic and density porosities (Bassiouni, 1994).

1.2.2 Determination of water saturation

To obtain formation water saturation (S_w), Fertl and Hammack Equation were used because this equation treats the shale effect (Bassiouni, 1994).

1.2.3 Determination of pay zone thickness

GR values which are lower than 50 API were assumed as net pay thicknesses of the

potential hydrocarbon zones according to (Palabıyık, 2018).

2 DRILLING DESIGN

Drilling design was made under three main headings. (i) casing design, (ii) drillstring design, (iii) hydraulic design.

2.1 Casing Design

There are generally 3 parts in casing design, these are surface, intermediate and production. Collapse and burst design are made separately for each part. As a result of these designs, different casings may occur. In such cases, the stronger casing is selected for each depth. Casing lengths below 500 feet were thought to damage the economy in terms of logistics, the shortest casing to be used was accepted as 500 feet.

Initially, two different muds were designed for casing design. One of them was right in the center of the mud window, the other was closer to the pore pressure gradient, that is, a lower density mud was chosen. Casing designs were designed for these two different muds. Looking at the casing designs, it has been revealed that the lower density mud design is more economical.

2.2 Drillstring Design

Drill string design is an another important part of the drilling design. Surface, intermediate and production strings were designed separately at this part. Purpose of the drill string design is the determining the quality of drill pipe, heavy weight drill pipe and drill collar for each string. This determination provides safety during drilling operations.

Production and intermediate section have the higher quality drill pipe than surface section so surface section is more economical than the others. Only one type drill pipe is used for each section. It provides to decrease potential mistakes at the rig during drilling operations.

2.3 Hydraulic Design

The hydraulic design is made for the surface, intermediate and production section of the well. Hydraulic calculations have been investigated for Herschel Bulkley models. In this part, frictional pressure losses for each section for minimum circulation rate and optimal circulation rate are calculated.

In the hydraulic design, friction pressure losses were calculated by considering the casings and strings used in the design. When looking at the friction pressure losses analyzed for the minimum and optimum flow rates, it was observed that the optimum flow rate caused more friction pressure loss than the minimum flow rate, as expected.

3 RESERVOIR MODELING

A homogeneous, isotropic, undersaturated tetragonal field was created as the initial model for the well test analysis and checking its accuracy. A production well was placed in the middle of this square field, which was created for the production and pressure values to be read.

Recently many modeling programs have been used in reservoir modeling. These modeling programs make some calculations using the input data and also calculate the model parameters. In order to compare the consistency of these parameters with conventional methods, the reliability of the program is checked by comparing the pore volume, permeability and bottom hole pressure calculated by the program with the obtained ones as a result of analytical solutions.

3.1 Test Analysis

When the pore volume is calculated based on the created tetragonal reservoir, the result obtained in CMG is 1690000000 ft3. However, pore volume which is calculated from equation x calculated as 1618032688 ft3. There is a 4.26 % difference between those values and it is acceptable. Permeability given 50 md as an input for the CMG. Then semi-log analysis was applied and permeability determined as 49.12 md. There is a 1.72 % between given input so that is also acceptable. When both CMG’s bottom hole pressure results and analytically calculated bottom hole pressure plotted together in

Figure 1, it can be easily said that, there is a complete match until 200th day.

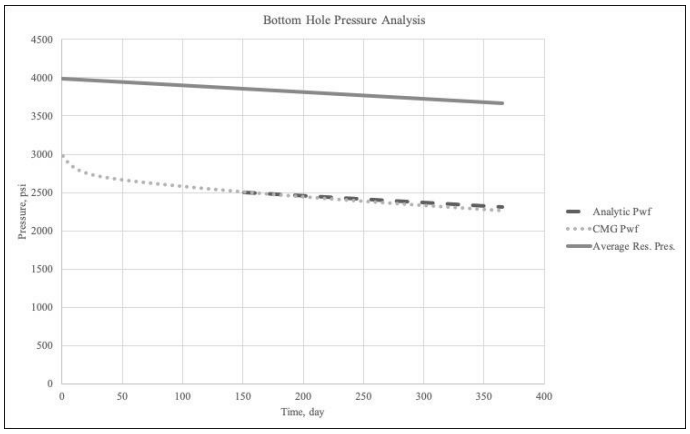


Figure 1: Bottom Hole Pressure Analysis.

3.2 Development Scenarios

Scenarios were developed with various optimizations by using CMG simulation while designing the field development.

In the first scenario, new injection wells were drilled to observe the effect of water injection into the reservoir on production. In the second scenario, horizontal wells were drilled in various places according to the simulation results in order to observe the effect of drilling horizontal wells into the reservoir on production. After it was observed that water injection and horizontal well drilling separately increased production, two scenarios were applied to the field together. While creating the 3rd scenario, gas or water production from the wells was prevented and a vertical well was added to the field by selecting a region with high pressure and high oil saturation on the 1st plane. Comparison between scenarios shown in Table 1, the recovery factor could be doubled as a result of the operations performed in the third scenario. Among all scenarios, scenario 3 was the one with the maximum efficiency

Table 1:Scenarios comparison table.

S	RF	NP
1	37.8	57
2	25	38
3	48.4	74

S: Scenario no, RF: Recover factor
NP: Cumulative oil production (MMSTB).

4 ECONOMIC ANALYSIS

Economic analysis is the main important part of the field development project. It is known that companies take action after the economic analysis because it demonstrates which plans are appropriate for the field. Main purpose of the analysis is finding the most economical one in these plans. Economic analysis of this project made with net cash flow table, economic indicators and sensitivity analysis. After the analyzes, it was determined that it was the third scenario is the most profitable with a NPV of 997,023,737 millon dollars. As a result of the sensitivity analysis, it has been observed that the most sensitive indicator in the Tornado diagram is the oil price.

5 SUSTAINABILITY ANALYSIS

Greenhouse gas emission and energy can be generated from different operations like drilling, production, maintenance and transportation. To calculate the gas emission and energy, many variables were used in terms of these operations. These variables are production methods, field properties, fluid properties, production practices, processing practices, land use impacts, crude oil transport and small sources emissions. Three development plans are considered for those variables.

Energy consumption were determined for all process stages. All obtained results are the aggregated results of inputs from all three scenarios. Table 2 shows the consumed natural gas, diesel and electricity for each stage. As you can see production, surface processing and transport dominated the energy consumption. Total energy consumption is 25030 MMBtu/d.

Table 2: Energy consumption table.

ÖN	N	D	E	T
Exploration	0	6	0	6
Drilling	0	17	0	17
Production	11316	0	0	11316
Processing	12167	0	105177	12526
Transport	317	848	0	1164

N: Natural Gas (MMBtu/d), D: Diesel (MMBtu/d), E: Electricity (kWh/d), T: Total (MMBtu/d).

6 CONCLUSION

In order to develop a field, the most important topics are the examination of the well logs, the design of the drilling, the execution of economic analyzes in a compact way with reservoir modeling, and finally the implementation of sustainability studies. Considering the recovery factors based on the scenarios made on the field development, the highest recovery factor was obtained as 49% from the modeling in which vertical, horizontal and water injection wells were designed together, which is the last scenario applied. When the economic analyzes of this scenario were made, the highest net present value was obtained as 997,023,737 million dollars. Considering the environmental sustainability of this most profitable scenario, it is seen that the most energy consumption and gas emissions are in the production phase.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank all faculty members, research assistants and friends who contributed to this study.

REFERENCES

Bassiouni, R. (1994). Theory, Measurement, and Interpretation of Well Logs. Richardson, TX.

Palabıyık, Y. (2018). Petroleum Geology Lecture Notes. İstanbul.

Tükenmiş Bir Petrol Rezervuarında Sürdürülebilirlik Konularını Dikkate Alarak Karbon Tutma Tasarımı

Designing Carbon Sequestration in a Depleted Oil Reservoir Considering Sustainability Aspects

Emre Artun, Fadime Bolat, Mehmet İrfan Güler, Deniz Çelik
Istanbul Technical University, Petroleum and Natural Gas Engineering Department, Istanbul

ÖZET İklim değişikliğine neden olan sera gazlarının arasında CO_2 önemli bir yere sahiptir. İklim değişikliğinin etkilerini en aza indirmek için hazırlanan Kyoto Protokolü ve Paris Antlaşması, iklim değişikliğini azaltarak dünyanın ortalama sıcaklığını belirlenen seviyede tutmayı amaçlamaktadır. Bu çalışma, anlaşmalardan esinlenerek CO_2'i rezervuarda kalıcı olarak depolamaya yöneliktir. Bu amaç doğrultusunda, yapay bir petrol sahasının 3 farklı rezervuar tanımlama senaryosu, kalınlık, porozite ve geçirgenlik açısından Düşük-Orta-Yüksek olarak sıralanmış ve her rezervuar tahmini için 8 farklı model oluşturulmuştur. Bu modeller kuyu mimarisi (dikey veya yatay), üretim ve enjeksiyon süreleri açısından farklılık göstermektedir. Modelleri oluşturmak ve belirtilen senaryoları çalışmak için ticari sayısal rezervuar simülatörleri arasında en güvenilir olanlardan biri olan CMG kullanılmıştır. Sürdürülebilirlik açısından ekonomik, çevresel ve sosyal konular ele alınarak seçilen tasarım senaryosu analiz edilen parametreler bakımından 20 yatay kuyu ve 10 yıllık üretim ve enjeksiyon periyoduna sahip olan model olmuştur.

ABSTRACT CO_2 is one of the most important greenhouse gases and greenhouse gases cause climate change. The Kyoto Protocol and the Paris Agreement, which were prepared to mitigate the effects of climate change, aim to keep the world's average temperature at a certain level. This study, inspired by the global agreements, aims to permanently store CO_2 in a reservoir. To make economic, environmental and social comparisons among the models and find the best design scenario, 24 different models were constructed by using Low-Mid-High estimates for net pay thickness, porosity and permeability, considering vertical and horizontal well architectures in each case and changing oil production and CO_2 injection periods. CMG Reservoir Simulation Software was used to construct the models and study the aforementioned design scenarios. Considering sustainability, the best design scenario recommended was the model with 20 horizontal wells and 10-year production and injection periods due to analyzed parameters.

Keywords: Geological carbon sequestration, CCS, CO_2 storage

1 RESERVOIR MODELLING

1.1 Reservoir Model Construction

In 3 different reservoir conditions, 24 scenarios with different production and injection time intervals and different well types were created using the numerical reservoir simulation method. Figure 1 is showing that 3D view of base model (V-10W-10Y-MID).

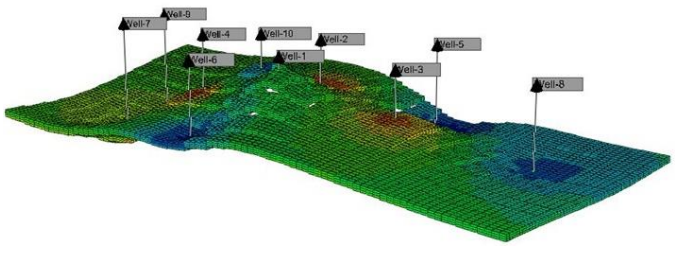


Figure 1. 3D view of base model

1.2 Designing Simulation Scenarios

Since the names of 24 different scenarios created are quite long, they were shortened by coding of names. Table 1 is showing the names of the scenarios.

Table 1. Summary of names of the scenarios

Models		
Low Reservoir Conditions	Medium Reservoir Conditions	High Reservoir Conditions
V-10W-5Y-LOW	V-10W-5Y-MID	V-10W-5Y-HIGH
V-10W-10Y-LOW	V-10W-10Y-MID	V-10W-10Y-HIGH
V-20W-5Y-LOW	V-20W-5Y-MID	V-20W-5Y-HIGH
V-20W-10Y-LOW	V-20W-10Y-MID	V-20W-10Y-HIGH
H-10W-5Y-LOW	H-10W-5Y-MID	H-10W-5Y-HIGH
H-10W-10Y-LOW	H-10W-10Y-MID	H-10W-10Y-HIGH
H-20W-5Y-LOW	H-20W-5Y-MID	H-20W-5Y-HIGH
H-20W-10Y-LOW	H-20W-10Y-MID	H-20W-10Y-HIGH

1.3 Production and Injection Constraints

In order to provide economic benefits by spreading the production and injection to a certain time, some limits have been applied in the production and injection works. Considering the production and injection wells as a group, daily group production and injections are limited. Production and injection group constraints were determined 65,000 bbl/day and 310 MM ft3/day, respectively.

1.4 Surface Facilities and Pipeline

To create a center where it is necessary to collect the oil and gas produced, liquid and gas handling facilities were located at the central point of the reservoir, and the oil and gas produced from the wells reach the facilities by connecting to the main pipeline instead of connecting directly to these facilities to provide economic benefits.

2 ECONOMIC ANALYSIS

24 scenarios were evaluated in term of capital investments required, operating costs, taxes and other parameters from a petroleum economics perspective, including time value of money. The injected CO_2 is accounted for as a tax credit to be used in future projects.

2.1 Economic Indicators

In order to decide whether the investment is rational or not in the economic point of view, different economic indicators are used such as Net Present Value (NPV), Rate of Return (ROR), Payout Time, Profit-to-Investment Ratio, Discounted profitability index (DPI).

2.2 Sensitivity Analysis

Sensitivity analysis is used to assess the project's economic performance in response to changes in the base case estimations for the input data. This demonstrates how resistant the project is to changes in one or more factors, as well as which of the inputs is more sensitive to the project's economics.

2.3 CO2 Tax Credit

After 10 years of production, operations continued with injecting CO_2 into the reservoir. During 10 years of sequestration, operational expenses were taken into account since wells were operating and paid by the owner. Instead of getting revenues from selling oil and gas, the economic benefit is the sequestered CO_2. However, tax credit per sequestered tons of CO_2 does not include actual revenue in economic indicators. It will be a credit to be used in the next projects of the hypothetical owner company.

3 SUSTAINABILITY ASPECTS

3.1 Environmental Aspect

The scenarios are examined under the environmental perspective considering possible GHG emissions.

3.1.1 Greenhouse gases equivalencies

GHG equivalencies due to combustion of produced oil and gas from the reservoir during production period and sequestered CO_2 during injection period were analyzed using EPA methods (EPA, 2021).

3.1.2 Carbon sequestration efficiency

Carbon sequestration efficiency shows the relation between the economics and

environmental effect of sequestration. CSE (Carbon Sequestration Efficiency) is calculated with the Equation (1).

$$\text{CSE} = \frac{\text{tonnes of CO2 sequestered}}{(\textit{invested capital} + \textit{depreciation allowance with } 10\% \textit{ interest rate}} \quad (1)$$

3.2 Social Aspects

The effect of the oil and natural gas sector on employment was desired to be examined in the scenarios. For this purpose, 2 different assumptions were created.

3.2.1 Assumption 1

As a result of comparing employment with NPV in a special reservoir (Permian Basin), the employment rate provided for 1 $ gain was obtained and this approach was applied to the models. However, this approach does not give accurate results since the study was performed in a special reservoir (Permian Basin) (Ali & Watson, 2014).

3.2.2 Assumption 2

Using a dynamic model, it was concluded that the employment provided in the designed production and injection plan is directly proportional to the number of active wells (Hartley, Agerton, Kenneth B., & Temzelides, 2015).

This approach is divided into two as the number of people who work in the short-term well construction and the number of people who work in operation part of the production and injection period at long-run. Table 2 is showing the impact of wells on employment.

Table 2. The impact of wells on employment

The Employment Impact of Well Count	Employment
Per Well Construction	37
Per Well Operation	224

4 RESULTS

The followings are concluded at the end of this study:

1. Horizontal wells performed better for production but particularly for injection, production and injection durations being equal.
2. In all scenarios, it is seen that injection increases with higher production. Even though 15 years of sequestration is expected to result in higher injection, the amount of sequestered CO_2 for 10 years of injection is higher. The reason is increased production creates more space in porous media and allows higher injection as verification literature.
3. CO_2 tax credits are high and they can be used as an incentive to decrease emissions due to produced oil and gas.
4. On the contrast of performance of horizontal wells over vertical wells in low and mid estimates, for higher net pay thickness, porosity and permeability estimates, there was no advantage of horizontal wells over vertical wells due to increased capital investment when the production of vertical wells is still quite high from the economical point of view.
7. GHG equivalencies produced oil and natural gas after combustion is higher than sequestered carbon dioxide. Considering these emissions, the net-zero emissions goal does not seem quite possible. Instead of producing oil from new reservoirs, already depleted reservoirs might be a better option for sequestration hence, lower the carbon contribution to the atmosphere.
8. After the Reservoir modeling part, the H-20W-10Y-HIGH model, which was considered the best model, was again observed as the best model as a result of Economic, Social, and Environmental examinations except CSE, due to high capital investment.

To improve the project, production and injection constraints might be tested to find optimum rate. New well locations might be drilled to observe the effect on production. The project also can be extended using machine learning to adjust optimum space to increase production and injection.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank Assoc. Prof. Dr Emre Artun for his guidance, knowledge, encouragements and patience.

We also would like to express our gratitude to Dr. Burak Kulga who made his contributions by preparing us to work on CMG.

We would like to thank Petroleum and Natural Gas Engineering Department faculty members for both teaching us the fundamentals of engineering and the oil-gas industry and guiding us during our 4-year educational journey.

REFERENCES

EPA. (2021, June). Greenhouse Gas Emissions. Retrieved from United States Environmental Protection Agency: https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases

Ali, T., & Watson, M. (2014). Economic Impact : Permian Basin's Oil and Gas Industry.

Hartley, P., Agerton, M., Kenneth B., M., & Temzelides, T. (2015). Employment Impacts of Upstream Oil and Gas Investment in the United States. *IMF Working Paper*.

Bir Bütün Olarak Saha Geliştirmesi
Entire Field Development

İ.Ş. Turan, M.E. Karagoz, M. Kement, N. Tukuc
Istanbul Technical University, Faculty of Mines, Department of Petroleum and Natural Gas Engineering

ÖZET Petrol ve doğal gaz sahalarının geliştirilmesinde sahadan alınabilecek optimum veriler yorumlanarak doğru bir şekilde analiz edilir ve geliştirme gerçekleştirilir. Bu çalışmada halihazırda üretim kuyuları bulunan bir sahada kuyulardan alınan kuyu loglarının analiziyle rezervuardan ilk bilgiler elde edilmiştir. Böylece yeni kuyu konumu belirlenmiş, tasarımı yapılmıştır. Yeni kuyu tasarımı sondaj sırasında oluşabilecek en zorlu koşullar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Rezervuar modelleme için tamamlanması gerekli olan analizler uygulanmış, rezervuar simülasyon programlarıyla modellenmiştir. Rezervuarı gerçeğe en yakın şekilde simüle etmek sahayı geliştirmek için temel oluşturur. Saha gelişimini gözlemlemek için çeşitli planlar oluşturulmuş ve bu planlar üzerinden üretim verimliliğiyle ekonomik açıdan makul alternatif planlar seçilmiş, birinde karar kılınmıştır.

ABSTRACT In the development of oil and natural gas fields, the optimum data that can be obtained from the field is interpreted and analyzed correctly and development is carried out. In this study, the first information from the reservoir was obtained by analyzing the well logs taken from the wells in a field where there are already production wells. The new well location was determined, its design was made. The new well design has been carried out taking into account the most difficult conditions that may occur during drilling. The analyzes required to be completed for reservoir modeling were applied and simulated via reservoir sımulation programs. Modeling the reservoir as close to reality has been a basis for developing the reservoir. Various fields plans were created to observe the development, and three of them were selected based on production efficiency and economically, and one was decided.

1 INTRODUCTION

The main purpose of this study is to identify a reservoir with limited available data, drill a sample well, determine reservoir boundaries and reveal the best reservoir development plan. The issue is not only to produce the most oil that can be produced from the field, but also to find the most suitable plan in terms of economy and sustainability. The project was carried out using the data of an existing area that was explored. The field modeling and development project lasted for 10 years, between July 2020 and July 2030.

The data used are current well log, production, well test, flow test, relative permeability, PVT data of a real area. In the field modeling and development phase, CMG Reservoir Simulation was used. In this way, the reservoir is modeled as close to reality.

The applications carried out during the study are as follows; Recognizing the site using well log data, seeing the problems and making decisions while drilling a well with drilling design, modeling the field with reservoir engineering methods, making 10-year development plans after this model, making an economic and stable plan.

Analyzing among these plans and seeing the effects of the decision.

2 METHODOLOGY

In this section, the methods applied during the study will be explained in subtitles.

2.1 Formation Evaluation and Determination of a New Well Location

By examining the well log data, information about the geological and fluid characteristics of the field is obtained. There are many types of well logs, some of the well logs give us direct information, and some of them can be interpreted by examining together with a few logs. With an accurate reading, information about properties such as porosity, lithology, saturation, liquid content, reservoir thickness, reservoir type can be obtained from the logs (Bassiouni, 1994). Using this information, non-specific position estimation of the well to be drilled can be made.

2.2 Well Design: Drilling and Completion

Three different designs are made for drilling the new well; casing, drill string and hydraulic design. With these designs, the depth of the well, the properties of the mud to be used, the quality types and dimensions of the casing and wires, the power and size of the pump are decided; pressure losses are examined (Bourgoyne Jr, AT., Millheim, KK., Chenevert, ME., and Young Jr, FS., 1991). In addition, how to prevent a possible gas hit scenario is carried out theoretically and thus real-life measures are taken (Ozyurtkan, 2021). Along with cost calculations, the duration, difficulties and decision stage of drilling a new well can be examined.

2.3 Reservoir Engineering and Modeling

Reservoir modeling is one of the most critical steps before field development. The estimated amount of oil in the field and the reservoir limits are determined; the consistency of these analyzes with each other is examined by applying various analyzes to model the closest reservoir. If there is past flow rate data of the field, the data should be integrated into the model. The production behavior of the field can be observed by making different well drilling applications on the model established before the field development.

In the reservoir modeling part, the following processes were applied respectively; probabilistic original oil in place estimation, decline curve analysis, well test analysis, material balance analysis, reservoir model construction, pressure-production matching and well count sensitivity analysis. The reservoir model is as in Figure 1.

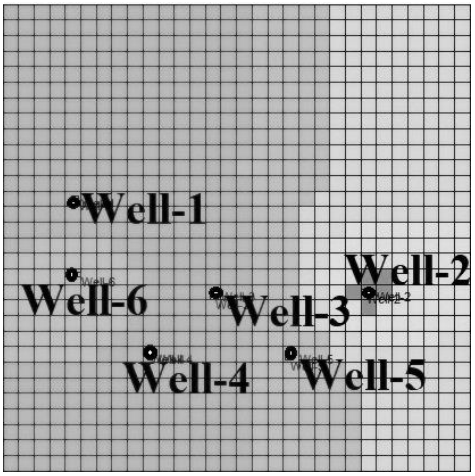


Figure 1. Model of the reservoir

2.4 Field Development Design

Establishing the model close to reality before the field development stage is important for the reliability of the result because the field development is also based on this model. At this stage, it is up to the engineer to develop the field. The field development plans were generally implemented by drilling production and injection wells, drilling horizontal wells, closing the production well early and converting wells. To improve the field, some parameters were taken as reference, for example the recovery factor. A target has been set in the parameter, this target is to exceed 45%. Until the goal was achieved, different field development plans were created and three main plans emerged.

The recovery factors of these plans are 47.5%, 54% and 57%, respectively. The Figure 2 shows 3D view of the Plan-3 with the highest recovery factor.

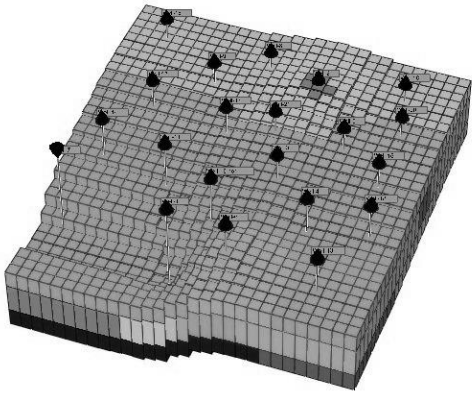


Figure 2. 3D view of the Plan-3

2.5 Economic and Decision Analysis

The recovery factor parameter, which is taken as a reference in the selection of the developed plans, is also important, but it is the economic and decision analysis sections of these plans that determine the selection. In this section, net cash flow and net present value calculations are made during the 10-year production period. As a result of these calculations, Plan-3 has been chosen as it has the highest net cash flow and net present value. In addition, as mentioned in the field development section, Plan-3 has the highest recovery factor value of 57%.

3 RESULTS AND DISCUSSION

This section contains the result and discussion of each sub-topic mentioned in the methodology section.

Since PEF values were found in the examination of Well log data, Well-5 was taken as a reference. Since Well-3 and Well-4 do not have enough log data to be interpreted, assumptions were made for these wells. As a result of the well log readings, it was observed that there were four separate zones in the reservoir, and it was determined that the first zone was the gas zone. Porosity calculations were made for zones, to say on a well basis, the average porosity of each well varies between 15% and 22%. According to the porosity distribution, there was an increasing trend from Well-6 to Well-2. It was deemed appropriate to drill a new well around Well-2.

As a result of the analyzes made, the surface casing is set at 3000 ft, the intermediate casing is 8000 ft and the production casing is 11000 ft. Analyzes were made and grades of the both drill casing and string were determined.The time to drill this well is 33 days, and the cost is 4.5 billion dollars.

In the reserve estimation analysis performed before the reservoir model was created, the OOIP was estimated in the range of 57.57 MMSTB to 392.31 MMSTB. The OOIP value of the model created with average porosity and homogeneous pemrebility is 121 MMSTB. The OOIP that comes out of the material balance analysis is 123 MMSTB, in this case the error rate is 1.88%. The reason for this error rate is because the first zone is gas, it is not added to the model and the material balance equation is calculated as if there is no gas. After the sensitivity analysis, it was observed that the number of wells added after the scenario with a total of 14 wells did not have a great effect on production. Also, the field was exhausted before all scenarios reached July 2030. The reason for this was interpreted as the fact that the oil rate limit was not placed on the wells and the contribution of the wells added to the field to production weakened after a while.

Table 1. Cumulative production and injection values of plans until July 2030

Plan	Oil Prod. (MMbbl)	Water Prod. (MMbbl)	Water Inj. (MMbbl)
1	57.47	19.04	98.72
2	65.33	11.13	103.34
3	69.05	7.57	106.46

As a result of three different plans made to develop the field, a plan called Plan-3 was decided. Cumulative oil and water production and water injection amounts of the plans are given in the Table 1.

The plan with the highest net cash flow value calculated as a result of economic analysis is Plan-3. NPV values were found to be 1.03, 1.16 and 1.3 billion dollars, respectively, of the plans. It has been clearly seen that the most influential factor on the net present value is the price of oil.

4 SUSTAINABILITY ASPECTS

Field development plans have also been evaluated in terms of their impact on the environment, considering sustainable environmental protection (OPGEE, 2017). In this plan, only water flooding was applied in terms of field development. Considering the reservoir characteristics, it has been seen that this method is the most suitable method in terms of environmental protection with lower carbon dioxide emissions.

5 CONCLUSIONS

- Surface casing setting depth is determined as 3000 ft. Intermediate casing setting depth is found as 8000 ft. Production casing setting depth is determined as 11000 ft.
- Drill string design is completed for each section, and E-75 with 21.9 lb/ft drill pipe with NC46 connection was used for the surface drill string. It is decided to use G-105 drill pipe grade for both intermediate and production drill string design.
- Drilling cost analysis is conducted for 33 days which is found as 4.5 MM$ for each well.
- The material balance equation is applied to the reservoir model and OOIP value found as in 123.3 MMSTB.
- After simulating the reservoir model until 2030, three different development plans are created. The water production for Plan-1 was 19.04 MMbbl and the recovery factor was 47.5 percent.
  While the water production for Plan-2 was 11.13 MMbbl and the recovery factor was 54 percent, the water production for Plan-3 was found as 7.572 MMbbl and the recovery factor was 57 percent.
- After Cash Flow and NPV analysis Plan-3 is selected as the most economical one whose NPV is 1.3 MMM$. For Plan-2 and Plan-1, NPV`s are 1.16 MMM$ and 1.02 MMM$, respectively.
- In the Lifecycle GHG emission analysis, carbon dioxide emissions are 3.58 gCO_2eq/MJ when only water flooding is performed.

6 ACKNOWLEDGEMENT

To our honorable Prof. Dr. Ömer İnanç Türeyen, Assoc. Prof. Gürşat Altun and Assoc. Prof. Emre Artun, who provided their support and assistance during our graduation design project, and to all our professors who contributed, helped and guided us throughout our university life, and to the last we would like to thank our families who have brought us to this day and who have always been with us.

REFERENCES

Applied drilling engineering (SPE textbook series) by Bourgoyne Jr, AT., Millheim, KK., Chenevert, ME., and Young Jr, FS. (1991). Richardson, Society of Petroleum Engineers.

El-Houjeiri, H. M., Vafi, K., Masnadi, M. S., Duffy, J., McNally, S., Sleep, S., Pacheco, D., Dashnadi, Z., Orellana, A., MacLean, H., McNally, S., Englander, J., Bergerson, J., & Brandt, A. R. (2017, July 17). *OPGEE: The Oil Production Greenhouse gas Emissions Estimator*. Environmental Assessment & Optimization Group.

Ozyurtkan, M.H., 2021. *"Formulas for Wait and Weight Well Control Method"*. Course Notes, Petroleum and Natural Gas Engineering Department, ITU Mine Faculty, p.1-6.

Theory, measurement, and interpretation of well logs (SPE textbook series) by Zaki Bassiouni (1994-01-01). (1994). Henry L. Doherty Memorial Fund of AIME, Society of Petroleum Engineers (1994-01-01).

Tam Saha Geliştirme Planı
Full Field Development Plan

B. Akçealan, M.İ. Buldu, B. Lobut, E.E. Çam, Tüm PDGM Öğretim Üyeleri
Istanbul Technical University, Petroleum and Natural Gas Engineering, İstanbul

ÖZET Tam Saha Geliştirme Planı, saha verilerinin ayrıntılı incelenerek verilerin analiz edilmesi ve sahanın üretiminin ekonomik açıdan arttırılmasını amaçlayan bir çalışmadır. Öncelikle İTÜ Sahasına ait kuyu log verileri kullanılarak rezervuar özelliklerine göre haritalama yapılmıştır. Bu rezervuar analizlerine dayanarak belirlenen hedef derinlikler için kuyunun sondaj ve hidrolik tasarımı planlanmıştır ve bu tasarım planına göre sondaj boruları ve sondaj koruma boruları seçilmiştir.

Kuyu log verileri kullanılarak elde edilen bilgiler doğrultusunda yerine petrol miktarı Monte Carlo Simülasyonu ile hesaplanmıştır. Son aşamada sahanın üretimini arttırmak için su enjeksiyonu ve yeni üretim kuyusu açma operasyonları içeren senaryolar yaratılmıştır ve her senaryonun ekonomik analizi yapılmıştır. Bu ekonomik analiz sonucunda en iyi senaryoya karar verilmiştir. İTÜ Sahasının yatırım miktarı 60,084,132 $ ve getiri değeri 1,329,537,080 $ olmuştur. Projede hesaplamalar için Excel, haritalama için Surfer, tasarım için AutoCAD ve rezervuar simülasyonu için CMG yazılımları kullanılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Saha geliştirme planı, rezervuar analizi, ekonomik analiz

ABSTRACT Full Field Development Plan is a study that aims to increase the production of the field economically by examining and analyzing the field data in detail. First of all, using the well log data of the ITU Field and mapping was made according to the reservoir characteristics. Drilling and hydraulic design of the well was planned for the target depths determined based on these reservoir analyzes, drill pipes and casings were selected according to the design plan.

OOIP was calculated according to the information obtained using the well log data. Finally, scenarios including water injection and new production well drilling operations were created, and economic analysis of each scenario was made. As a result, the best scenario was decided. The investment to ITU Field was found to be $60,084,132 and ROR was 420%. NPV is expected to be $1,329,537,080 in this work. Excel for calculations, Surfer for mapping, AutoCAD for design and CMG Software for reservoir simulation were used in the study.
Keywords: Full field development plan, reservoir characteristic, economic analysis

1 INTRODUCTION

This study was done between September 2020 and June 2021. First of all, well logs were examined and potential hydrocarbon ranges were determined through graphs created using excel. Oil saturation, water saturation and reservoir shape maps in these ranges were created using the Surfer Software. The location of the new well to be drilled was decided through these maps.

Secondly, drill protection pipes, drill pipes and drill bit diameter were selected considering the borehole diameter. Based on this design, the pump pressure to be used was decided and the well killing scenario was created.

In reservoir estimation part, OOIP value was calculated using decline curve analysis, material balance equations and CMG and these values were compared with each other.

Reservoir simulation was performed using CMG Software. Production was planned between 2021 and 2030 and scenarios were created.

Finally, the economic analysis of the well scenarios was made and the most efficient scenario was decided. While deciding on the best scenario, production amount, NPV and ROR values were taken into consideration.

2 FORMATION EVALUATION AND DETERMINATION OF A NEW WELL LOCATION

This study was done using the well log data of the ITU Field. According to preliminary studies, high porosity is observed in the southeastern part of the field according to the cartesian coordinate system. The movable hydrocarbon saturation is around 50% and the water saturation ranges from 10% to 30%. These values were found using empirical equations. The field lithology is predominantly limestone. Charts were used to determine the lithology. Shale volume varies between 10% and 30%.

Histograms of the obtained reservoir data were created and it was decided in which distribution they behaved. According to the distribution behavior, 10,000 scenarios were created using the random number generator and the OOIP value was determined by the Monte Carlo Simulation method.

3 WELL DESIGN: DRILLING AND COMPLETION

Interpolation and extrapolation were made using the reference bulk density determined for the surface and the targeted depth and the bulk density determined in the formation evaluation part. The reference bulk density value was taken as 2.4 g/cc for 11,000 ft, with a target of 1.95 g/cc for the surface. Depth vs bulk density chart has been created.

Since it is necessary to obtain a fracture gradient value to create a mud window, Eaton, Hubbert and Willis and Christman correlations were tried and the Christman correlation was decided and a pore pressure and fracture gradient was created. Thanks to the created mud window, the depth of the casing and drill string to be installed has been decided.

3.1 Casing Design

Casing depths were determined as surface casing 3000 ft, intermediate casing 7000 ft and production casing 11000 ft using mud window. Production casing 7" and bit 8.75", intermediate casing 10.75" casing and bit 15" and finally surface casing 16" and bit is 20". At these depths, collapse and burst ratings were evaluated and the appropriate casing type and nominal weigth were decided. The general equation used for burst calculation given in the equation 1 (Bourgoyne, 1991):

$$\Delta P_{burst} = P_{internal} - P_{external} \quad (1)$$

The equation used for the collapse calculation given in the equation 2 (Bourgoyne, 1991):

$$\Delta P_{collapse} = P_{external} - P_{internal} \quad (2)$$

3.2 Drill String Design

Casing depths were determined as surface casing. The density of the mud, which will be used in the sections, has been calculated. Premium drill pipes were used in this study when designing the drill string. Hole diameter and bit diameter are considered equal to each other. Maximum overpull is limited to 100,000 lbm. It has been assumed that the drilling was done at 75 rpm. After these assumptions are made, first the drill collar length needed to decide. Pipes are classified as R1, R2 and R3 according to their length (Bourgoyne, 1991). In this study, R2 type pipes were taken, that is, a pipe length was

accepted as 30 feet. The bending stress ratio has been checked between the drill collar and the selected drill pipe. When this ratio is higher than 5.5, heavy weight drill pipe is used. It was not used when it was less than 5.5. After deciding the bottom hole assembly length, the density of the steel was taken as 65.5 ppg and the buoyancy factor was found. Considering the buoyancy factor, the weight of the bottom hole assembly was chosen. The length of the drill pipes was decided by considering the weight of the bottom hole assembly and the buoyancy factor. After the series was designed, the collapse pressure control of the drill pipes was made. By comparing these values with hydrostatic pressure, it was decided whether there would be a collapse or not in the well. In this study, the safety factor is taken as 1.15. Drill pipes are selected E-75 for surface section, X-95 for intermediate section and X-95 for production section.

3.3 Drilling Hydraulics

To make the hydraulic design of the well, first, the rheological modeling of the mud used in the surface, intermediate and production sections of the well should be done. Using these rheology models, the viscosity, Reynolds number equivalent and critic Reynolds number numbers of the mud are determined and the flow type in the annulus of the well and the drill pipe is determined according to these numbers.

After deciding on the flow type, pressure loss measurements are performed, the parasitic pressure loss is determined, and the appropriate pump is chosen based on the results. It is one of the factors that influence the cost of designing a pump well. It's critical to choose the correct pump. After this stage, the P-q test is started. The pressure loss in the bit is calculated and the appropriate nozzle selection is made.

Finally, a well killing operation was carried out by applying the kick scenario. Kill Weigth Mud is set at 12 ppg, initial circulating pressure 1350 psi, final circulating pressure 822 psi. Used the Wait-and-Weigth Method, then pressure step-down chart is created.

4 RESERVOIR ENGINEERING AND MODELLING

The Reservoir Simulation Software from Computer Modelling Group (CMG) Ltd. was used in this study to predict full-field performance and ultimate recovery for various field development scenarios in order to evaluate the effects of different operational conditions on recovery and compare the economics of various recovery methods. Parameters including permeability, porosity, and compressibility were entered into the software before modeling the reservoir. The porosity values found in the Reserve Estimation chapter for each well were entered. The parameters for permeability and compressibility were obtained from the ITU Field file. After that, an 80 feet reservoir grid was built, and Well-Mid was drilled. The Well-initial mid's average reservoir pressure was set at 4000 psi, and the flow rate was set at 2500 bbl/day, and the program was run. The Material Balance Equations were used to recalculate the well-flowing pressure, permeability, pore-volume, and porosity values provided by the software, and the error rates were derived.

5 FIELD DEVELOPMENT DESIGN

New production wells have been constructed and water has been injected into the reservoir. The scenarios obtained were compared with each other and with the base case scenario with 6 production wells.

The locations of the production wells were changed according to the porosity and saturation values of the field using CMG Software. Injection wells were drilled at the corners of the field to bring the oil around the field into production. In each scenario, how the production affected the field was looked at from the ternary chart and care was taken to ensure that the injected water does not reach the wells.

6 ECONOMIC AND DECISION ANALYSIS

In this part, it is aimed that the best scenario is also profitable from an economic perspective. The NPV, ROR, and DPI values of the scenarios were examined. Operational costs, 0.5-1-1.5 coefficients of oil price and capital investments and sensitivity calculations were made for the scenarios where these values are the best, and tornado charts were created.

7 RESULTS

In the Full Field Development study, the porosity values obtained in the Well log analysis section porosity values are between 10% and 30%, the average porosity of the reservoir is 20%, the water saturation values are between 13% and 32%, the average water saturation value of the reservoir is 23%, and the movable oil saturation value is 52%. The OOIP values obtained by Well log analysis are P10 55 MMSTB, P50 146.2 MMSTB, and P90 316.2 MMSTB.

In the Well design part, pipes used for casing design and drill string design are shown in Figure 1.

	Casing Type	Nominal Weight, lbm/ft.	Inside Diameter, in.	Length, ft.	Depth, ft.
SURFACE CASING	H-40	65	15,25	1317	0-1317
	J-55 & K-55	75	15,124	1683	1317-3000
INTERMEDIATE CASING	H-40	40,5	10,05	7000	0-7000
PRODUCTION CASING	H-40	17	6,538	2257	0-2257
	J-55 & K-55	20	6,456	1351	2257-3608
	C-75	23	6,366	2352	3608-5960
	C-75	26	6,276	2336	5960-8296
	C-75	29	6,184	1788	8296-10084
	C-75	32	6,094	916	10084-11000

Figure 1. Casing Types and Properties for all section

The step-down-chart created for the well killing scenario created in the drilling hydraulics part is shown in Figure 2.

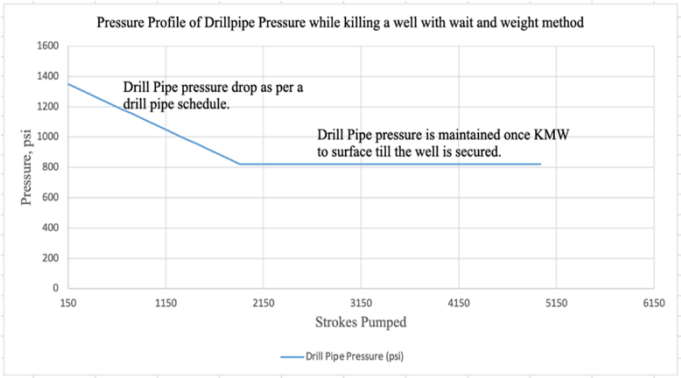


Figure 2. Step-down chart for killing a well scenario

Certain error rates were determined by comparing the values put into the CMG software with the values computed using the Material Balance Equations, which were 2.02%, 5.07%, and 0.62 percent for permeability, porosity, and OOIP, respectively.

In field development design, the best scenario has 76,202 MSTB cumulative oil production, 85,737 MMSCF cumulative gas production, 106,559 MSTB water injection and 6,658 MSTB cumulative water production. In this scenario the field has 8 injection wells and 12 production wells which are 6 of them has ITU Field and other 6 of them are new production wells

According to best scenario, the investment to ITU Field was found to be $60,084,132 and ROR was 420%. NPV is expected to be $1,329,537,080.

DISSERTATION ACKNOWLEDGEMENT

We would like to thanks to Petroleum and Natural Gas Engineering Department academicians for their support in the Graduation Design Project-1 and the Graduation Design Project-2. Especially, we would like to thanks to our families.

REFERENCE

Bourgoyne, A., Millheim, K.K., Chenevert, M.E., Young, F.S., 1991. *Applied Drilling Engineering*, Society of Petroleum Engineers, Richardson TX.

Rezervuar Analizi ve Saha Geliştirmesi
Reservoir Analysis and Field Development

D. Özen, F. Erincik, F. Orak, H.B. Özden, Ö.İ. Türeyen, G. Altun, F. E. Artun, E. D. Korkmaz Başel, M. H. Özyurtkan, Y. Palabıyık, M. Çınar
İstanbul Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET

Bu çalışmada, öncelikli olarak kuyu logları verilerinden faydalanılıp rezervuarın derinliğini ve alanı tahmin edildi ayrıca yeni açılacak kuyunun lokasyonu belirlendi. İkinci olarak bu kuyunun tamamlama işlemleri dışında casing, drillstring ve hidrolik gerekli sondaj tasarımları yapıldı. Sonra bu rezervuarın numerik modeli simülasyon programı olan CMG vasıtasıyla yapıldı, bu program birçok olası senaryoyu simüle etmemizi sağladı. Sahayı geliştirmek için optimum senaryo belirlendi. Son olarak bu senaryo için ekonomik analiz yapıldı. Bu aşamalar sonunda gerçek bir sahanın gelişimini gözlemlemiş olduk.

ABSTRACT

In this study, the depth and area of the reservoir were estimated by using the well log data, and the location of the new well to be drilled was determined. Secondly, casing, drillstring and hydraulic drilling designs were made apart from the completion of this well. Then the numerical model of this reservoir was made through the simulation program CMG, which allowed us to simulate many possible scenarios. The optimum scenario was determined to develop the field. Finally, an economic analysis was made for this scenario. At the end of these stages, we have observed the development of a real field.

1 WELL LOG DATA ANALIYSIS

Common well log methods were used to determine the lithological structure of the field. Well log is particularly important for the determination of lithological formations, in particular, gamma-ray and SP logs play a key role in identifying rock types. When data from this analysis were evaluated, graphs were generated and interpreted using Microsoft Excel. We identified rock types using gamma-ray logs to determine reservoir depth. Types of rocks containing potential hydrocarbons are as follows; sandstone, limestone, and dolomite. The depth of the reservoir with gamma-rays and resistivity logs is estimated to be between 10000–10600 ft.. In addition, parameters such as porosity, saturation, and fluid type were calculated with sonic, density, and resistivity logs. The average porosity and water saturation are calculated respectively 0.16 and 0.38.

Başlıklardan veya boş bir satırdan sonra başlayan paragrafları paragraf başı boşluğu bırakmadan yazınız.

2 DRILLING DESIGN

After the new well locations were determined, a drilling design had to be made according to the well log data. We examined this under three headings: casing design, drill string design, and hydraulic design. A non-detailed but basic cost calculation has also been made and is approximately $2.6 million.

2.1 Casing Design

Casing design, which should be planned and calculated before the beginning of drilling operations, is one of the major steps in

drilling. According to well conditions, casing design is made by considering pore pressure and fracture gradient effects. This obtained graph shows that our essential casing design parts which are surface, intermediate, and production (Figure 1). Also, this graph shows mud weights which are different for each section. Mud weight for surface, intermediate, and production are 8.75 lb. /gal, 8.85 lb. /gal, 9.82 lb. /gal respectively. Tension, burst, collapse, bending forces, and buoyancy effects dictate the casing design (Bourgoyne et al., 1986). In this design, bending forces are negligible because well is vertical. General diameter of all casing in Table 1.

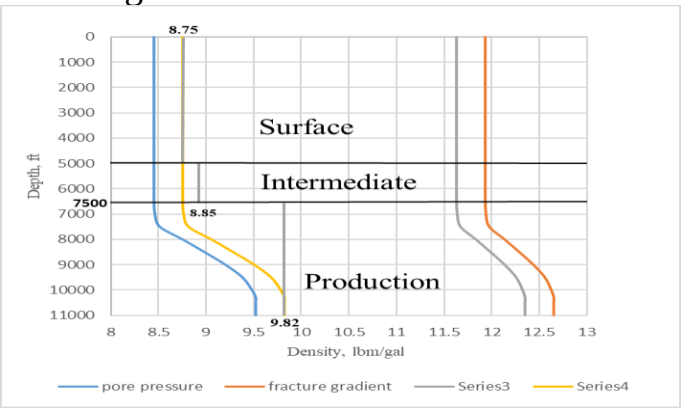


Figure 1. Pore pressure vs fracture gradient

Table 1. Diameter size of all casing

S	COD	BTS
Production	7	8.625
Intermediate	9.625	12.25
Surface	13.625	17.5

S: Section, COD: Casing OD (inch.), BTS: Bit size (inch.)

2.2 Drillstring Design

Drill string design is planned both before the drilling and during drilling. This design includes a rotary table, drill pipe, drill collar, and drill bit as components. The main purposes of this design are to have sufficient tensile strength of the design and to construct the weight on a bit the drill within the design. Different calculations are made for all stages. Finally, the most having high strength drill pipe is selected. In this design, the chosen pipe is G-105 21 lb/ft. These stages are surface, intermediate, and production. All calculations are made for drill pipe since it is the weakest component of the drill string design. All calculations are made for the premium-grade pipe.

2.3 Hydraulic Design

Hydraulic design related to the rheological model of mud, pressure loss, pump selection, and optimum flow rate selection. The hydraulic design is very important as it controls all calculations related to drilling fluids. The optimum mud flow rate during drilling is obtained by the p-q test. Maximum pump pressure, pump efficiency, nozzle, and minimum flow rate are required for the p-q test. The parameter that determines the minimum flow rate is the effective cutting transporter. Pressure losses during drilling are the function of the calculated optimum flow rate. In addition, the rheological model of the drilling fluids used has implications for determining pressure losses. The selected mud pump must provide the calculated pressure and flow rate.

3 RESERVOIR MODELING AND ECONOMIC ANALYSIS

3.1 Reservoir Modeling

In the development of the petroleum industry, simulation and modeling programs are used. These programs provide to understand reservoir characterization. CMG is one of the famous programs. In this study, CMG which works with the grid method is utilized. All required parameters such as thickness, porosity, permeability, and area are entered as input, in order to make a reservoir model. Many benefits of CMG can be listed as a predict the cumulative fluids production, behavior of pressure profiles, and saturations according to time. Moreover, the most important benefit of CMG is that applicable to many field development and production scenarios for the future. All results are given by CMG each time. The program calculates many things for the future, that play an important role in determining the field development policies of the companies.

3.2 Economic Analysis

As in most projects, economic analysis is one of the most important parts of this project. For this project, the price of oil per barrel was determined as 60 dollars and a cash flow table was created. In this table, profit is determined by calculating expenses, depletion, depreciation, income tax, and net revenue. It amounts to $1.6 billion. This profit does not mean anything for a 10-year project. With the given interest rate, which is 10 percent. Net present value is equal to 1.1 billion dollars.

4 RESULTS

As in most projects, economic analysis is one of the most important parts of this project. For this project, the price of oil per barrel was determined as 60 dollars and a cash flow table was created. In this table, profit is determined by calculating expenses, depletion, depreciation, income tax, and net revenue. It amounts to $1.6 billion. This profit does not mean anything for a 10-year project. With the given interest rate, which is 10 percent. Net present value is equal to 1.1 billion dollars.Many estimates were made during field development, these are original oil in place, which is 187 million barrels, water in place, and gas in place. The reservoir structure has been modeled in the simulation program, and many different scenarios have been created to increase oil production. In the optimum scenario, the total number of wells is 24, of which 19 are production residues, 4 are water injection and 1 is gas injection. In addition, aciding operation was performed for 4 wells. The amount of oil produced is 91.3 million barrels. Recovery factor is determined 49 percent. The recommended scenario to increase this is to increase the gas injection wells.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank our instructors, Prof. Dr. Ö. İnanç Türeyen, Doç. Dr. Gürşat Altun, Doç. Dr. Emre Artun, Dr. Öğr. Üyesi E. Didem Korkmaz Başel, Dr. Öğr. Üyesi M. Hakan Özyurtkan, Dr. Öğr. Üyesi Yıldıray Palabıyık, and Doç. Dr. Murat Çınar, for guiding us theoretically throughout this project, CMG program in reservoir modeling and Microsoft Office in documentation processes.

REFERENCES

Adam, T. B. Jr., Keith, K. M., Martin, E. C., & Farrile, S.Y. Jr., 1986. *Applied Drilling Engineering.*

Altun, G., 2021. *Course Notes*, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İTÜ Maden Fakültesi.

Artun, E., 2021. *Course Notes*, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İTÜ Maden Fakültesi.

Başel, E.D., 2020. *Course Notes*, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İTÜ Maden Fakültesi.

Kamel, M.H., Mabrouk, W.M., 2003. *Journal of Petroleum Science and Engineering 40*, 145-157.

Rachain, J., & Shyne, C., 2021. https://www.drillingformulas.com.

Schlumberger, 1969. *Log Interpretation Charts*, Schlumberger Well Services, Houston.

Petrol Sahası Geliştirme
Oil Field Development

E. Adam, B. Göral, T. Kaya, B. Köroğlu
İstanbul Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü

ÖZET Bir petrol sahasının 2020-2030 yılları arasında petrol üretimi açısından yüksek verimli ve ekonomik açıdan uygun maliyetli saha geliştirme senaryosu oluşturmak amaçlanmıştır. Log verileri incelenerek potansiyel hidrokarbon zonları belirlenmiş, litoloji ve porozite tayini yapılmıştır. Surfer Yazılımı kullanılarak porozite, su satürasyonu ve net üretilebilir kalınlık haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen bu değerler kullanılarak rezervuar için kümülatif olasılık dağılımı grafiksel olarak gösterilmiştir. Haritalar kullanılarak yeni kuyu yeri tayin edilmiştir. Açılacak yeni kuyu için sondaj dizi tasarımı, casing tasarımı, hidrolik tasarımı yapıldı ve olası kuyu akış senaryosu çözümlenmiştir. Farklı çalışma koşullarında sondaj zamanı tahmini yapılıp, optimum çalışma koşulunda sondaj maaliyeti hesaplanmıştır. Log verilerinden ve well test analizinden elde edilen veriler CMG'de kullanılmıştır. Material balance ve CMG'den elde edilen OOIP miktarları karşılaştırılmıştır. Sahadaki kuyulara ek olarak production ve injection kuyuları kazılarak 3 farklı saha geliştirme senaryosu oluşturulmuştur. Son olarak elde durumların ekonomik ve karar analizi yapılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Log, Sondaj, Rezervuar, CMG, Maliyet.

ABSTRACT It is aimed to create a efficient and economically field development scenario in terms of oil production between 2020-2030 for an oil field. Potential hydrocarbon zones, lithology and porosity were determined. Porosity, water saturation and net pay thickness maps were created using Surfer Software. The cumulative probabilistic distribution for the reservoir is shown graphically. The new well location was determined using contour maps. Well design was made for the new well to be drilled and the possible well flow scenario was resolved. Drilling time was estimated under different operating conditions and drilling cost was calculated with optimum operating condition. The amounts of OOIP obtained from Material balance and CMG were compared. In addition to the wells in the field, production and injection wells were drilled and 3 different field development case were created. Finally, the economic and decision analysis of the obtained situations was made.
Keywords: Log, Drilling, Reservoir, CMG, Cost.

1 INTRODUCTION

1.1 Aim of the Study

Determination of producible zones using log data of an oil field with 6 wells drilled in the past, determination of new well location by obtaining porosity, net pay thickness and water saturation maps of the field, drilling design, field development & modeling for the newly drilled well to produce from the reservoir, and It is aimed to carry out the economic analysis processes with maximum efficiency, minimum cost and the least damage to the environment from the field.

1.2 Steps of Development Process

The productive zones are determined and lithology determined by using the Quick-Look Method, M-N, MID and Two Mineral Methods, which are obtained during the drilling of the oil field and the production of the wells. Using the obtained information, the new well location is determined by Surfer Software and the drilling design is made using Eaton Correlation and Iteration Methods, Wait & Weight Method in order to drill a new well in the determined location. The duration and cost of the drilling are calculated. In addition, reservoir modeling was created with CMG, and field development cases were made. The project was completed with the economic and decision analysis of the cases made.

1.2.1 Formation Evaluation

The graphs created by examining the log readings depending on the depth of the wells are put side by side, log interpretation is made, and potential hydrocarbon zones are determined. At the same time, lithologies and true porosity values are obtained by examining well log data and making calculations. Then, maps of these parameters are created by calculating water saturation, porosity and net pay thickness values.

1.2.2 Well Design

In order for drilling to be carried out, the materials to be lowered into the well must be determined in advance. Here, in order to carry out a problem-free drilling operation, the necessary string design is decided considering the force and pressure effects. In addition, optimum casing design has been made in order to prevent the collapse and explosion of the well. In addition, the total cement volume calculation required to be used in casing operations has been calculated. In order to avoid problems due to pressure drops that may occur during drilling, a hydraulic design is made according to the well plan and a pump is selected according to this design. Optimum pressure and flow values are determined by using the characteristics of the selected pump. In order to overcome a possible well flowing scenario, kill mud weight and volume operations are performed and a Pressure Step Down Chart is created. In order to see which parameter affects the drilling time and how much, 4 different cases are created and the cost calculation of the optimum case is made.

1.2.3 Reservoir Engineering and Modeling

Total flow rate forecast was determined by decline curve analysis. In addition, data from well test analysis was used on the reservoir model created in CMG. The OOIP value calculated by applying Material balance was compared with the OOIP value obtained from CMG. Finally, the optimum number of wells in which maximum production can be made was found by well count sensitivity analysis.

1.2.4 Field Development Design

In addition to the wells in the created heterogeneous reservoir model, production and injection wells in different numbers and constraints were drilled. In order to make comparisons, 3 cases were created. The created cases were compared.

1.2.5 Ecomomic and Decision Analysis

The 3 cases obtained were analyzed economically. Decision analysis was made by considering the Net Present Value (NPV).

2 METHODS AND MODELLING

The Quick-Look Method allowed to identify possible hydrocarbon regions, to determine the reservoir lithology, and to obtain information about the nature of the fluids in the pores. In this method, low density and low porosity at the intersection of neutron and density values in the sandstone region indicates that that region is a gas region. On the other hand, the intersection of the neutron and the density log means that there may be water or oil in that area. In this case,

the presence of oil is mentioned where the resistivity log value is high.

M-N Method, MID Method and Two Mineral Method were used to determine complex lithologies and true porosity values. The parameters calculated from the equations were placed in the graphs created for these methods (Bassiouni, 1994) and the percentages of the lithologies were calculated with the help of the distances of the points to each other.

The porosity, net share thickness and water saturation values obtained from the log data were entered into the Surfer Software and maps of these values were created.

To determine the mud density values to be used in the casing design, a mud window was created using the Eaton Correlation. While making the collapse pressure design in the casing design, the selected pipe lengths and the selected pipes are changed by obtaining the corrected collapse pressure values that will be calculated later, and these values are calculated with the Iteration Method.

In a possible well flowing scenario, after the well is closed with the Wait & Weight Method and the pressures are stabilized, the required kill mud volume is calculated by using the shut-in drill pipe pressure in the drill pipe to calculate the kill mud weight. Then, using the stroke volume of the pump, the Pressure Step Down Chart was created showing the relationship between the number of strokes pumped and the drill pipe pressure.

There are many processes that take place prior to the completion of field development. The first of these was the determination of potential hydrocarbon regions by examining the log data, and then the findings about the reservoir lithology were obtained with the help of Quick-Look, M-N, MID and Two Mineral Methods.

3 RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1 Well Logging

After the log interpretation, with the supportive results of the methods mentioned above, the reservoir lithology is determined as predominantly sandstone and dolomite. When the porosity, net pay thicknes and water saturations of all wells were examined, these values were determined as 0.134, 65 and 0.14 for the new well to be drilled, respectively.

3.2 Designs and Predict Time for Drilling Operations

The designs required in the well design section for the new well to be drilled start with the drill string design. Calculations were made by considering axial stresses and pressure changes in drill string design. In the drill string design, it is decided to use a single type of G-105 drill string between 0-10,230 ft in order to prevent any problems in terms of safety, and in addition, a bottom hole assembly is used between 10,230-11,000 ft.

The casing designs to be used in the drilling of the new well have been made using economically efficient pipes for the surface, intermediate and production sections in a way that will provide the safety conditions. The casing type, nominal weight and lengths selected for each section are shown in Table 2.

Table 2. Casing design

CT	NW	L	CN
J-55	54.5	723	SUR
H-40	48	2,027	
J-55	36	3,039	INT
J-55	40	4,961	
J-55	24	5,801	PR
C-75	24	3,241	
C-75	28	1,958	

CT: Casing Type, NW: Nominal weight (lbm/ft), L: Length (ft), CN: Casing name, SUR: Surface casing, INT: Intermediate casing, PR: Production casing

The total pressure difference values 0.54between drill pipe, heavy weight drill pipe and drill collars with the surface, intermediate and production casings are calculated as 1.196, 1.445 and 156, respectively, and likewise, the total pressure difference between them and the annulus is calculated as 2, 25 and 107, respectively.

Another important factor that comes after ensuring safety in drilling operations is cost. After the calculations made before the drilling cost calculation, the total trip, connection and rotary time values were found to be 78.2, 10 and 703 hours, respectively. The drilling required to reach time was calculated as 33 days, while the number of bits was calculated as 11.

4 SONUÇLAR

• Partial perforation is observed in the reservoir.

• The dominant lithology of the reservoir is determined as sandstone and dolomite.

• Safety conditions have been seriously considered while selecting the most economical casings in casing design.

ACKNOWLEDGEMENTS

First of all, we would like to thank our consultants Prof. Dr. Ömer İnanç TÜREYEN, Assoc. Dr. Gürşat ALTUN, Assoc. Dr. Emre ARTUN, Dr. Lecturer Mustafa Hakan ÖZYURTKAN and Dr. Emine Didem KORKMAZ BAŞEL for their continued support and patience in our design work with their vast knowledge. We would like to state that we are extremely grateful to the teachers of the ITU Petroleum and Natural Gas Engineering Department as well as our consultants for their contributions. It is a great honor to have studied under their guidance.

REFERENCES

Bassiouni, Z., Rhea, J. 1994. *Theory, Measurement, and Interpretation of Well Logs*, (SPE), Richardson, Texas.

Bourgoyne, A.T., Chenevert, E.M., Millheim, K.K., and Young, F.S. 1991. *Applied Drilling Engineering*, (SPE), Richardson, Texas.

Üretimine Başlanmış Bir Petrol Sahasının Formasyon Tayini, Ekipman Tasarımı ve Ekonomik Analizlerle Geliştirilmesi

Development of an Oil Field Started Production With Formation Characterization, Equipment Design and Economical Analysis

M.Y. Selçok, M.F. Karaca, S.Kılıç, M.F. Baysal
İstanbul Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü

ÖZET Bu çalışmada, 2017 yılında üretime açılmış bir sahanın en üretken ve ekonomik şekilde geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Sahaya ait kuyu log dataları ile saha karakterizasyonu gerçekleştirildi. Karakterizasyon işlemi tamamlandıktan sonra Monte Carlo Yöntemi ile yerinde petrol miktarı tahmin edilmeye çalışıldı. Log verilerinden hareketle formasyon yapısına uygun koruma borusu ve dizi tasarımları gerçekleştirildi. Tüm bu süreçler tamamlandıktan sonra sahanın 2020-2030 yılları arasındaki üretimini optimal şekilde gerçekleştirebilmek için simülasyon programı yardımıyla üretim senaryoları analiz edildi. Senaryolar, ekonomik analizlerle ve sürdürülebilirlik için önemli bir kavram olan karbon ayak izi hesaplamalarıyla desteklenerek çalışma sonlandırıldı.

ABSTRACT In this study, it is aimed to develop a field that was put into production in 2017 in the most productive and economical way. Field characterization was performed with the well log data of the field. After the characterization process was completed, the amount of oil in place was tried to be estimated with the Monte Carlo Method. Based on the log data, casing, and drill string designs suitable for the formation structure were carried out. After all these processes were completed, production scenarios were analyzed with the help of the simulation program in order to optimally realize the production of the field between the years 2020-2030. The study was concluded by supporting the scenarios with economic analyzes and carbon footprint calculations, which is an important concept for sustainability.

1 WELL LOG ANALYSIS

1.1 Determination of Saturation, and Porosity

In order to define the reservoir correctly, porosity, water saturation and oil saturation values were determined by using well log data of a field where production studies were started before. Average water saturation, and porosity values for each well is given in Table 1.1

Table 1.1 Porostiy, and Water Saturation Values

Wells	Porosity	Water Saturation
Well-1	20.5%	28%
Well-2	18%	16.5%
Well-3	17.1%	30%
Well-4	19.5%	37%
Well-5	20%	30%
Well-6	17.6%	31%

1.2 Original Oil in Place Estimation

Monte Carlo simulation is a statistical method based on the fact that the data distribution becomes similar to the normal distribution as the number of samples

increases. The lower and upper limits of the parameters that the original oil in place depends on are given in Table 1.2

Table 1.2 Statistical Limits of OOIP Parameters

	Minimum	Maximum
Porosity (%)	10.5	33
Thickness (ft)	10	233
Water Sat.(%)	12	52.5
Area (ft^2)	9,179,773	22,689,824

According to Table 1.2; 10,000 samples were created randomly. Cumulative frequency graph of OOIP, and P10, P50, P90 values of distribution is given in Figure 1.2 and Table 1.2 respectively.

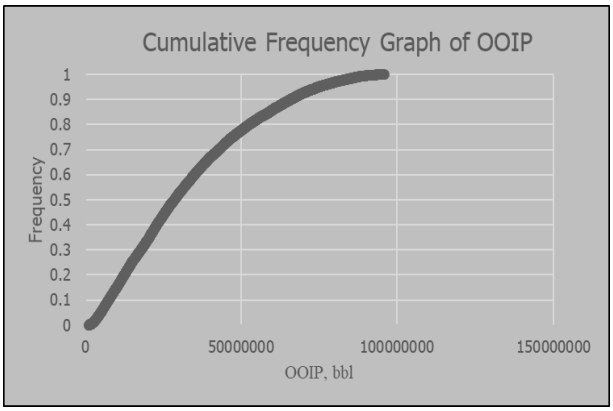


Figure 1.2.1 Cumulative Frequency Graph of OOIP

Table 1.2 P10, P50, P90 Values

P10 (Proven, Probable Possible)	P50 (Proven, Probable)	P90 (Proven)
65,846,200 BBL	28,534,882 BBL	7,497,045 BBL

2 DRILLING DESIGN

Proper drilling design is one of the most important parts of field development. At this stage, casing design, drill string design and fluid design were made in accordance with the formation structure.

2.1 Casing Design

Casing Design is a design made according to certain parameters and standards so that the well can be built without well damage and without harming the environment. The casing design consists of three parts. These parts are surface, intermediate and production. The pipe selection according to design are given in Table 2.1

Table 2.1. Pipe Selections for Each Casing Design

Surface Casing Pipe Selection	
Depth	**Pipes - 13.625 casing size**
0-910	J-55 - 54.5 lb/ft
910-2750	J-55 - 61 lb/ft
Intermediate Casing Pipe Selection	
Depth	**Pipes - 9.625 casing size**
0-2085 ft	J-55 - 36 lb/ft
2085-7000 ft	J-55 - 40 lb/ft
Production Casing Pipe Selection	
Depth	**Pipes - 7 casing size**
0-3615 ft	K-55 - 26 lb/ft
3615-5975 ft	C-75 - 26 lb/ft
5975-8750 ft	C-75 - 29 lb/ft
8750-11000 ft	C-75 - 32 lb/ft

2.2 Drill String Design

Drill string consist of two main parts. These are bottom hole assembly, and drill pipe. For an effective design, the forces acting on the string must be considered. These forces are generally caused by the mud in the pipe and the weight of steel. In addition to the static balance, it must be determined whether a heavy weight drill pipe is required for a correct connection. Considering all these parameters, the pipe qualities to be used for surface intermediate and production section are given in Table 2.2.

Table 2.2 Pipe Qualities for Each Section

Surface	E-75 (26.89 lb/ft)
Intermediate	X-95 (22.56 lb/ft)
Production	G-105 (22.75 lb/ft)

2.3 Hydraulic Design

The science of fluid mechanics is very important to the drilling engineering. Extremely large fluid pressure are created in the long slender wellbore and turbular pipe strings by the presence of drilling mud or cement.

The presence of these subsurface pressures must be considered in almost every well problem encountered. Some paremeters

will be calculated in this section: pressure loss calculation, p-q test, bit nozzle selection, pump hydraulic power output.

Table 2.3 Total Pressure Losses

	Pipe Loss (psi)	Annulus Loss (psi)
Surface	11412.25	7585.95
Intermediate	285.13	1296.75
Production	12966.5	1335.35

3 FIELD DEVELOPMENT

There are many field development paths in the oil industry. Designing the maximum value begins during exploration and continues through the following phases: appraisal, development and production.

Maximizing hydrocarbon recovery and Minimizing costs (Capital investment CAPEX and operating expenses OPEX) are the main desiring aspects.

Another goal during the field development is to improve the inflow performance relationship to the available wellhead pressure versus the oil production rate.

3.1 Development Scenarios

In order to decide on the most reasonable production scenario of the field, the effect of the location and number of newly drilled wells on production must be observed. At this stage, the 3 most plausible development scenarios were examined together with their economic contributions.

3.1.1 Scenario 1

Scenario 1 is the scenario where 11 new production and 3 new injection wells are drilled in addition to the 6 wells that were open at first, and the recovery factor is increased to a very high value compared to other scenarios.

The purpose in this scenario is to increase oil production by placing injection wells at the edge of the reservoir and pushing the oil in those regions to the regions where the production wells are located, while reducing the pressure drop at the same time.

Table 3.1.1 Production Data for Scenario1

Scenario 1 - Production Data	
Cumulative Oil Production	79,359,000 STB
Cumulative Gas Production	23,807,000 MSCF
Cumulative Water Production	119,301,000 STB
Cumulative Water Injection	91,755,000 STB
Total Oil In Place	1.44E+08
Recovery Factor	55.20%

3.1.2 Scenario 2

Scenario 2 is the scenario where 11 new production and 2 new injection wells are drilled in addition to the 6 wells that were open at first. In this scenario directional drilling was done in one well. It is aimed to reduce the pressure drop and increase production by opening 2 injection wells close to the well boundaries. According to the location of the wells, the flow rate was generally chosen as 1500 bbl/day and 1000 bbl/day.

Table 3.1.2 Production Data for Scenario2

Scenario 2- Production Data	
Cumulative Oil Production	44,578,000 STB
Cumulative Gas Production	23,598,000 MSCF
Cumulative Water Production	69,300,000 STB
Cumulative Water Injection	71,365,000 STB
Total Oil In Place	1.44E+08
Recovery Factor	31%

3.1.3 Scenario 3

Scenario 3 is the scenario where 10 new production and 2 new injection wells are drilled in addition to the 6 wells that were open at first. In this scenario, it is aimed to reduce the pressure as little as possible in the regions where the production wells are located by opening 2 injection wells close to the production wells.

Table 3.1.3 Production Data for Scenario3

Scenario 3 Production Data	
Cumulative Oil Production	36,091,000 STB
Cumulative Gas Production	22,978,000 MSCF
Cumulative Water Production	37,352,000 STB
Cumulative Water Injection	40,780,000 STB
Total Oil In Place	1.44E+08
Recovery Factor	25.11%

3.2 Economical Analysis

In oil and natural gas sector, economic criteria determine whether all transactions will be made or not. Discounted profitability index (DPI), and rate of return (ROR) values are important parameters for economical determination.

DPI and ROR tables are given in Table 3.2 in order to determine the most economically advantageous scenario.

Table 3.2.1 ROR and DPI Values of Each Scenario

	ROR	DPI
Scenario 1	40%	2.45
Scenario 2	40%	2.20
Scenario 3	15%	1.34

Scenario 1 has the highest DPI value between this development scenarios. In the light of this information, scenario 1 is the most suitable scenario for the development. Additionally, observing the direct effect of economic parameters on the net present value is also important for optimal scenario selection. In this study, tornado diagram was used to observe these effects. Tornado chart of scenario 1 is given in Figure 3.2

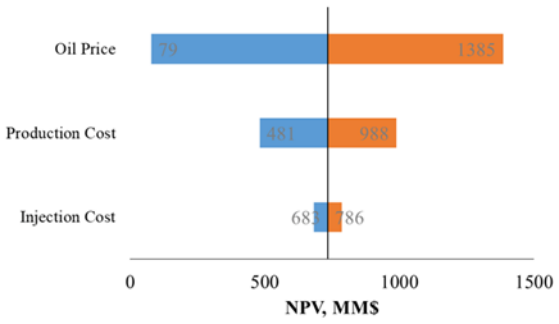


Figure 3.2 Tornado Chart of Scenario1

4 CARBON FOOTPRINT ANALYSIS

Carbon footprint has become the most important parameter of sustainability for every project with the increase in environmental pollution. In this project, carbon footprint analysis of each scenario is given in Table 4.1

Table 4.1 Carbon Footprint Values of Each Scenario

Scenario	Carbon Footprint Value
Scenario 1	22.62 gr $CO_{2\ eq}$/MJ
Scenario 2	17.24 gr $CO_{2\ eq}$/MJ
Scenario 3	16.87 gr $CO_{2\ eq}$/MJ

5 RESULTS

- Average porosity, and water saturation values of reservoir are 19% and 29% respectively.
- Recovery factor of best scenario is 55.2%.
- Best scenario has a DPI value of 2.45 and a ROR of 40%.
- Sustainability was taken into account during the project.

ACKNOWLEDGEMENTS

With our deepest thanks to the professors of the Istanbul Technical University Petroleum and Natural Gas Engineering Department, who are experts in their fields and have not spared their valuable contributions to our project, which we have worked for 2 academic semester.

RESOURCES

Bassiouni,Z. *Theory, Measurement and Interpretation of Well Logs*, Society of Petroleum Engineers Inc., USA, 1994, Vol. 4

API. API *Tubing Table. Technical Report*, American Petroleum Institute April 2014

Oil Production Greenhouse Gas Emissions Estimator. Standfort University, 2018

Bir Hidrokarbon Rezervuarı Analizi ve Geliştirilmesi
Analysis and Development of a Hydrocarbon Reservoir

C.E. Kolasayın, İ. Esen, M.H. Genç, T. Behbudov
İstanbul Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği

ÖZET Bir petrol sahasının verilen kuyu logları, petrol, doğalgaz, su, kayaç özellikleri ve gerekli olabilecek diğer veriler dahilinde analiz edilmesi sonucu potansiyel petrol, doğalgaz ve su bölgeleri belirlenmiştir. Yapılan kuyu logları analizi sonucu elde edilen derinlik ve doygunluk gibi veriler ışığında muhtemel bir sondaj için konum belirlenmiştir. Sondaj, sondaj dizisi, muhafaza borusu ve hidrolik tasarımı yapılmıştır. Yapılan sondaj tasarımının ekonomik analizi ve zaman çizelgesi hazırlanmıştır.

Rezervuarın daha iyi anlaşılıp modellenmesi amacıyla CMG simülasyon programına gerekli parametreler girilerek rezervuar davranışları ve hesapları incelenmiştir. Rezervuar modellenmesi tamamlandıktan sonra sahanın ve üretimin geliştirilmesi amacıyla 3 farklı senaryo ve tasarım hazırlanıp optimize edildikten sonra ekonomik analizleri yapılmıştır. Ekonomik açıdan yatırım miktarına göre en fazla gelir sağlayan tasarım belirlenmiştir.
Anahtar Kelimeler: Rezervuar, Sondaj, Saha Geliştirme, Ekonomik Analiz, CMG Simulation

ABSTRACT Potential oil, natural gas, and water regions are determined as a result of the analysis of an oil field's given well logs, oil, gas, water, and formation properties and other data that may be required. In the light of data such as depth and saturation obtained from the analysis of the well logs, the location for possible drilling is determined. Drilling, drill-string, casing pipe, and hydraulics are designed. The economic analysis and timeline of the drilling design are prepared.

To better understand and model the reservoir, the necessary parameters are entered into the CMG simulation program and the reservoir behaviors and calculations are reviewed. After completing the reservoir modeling, 3 different scenarios and designs are made and optimized to improve the field and production, and then economic analyzes are made. In terms of economy, the project that provides the most income compared to the amount of investment has been determined.
Keywords: Reservoir, Drilling, Field Development, Economic Analysis, CMG Simulation

1 REZERVUARIN TANINMASI VE YENI KUYU TASARIMI

Çalışmanın 3 ana bölümü şu şekildedir: Rezervuarın Tanınması ve Sondaj Tasarımı, Rezervuar Modelleme ve Saha Geliştirme Tasarımı, Ekonomik Analiz. Çalışmada başta MS Excel, Surfer ve CMG yazılımları kullanılmıştır. Tüm çalışma yeni bir sahanın keşfi loglanması analiz edilmesi ve geliştirilip terk edilmesini konu almaktadır. Bir petrol ve doğalgaz sahasının keşfinden terk edilmesine olan sürece dahil olup hesapların yapılmasından tek farkı

hesapların ve tasarımların sahada olmadan yapılmış olmasıdır.

1.1 KUYU LOG ANALİZİ

Kuyu logları başta litolojik analiz olmak üzere çeşitli analizler yapılarak incelenmiştir. Hidrokarbon bölgeleri saptanarak rezervuar kalınlığı, şekli ve diğer fiziki özelliklikleri belirlenmiştir. Başta porozite değeri olmak üzere doygunluk ve diğer bir çok rezervuar özellikleri hesaplanıp çalışmalar rezervuarın potansiyel petrol, doğalgaz ve su bölgeleri üzerine yoğunlaştırılmıştır. İlgili bölgelerin gama logları ile shale hacmi, sonik porozite logları ile ise porozite bulunmuştur. Hesaplanan ve hata oranı en düşük porozite, kalınlık, alan ve doygunluk verileri ile yerinde petrol miktarı hesaplamaları tamamlanmıştır.

1.2 SONDAJ TASARIMI

Kuyu loglarının analizleri ile rezervuarın muhtemel topografyası belirlenmiştir. Bu haritalamadan potansiyel bir sondaj için yeni kuyu konumu belirlenmiş ve sondaj tasarlanmıştır.

1.2.1 Sondaj Dizi Tasarımı

Sondaj tasarımından sonra yapılan en önemli ilk tasarım ve hesaplamalar sondaj dizisi tasarımı olduğundan tasarım hem ekonomik hem de güvenlik sınırlarının üstünde hazırlanmıştır.

1.2.2 Muhafaza Boru Tasarımı

Sondaj tasarımının son halkalarından muhafaza boruları tasarımı ve çimentolama operasyonu da mümkün olabildiğince lojistik ve ekonomik sınırlamalar dahilinde yapılmıştır.

2 REZERVUAR MODELLEME VE SAHA GELİŞTİRME TASARIMI

Rezervuar karakteristiği ve özellikleri yaklaşık olarak saptandıktan ve anlaşıldıktan sonra rezervuarın modellenmesi saha geliştirme çalışmalarının yapılması hayati önem taşımaktadır. Modelleme rezervuarun ve sahanın potansiyellerini kuyu sayısı, enjeksiyon, günlük üretim miktari gibi pek çok parametre ile nasıl değişeceğini ve ne tepkiler vereceğini öngörmek ve anlamak için gereklidir. Modelleme ile rezervuarın anlaşılmasından sonra ise adım adım geliştirme ve optimizasyonlarla sahayı üretim potansiyeline ulaştırmak hedeflenmektedir.

Basınç test analizleri ile rezervuar modeli gerçek rezervuara benzetilmiş, materyal denge denklemi ile de yerinde petrol miktarının hesaplarında hata oranı bulunmuştur. Gas enjeksyon ile rezervuara hem basınç kazandırmak hem de petrolü üretim kuyularına ötelemek amaçlanmıştır.

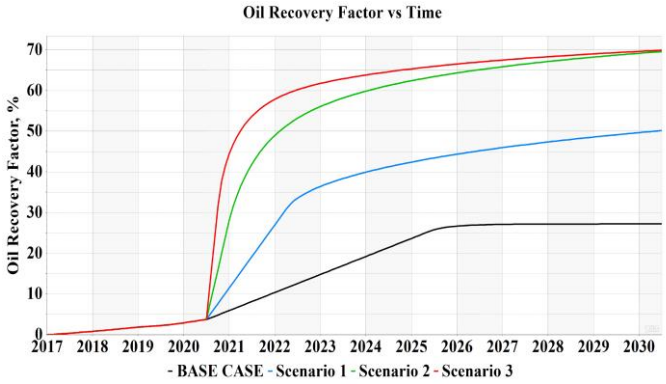
2.1 CMG Rezervuar Simülasyon Programı İle Modelleme

Rezervuar modelleme programlarından yeni ve kullanışlı olan CMG simülasyonu kullanılarak rezervuar modellenmiş ve gerçek rezervuar ile aynı davranışlarda bulunup bulumadığı modifiye edildikçe test edilmiştir. Son yapılan modellmenin ise gerçeğe en yakın davranışları sergilediğinden ve materyal denge denklemi ile minimum hata oranı ile çalıştığı tespit edildi ve yapılacak olan saha geliştirme çalışmalarında ise baz alınacak model olarak kabul edildi.

2.2 Saha Geliştirme Tasarımları

Baz alınmaya karar verilen modelleme üzerine başta üretim kuyu ekleyerek üretim arttırma ve saha geliştirme çalışmalarına başlanmış fakat herhangi bi enjeksiyon kuyusu olmadan sahadan yapılan yeni sondaj kuyusunun maliyeti kadar bile ekstra üretim yapılamadığı hesaplanmış ve ilk senaryodan itibaren tüm senaryolarda enjeksiyon kuyularının açılması kararlaştırılmıştır. Sonrasında yapılan çalışmalar sonucu ise enjeksiyon kuyusu olan tasarımlarda yeni üretim kuyusu eklemenin üretimde hiç bir değişikliğe sebep olmadığı görüldü ve geliştirme senaryolarının hiç birinde var olan üretim kuyularının üzerine yeni üretim kuyusu açılmadı. Tasarımlar yapılırken yeni tasarım bitirilen tasarımın üzerine

yapıldığından her tasarım ile daha fazla üretim başarılmıştır. İlk iki tasarım arasında sadece enjeksiyon kuyu sayısı fark etmektedir, son tasarım ise ikinci tasarımdan farklı olarak üretim kuyuları yatay kuyulara dönüştürülmüştür.



Şekil 1: Petrol Geri Kazanım Faktörü, %

Yapılan tasarımların sahanın üretimini 10 yıllık periyotta ne kadar geliştirdiğini göstermek için tüm tasarımlar ve baz modelin petrol geri kazanım faktörleri Şekil 1'de toplanmıştır. Görüldüğü üzere ilk tasarımdan itibaren sahanın geri kazanım faktörü iki katına yakın artmaktadır.

3 EKONOMİK ANALİZ

3.1 Tasarımların Yatırım Ve İşletme Maliyet Analizi

Tasarımlar yapılırken ve yapılmadan önce de maliyetler ve ekonomi düşünülerek hareket edilmiş ve enjeksiyon akışkanı olarak sahadan üretilen gazın kullanılması kararlaştırılmıştı. Bu sayede yatırım ve işletme olabildiğince düşük tutulmuş ve olası gaz depolama masrafından kaçınılmıştır.

Maliyet analizleri ile önceden tahmin edilen işletme ve yatırım masraflarından ne kadar kaçınıldığı ve tasarımların ne gibi sonuçlar verebileceği görülmektedir. Yıllık maliyetlere bakıldığından senaryolar giderek iyileştirilmiş ve maliyetler düşürülmüştür.

Çizelge 1'de tasarımların ve baz modelin yatırım maliyeti 0. Yılda verilmiş ve yıllara göre işletme ve diğer masraflar toplanmıştır.

Çizelge 1. Yatırım ve Yıllık İşletme Maliyetleri

Year	Baz Model (10^3\$)	Tasarım 1 (10^3\$)	Tasarım 2 (10^3\$)	Tasarım 3 (10^3\$)
0	560	12,000	47,000	78,000
1	6,802	27,612	53,995	27,034
2	6,269	70,888	13,837	2,983
3	7,230	21,607	7,682	3,106
4	19,459	4,977	4,188	3,679
5	66,269	3,223	2,908	6,763
6	27,447	3,077	2,952	5,909
7	4,850	2,640	2,767	5,136
8	2,016	2,276	2,966	4,469
9	1,516	2,074	3,271	4,020
10	1,421	1,904	3,583	3,722
T	143,844	152,283	145,153	144,824

T: 10 Yıllık İşletme Maliyetleri ve Yatırım Toplamı

3.2 Gelir Analizleri

Günlük petrol üretim miktarı sınırlandırmalarıyla tüm tasarımlar mümkün olan maksimum petrol geri kazanım faktörüne ulaşmak amaçlanmış fakat tasarımların sürdürülebilir olması da düşünülüp üretim oranı düşürülmüştür. Sürdürülebilirlik ve getiri oranı parametreleri doğrultusunda günlük üretim miktarı optimize edilmiştir.

Gelir analizleri ile tasarımların kar/yatırım oranları, net güncel değerleri ve nakit akış diyagramları hesaplanmıştır. Ekonomik açıdan tasarımların sonuçları ve farkları ortaya konulmuştur. Görüldüğü üzere ilk tasarımdan itibaren gelir iki katına çıkarılmıştır.

Çizelge 2'de baz modelin ve tasarımların yıllık olarak petrol üretim gelirleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2. Yıllık Petrol Üretim Gelirleri

Year	Baz Model (10^6\$)	Tasarım 1 (10^6\$)	Tasarım 2 (10^6\$)	Tasarım 3 (10^6\$)
1	219	766	1,892	2,473
2	218	709	555	321
3	219	239	247	133
4	219	143	151	85
5	215	107	108	66
6	59	87	84	53
7	8	73	68	44
8	1	64	58	37
9	0.2	56	50	32
10	0.05	51	43	28
T	1,162	2,299	3,261	3,276

T: 10 Yıllık Petrol Üretim Gelirleri Toplamı

4 SONUÇLAR

Yapılan çalışmalar sonucunda gerekli analizler yapılarak tam saha çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada kuyu loglarından hareketle Monte Carlo simülasyonu ile yerinde petrol miktarı hesaplanmıştır. Bunun sonucunda muhtemel konumda ve derinlikte kuyu sondaj tasarımı, hidrolik tasarımı ve farklı senaryolar ile ekonomik olarak analizi yapılmıştır. Son olarak çeşitli saha geliştirme teknikleri kullanılarak tasarımlar hazırlanmıştır. Bu tasarımların ekonomik analizleri incelenerek en iyi tasarım belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde bir yıl boyunca deneyim ve bilgilerini bizlerle paylaşan Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine ve dört yıl boyunca öğretimimize katkıda bulunan tüm İstanbul Teknik Üniversitesi öğretim üyelerine ve çalışanlarına teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

Altun G., Nguimatsia J.D., (2020). Determining Parameters of Rheological Models by The Method of Least Squares.

Bassouni Z., (1994). Theory, Measuarement, and Interpretation of Well Logs, SPE Textbook Series, p.290-325.

Glover P., (2000) Petrophysics Course Notes, Department of Geology and Petroleum Geology University of Aberdeen, UK,

Gul S., Oort E.V., (2020). Helical Pipe Viscometer System for Automated Mud RheologyMeasurements

Radhi A., (2016), Basics of Well Logging (Field Applications), Iraq Merlo A. Et al, (1995). An Innovative Model for Drilling Fluid Hydraulics Schlumberger; Log Interpretation Charts.

Bourgoyne A.T., (1986). APPLIED DRILLING ENGINEERİNG

Byrom, Ted G., (2007). Casing and Liners for Drilling and Completion - Design and Application-Gulf Publishing

Devereux S., (1998). Practical Well Planning and Drilling Manual

TEMSAH GAZ SAHASININ HACİMSEL REZERV HESAPLAMASI

VOLUMETRIC RESERVES ESTIMATION OF TEMSAH GAS FIELD

İ. B. Kulga, B. Acar, Ö. F. Saltık
İstanbul Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ABSTRACT In this study, petrophysical values were collected to examine the Temsah gas field and calculate the original gas in the field(OGIP). A map of the petrophysical values of the Temsah gas field has been extracted and digitized with the help of EXCEL. These values are simulated with the help of CMG IMEX. The OGIP value was found to be 1045.9 Bscf. Monte Carlo simulation was used to eliminate the uncertainty in the margin of error of the petrophysical values in the field. Boundary ranges P90, P50 and P10 have been found in the Monte Carlo simulation. Later, a water well was drilled to increase production, but it did not have a very large impact on production. The water well was drilled for environmental reasons. This study was carried out between 05.03.2021 and 14.06.2021 to calculate OGIP in the Temsah Gas Field and the MS EXCEL, MATLAB, NOTEPAD++ and CMG programs were used in the study
Keywords : Volumetric Estimation, Monte Carlo; OGIP, CMG simulating.

ÖZET Bu çalışmada Temsah gaz sahasını inceleyip sahadaki orijinal gaz(OGIP) hesaplanması için petrofiziksel değerler toplandı. Temsah Gaz Sahası'nın petrofiziksel değerlerinin haritası EXCEL yardımı ile çıkarılıp dijitalize edilmiştir. Bu değerleri CMG IMEX yardımı ile similasyonu yapılmış olup. OGİP değeri 1045.9 Bscf olarak bulunmuştur. Sahadaki petrofiziksel değerlerin hata payındaki belirsizliklerin giderilmesi için ise Monte Carlo Benzetimi kullanıldı. Monte Carlo Benzetiminde P90, P50 ve P10 sınır aralıkları bulunmuştur. Daha sonra üretimi arttırmak için su kuyusu açılmış ancak üretim üzerinde çok büyük bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Su kuyusu çevresel sebeplerden dolayı açılmıştır. Bu çalışma Temsah Gaz Sahası'nda OGIP hesaplamak için 05.03.2021 tarihinden 14.06.2021 tarihleri arasında yapılmış olup, Çalışmada MS EXCEL, MATLABi NOTEPAD++ ve CMG programları kullanılmıştır
Anahtar Kelimeler: Hacimsel hesaplama, Monte Carlo, OGİP, CMG simulasyonu

1 . GEOLOGICAL SETTING OF TEMSAH GAS FIELD

Temsah Gas Field one of the offshore in Egypt, which is located in the north part of Egypt. It is connected with many offshore fields around the field and has an important place for Egypt. Temsah gas field, which is 33.9 km from Dumyat coast and 55.2 km from Port Said, latitude 31°46’& 31°52’0 E and longitudes 32°07’0 & 32°13 N; located in the area between.

2 METHODOLOGY& DATASETS

Basically, determining the original gas in place (OGIP) has a vital role for the economics of gas fields because it gives an idea about the development and future

performance of the field. There are different types of methods to predict the amount of natural gas in the reservoir, original gas in place, however volumetric estimation, and material balance equations most common ones. Meyer states that One of the major advantages of volumetric estimation is simplified the data in an equation which are collected from reservoir properties with respect to other methods (Meyer, 1978). In the current study, the distribution of reservoir properties is digitalized using Microsoft Excel then both 3D and 2D modeling was created by transferring the distributions to CMG (Computer Modelling Group) software

2.1 Digitizing

The first step of digitalization is the digitizing of the boundaries map which means computing the area of the field and transpose it through a computer program. The one most effective way to digitize the whole field in the MS Excel program. 30 grid blocks are determined for X-direction and 20 grid blocks are determined for Y-direction considering the map of the field. After that step all petrophysical values such as porosity, water saturation and thickness, pressure, grid top were also calculated and digitizing. Each parameter has its own specific conditions.

3 MONTE CARLO SIMULATION WITH UNCERTAINTIES ANALYSIS

3.1 Most Common Probability Cases (P10, P50, P90)

For original Gas in place results are; for P90 1122 Bscf , for P50 1063 Bscf, and for P10 1002 Bscf . On the other hand, original water in place outcomes were significantly less than the original gas in place values. The results are original water in place are; for P10, 445.9 MMstb, for P50 478.3 MMstb, and for P90 509.7 MMstb. On the other hand, cumulative One can observe that cumulative gas probability values are very close when are compared with original gas in place values and that is because, in Temsah Gas Field's permeability, porosity, saturation, and pressure values are very good comparing to other hydrocarbon reservoir areas. Furthermore, in Temsah Gas Field producing natural gas which is not only much smaller much lesser viscosity than oil but also much lesser density than oil. Thus, in the gas field, much more percent produced value than percent produced oil. In Temsah Gas Field, approximately %89 percent produced to original gas in place.

Çizelge 1. Numune Özellikleri

Probability	P10	P50	P90
OGIP (Bscf)	1122.0	1063.0	1002.0
OWIP (MMstb)	509.7	478.3	445.9
Cumulative Gas (Bscf)	998.7	944.5	890.4
Cumulative Water (MMstb)	1780.8	786.7	204.8

4 CONCLUSION

- Location of Temsah gas field determined.
- The petrophysical properties of the Temsah gas field were calculated.
- Calculated values are digitized.
- Simulated with CMG
- Monte Carlo Method was used to calculate uncertainties.
- Because the permeability of the field is very high, there is no need to drill a water injection well to increase production. The water well needs to be opened to protect the environment.
- More exploration wells to find some unknown values in the field will give better results.

ACKNOWLEDGEMENT

The lecturer Dr. Ihsan Burak Kulga who put the most effort into doing this study We express our sincere thanks. We also have known a debt of gratitude to the Department of Petroleum and Natural Gas Engineering of Istanbul Technical University, which provided the necessary environment for the study.

REFERENCES

Bertello, F., Barsoum, K., & Guessarian, S. (1996). Temsah Discovery: A Giant Gas Field in a Deep Sea Turbidite Environment, Egypt. EGPC 13th Petroleum Exploration and Production Conference.

Anderson, R. N., Boulanger, A., He, W., Winston, J., Xu, L., Mello, U., & Wiggins,W. (2004). U.S. Patent No. 6,826,483. Washington, DC: U.S. Patent and

Trademark Office. Retrieved from: https://patents.google.com/patent/US6826483/en

Nabawy, B. S., & Shehata, A. M. (2015). Integrated petrophysical and geological characterization for the Sidi Salem-Wakar sandstones, off-shore Nile Delta, Egypt. Journal of African Earth Sciences.

Khamis, M., Marta, E. B., Al Natifi, A., Fattah, K. A., & Lashin, A. (2017). Simulation of the mulltizones clastic reservoir: A case study of Upper Qishn Clastic Member, Masila Basin–Yemen. Journal of African EarthSciences, 130, 252-268.doi: https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.03.018

Murtha, J. (2006). Some challenges for monte carlo simulation. The Way Ahead, 2(02), 13-18. doi: https://doi.org/10.2118/0206-013-TWA

Murtha, J. A. (1994, March 1). Incorporating Historical Data Into Monte Carlo Simulation. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/26245-PA

Odeh, A. S. (1969). Reservoir simulation... what is it. Journal of Petroleum technology, 21(11), 1-383. doi: https://doi.org/10.2118/2790-PA

Meyer, R. F. (1978). The volumetric method for petroleum resource estimation. Journal of the International Association for Mathematical Geology, 10(5), 501-518. Retrieved from: https://link.springer.com/articl e/10.1007/BF02461981

Nabawy, B.S., Basal, A.M.K., Sarhan, M.A., Safa, M.G., Reservoir zonation, rock typing and compartmentalization of the Tortonian-Serravallian sequence, Temsah Gas Field, offshore Nile Delta, Egypt, Marine and Petroleum Geology (2018), doi: 10.1016/ j.marpetgeo.2018.03.030.

Effects of Number of Wells for the Design of an Underground Gas Storage Facility

Yeraltı Gaz Depolama Tesisi Tasarımında Sondaj Kuyu Sayısının Etkisi

I. F. Umasugi, T. Özcan, F.M. Doğanay, A. Satman, Ö.İ. Türeyen, E.D. Korkmaz Başel
Istanbul Technical University, Petroleum and Natural Gas Engineering Departement, Istanbul

ABSTRACT In this study, the design project of Maluku gas field has been modeled as an underground natural gas storage facility and Rubis simulator program was used for modeling the storage. In the first part, the properties of the Maluku gas field are presented with a well model placed in the center of the reservoir.. Pressure and flow rate behavior was analyzed for various numbers of wells. Initially, we have started with a single well. For all cases injection is performed at a constant flowing wellbore pressure of 2000 psia.. For all cases, the results in terms of working gas storage, average reservoir pressure behavior and final gas in place data are presented.
Keywords: Rubis simulator, Maluku, Injection, Production.

ÖZET Bu çalışmada Maluku gaz sahasının tasarım projesi bir yeraltı doğal gaz depolama tesisi olarak modellenmiş ve depolamanın modellenmesi için Rubis simülatör programı kullanılmıştır. Birinci bölümde, Maluku gaz sahasının özellikleri, rezervuarın merkezine yerleştirilmiş bir kuyu modeli ile sunulmaktadır. Çeşitli sayıda kuyu için basınç ve akış hızı davranışı analiz edilmiştir. Başlangıçta tek bir kuyu ile başladık. Tüm durumlar için enjeksiyon, 2000 psia'lık sabit akışlı bir kuyu deliği basıncında gerçekleştirilir. Tüm durumlar için, çalışma gazı depolaması, ortalama rezervuar basıncı davranışı ve yerinde nihai gaz verileri açısından sonuçlar sunulur.
Keywords: Rubis simulator, Maluku, Injection, Production.

1 INTRODUCTION

1.1 Types of Natural Gas Reservoir

Natural gas reservoir is typically a folded rock formation consisting of an anticline which traps and holds natural gas. Natural gas trapped through an impermeable caprock in an underground rock formation. This impermeable rock needs to be located on top of the system to trap the gas inside the porous rock. There are two types of natural gas, associated gas and non-associated gas.

1.2 Natural Gas in The World

Natural gas first appeared in oil exploration, it was seen as worthless and bypassed. The importance of this gas is understood later, and its use has become widespread, especially in countries. Nowadays, it has become one of the biggest driving forces in the hands of countries with its strategic, geopolitical and valuable position. In addition, the electrical energy of factories is used for heating in homes, in the kitchen and in many other places. January 1, 2020, there were an estimated 7257 trillion cubic feet (tcf) of total world proved reserves of natural gas. Proven reserves of natural gas are the estimated quantities that analysis of geological and engineering data demonstrate with reasonable certainty to be recoverable

in future years from reservoirs under existing economic and operating conditions.

Table 1 shown natural gas proven reserves in the world.

Regions	Proved Reserves, Trillion cubic feet		
	1999	**2009**	**2019**
North America	247	330	533
South & Central America	243	264	278
Europe	194	183	119
Middle East	1868	2599	2667
Africa	389	499	526
Asia Pasific	331	490	621
CIS	1406	1642	2267
Total	**4689**	**6021**	**7020**

1.3 Natural Gas in Indonesia

Indonesia has 96.06 trillion cubic feet (tcf) of proven natural gas reserves, ranking 13th in the World with total natural gas reserves of 6923 tcf.

2 NATURAL GAS STORAGE

Natural gas storage can be define as the storage of natural gas in porous rock reservoirs at various depth below the earth's surface or in certain areas above the ground. Natural gas can be stored underground in larger volumes and act as a natural storage if environmental factors are favorable. Since natural gas is an efficient resource, its use is becoming more common in developing countries with the availability of the necessary technology, which increases the importance of natural gas storage.

The purpose of natural gas storage is to maintain short and long term supply demand balance. When the demand is low, gas is injected into the natural gas storages, and when the demand increases, the gas from the storage facility is use by withdrawing.

2.1 Reasons for storage of natural gas

Storage of natural gas is especially important for importing countries. The storage of natural gas ensures that the public demand is met independently and without interruption. The majör factors in the formation of natural gas supply are as follows;

3 THE DESIGN STUDY

3.1 One Well Case

The well is located at the center of the rerservoir. Fort his, placement of one well is shown in Figure 1.

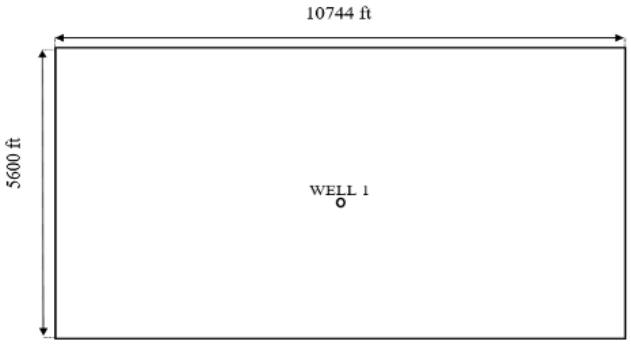


Figure 1. Placement of one well.

As we can see from **Figure 2** from 0 day to 150 days, pressure increases during injection period from initial reservoir pressure of 400 psia to 422.7 psia.

While injection with a constant flowing wellbore pressure of 2000 psia, flowing wellhead pressure decreases from 1863.4 psia to 1862.8 psia, followed with 1 month of shut in.

After that, production was made at constant flowing wellhead pressure of 145 psia, during production period of 5 months, flowing wellbore pressure decrease from 170.5 psia to 168.8 psia, continuing with 1 month of shut in. During shut in, average reservoir pressure measured as 419.6 psia, while wellhead pressure is 386.7 psia.

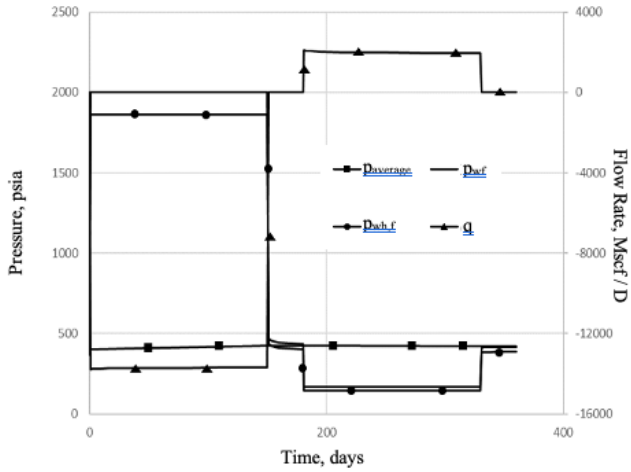


Figure 2. Pressure and flow rate behavior of the one well case for one year period.

GIIP was calculated by Rubis at 400 psia (p/z = 418.8) as 35 bscf, after injection during 5 months gas in place increase to aproximately 37 bscf. During production with constant flowing wellhead pressure of 145 psia, gas in place decrease from 37 bscf to 36.7 bscf. Results are given in **Figure 3**.

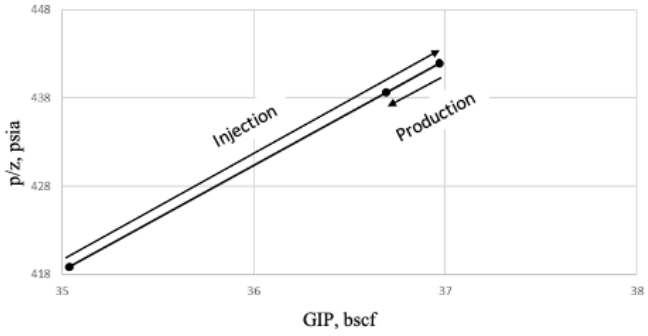


Figure 3. Gas in place for 1 year period.

3.2 Sixteen Well Case

Location of sixteen wells is represented in **Figure 4.** The behaviors of average reservoir pressure, WGC and GIP are investigated for the sixteen well case. The average reservoir pressure behavior for thirty years of period is given in **Figure 5**. The initial average reservoir pressure is kept as 400 psi. After the change in 30 years, the average reservoir pressure increased from 400 psia to 1378 psia. The highest the average reservoir pressure observed is 1579 psia.

For sixteen well case WGC is shown in **Figure 6**. A total of 21.5 bscf gas was produced from sixteen wells at the end of 30 years.

The initial gas amount in the reservoir was 35 bscf. As a result of the injection and production, the amount of gas in the reservoir increased from 35 bscf to 132.6 bscf. It is shown in **Figure 7**.

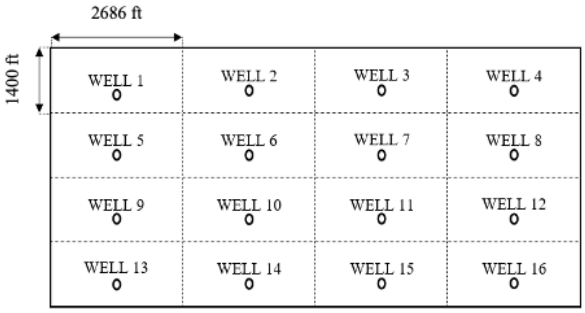


Figure 4. placement of sixteen wells.

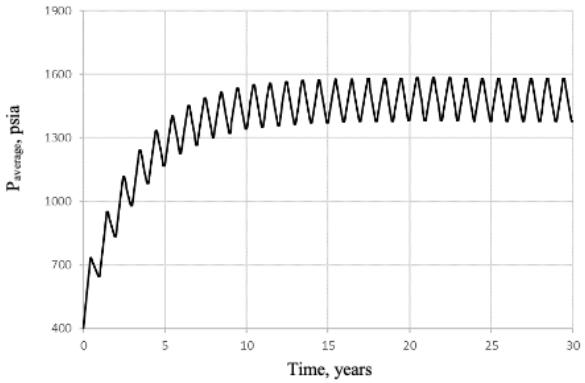


Figure 5. Behavior of reservoir pressure for the sixteen well case.

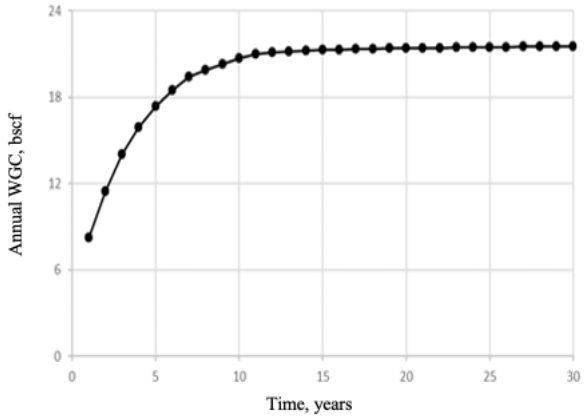


Figure 6. WGC behavior for sixteen well case.

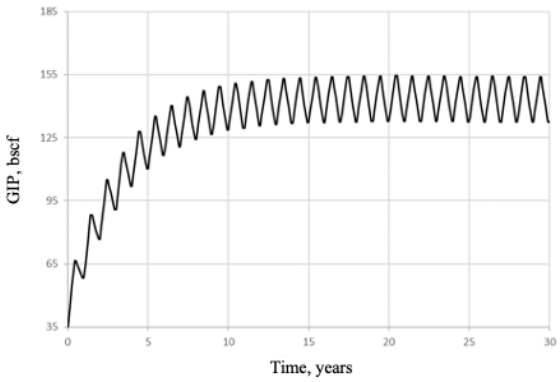


Figure 7. GIP behavior for sixteen wells cases

4 CONCLUSIONS

This study presents the results of an underground natural gas storage modeling study using the reservoir and fluid properties of Maluku gas field which is originally assumed to be a dry gas reservoir that is aimed to be converted in to an underground natural gas storage. The underground gas storage modelling approach followed in the study is based on the production-injection performance according to various number of wells.

The Rubis simulator which is a sub program of Kappa-Ecrin software is used for Maluku gas field for modeling storage. The effects of number of wells on average reservoir pressure, annual working gas capacity (WGC) and gas in place (GIP) are investigated. Cases for one well, two wells, four wells, eight wells and sixteen wells are considered to be used in Maluku gas field. The storage cycle each year starts with 5 months of injection with a constant flowing wellbore pressure of 2000 psia then the well is shut in for 1 month. After that, gas is withdrawn from the reservoir with a constant wellhead flowing pressure of 145 psia for 5 months and followed 1 month shut in period.

The following conclusions are obtained this study:

1- In this project working gas capacity (WGC) refers to the total amount of gas produced annually. The number of wells used has a significant effect on WGC. This is expexted since with more wells more gas can be injected and produce.
2- The number of wells used has also a significant effect on GIP_{max}, according to the storage cycle used in this project. As the number of wells increases, GIP_{max} value also increases.
3- Due to injection/production amount, as the number of wells increases, reached maximum average reservoir pressure increases.

ACKNOWLEDGEMENT

We would like to thank our families who contribute to the material and spiritual aspects of our education. We would also like to express our sincere gratitude to our advisors Prof. Dr. Abdurrahman Satman, Prof. Dr. Ömer İnanç Türeyen, and Dr. Emine Didem Korkmaz Başel for their support to design project, for their patience, motivation, and immense knowledge.

REFERENCES

BOTAS, 2020. BOTAŞ Key Energy Gear of TURKEY, Botas Headquarters, Ankara, Turkey.

BP, 2020. Statistical Review of World Energy, 69th Edition, British Petroleum, London, UK.

CEDIGAZ, 2020. Underground Gas Storage in the World-2020 Status, CEDIGAZ, France.

Crotogino, F., 2016. Traditional Bulk Energy Storage Coal and Underground Natural Gas and Oil Storage. In Storing Energy, 391–409.

Directorate General of Oil and Gas, 2016. Natural Gas Reserves, Ministry of Energy and Mineral Resources, Jakarta.

EPDK, 2020. 2019 Yılı Doğalgaz Piyasası Sektör Raporu, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Ankara, Turkey.

EIA, 2020. International Energy Outlook 2020, U.S. Department of Energy Washington DC, USA.

EIA, 2021. Natural Gas Monthly, U.S. Department of Energy Washington DC, USA.

Nasir, Q., Sabil, K. and Nasrifar, K., 2014. Measurement and Phase Behavior Modeling of CO2 Rich Gas Mixture, Journal of Applied Sciences, 14, 1061-1066.

Plaat H., 2009. Underground Gas Storage: Worldwide Experiences and Future Development in UK and Europe, Geological Society Special Publication, London, 26-30.

Yılmaz, A., Ridwan, M. and Sirin, T., 2017. Underground Gas Storage In A Depleted Oil Field With Gas Cap, Graduation Design Project, Istanbul Technical University, Maslak, Istanbul.

Url-1<http://spglobal.com>, date retrieved 25.04.2021

Url-2 <http://naturalgas.org>, date retrieved 21.04.2021

Url-3<http://torengazdepo.com>, date retrieved 04.05.2021

Derin Sondaj Kuyu Tasarımı
Designing A Deep Well Drilling

M. Sodikov, G. Altun

İstanbul Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu çalışma 2020/2021 akademik bahar yarıyılında gerçekleştirilmiştir. Projenin amacı, diferansiyel sıkışma bölgesi etkisi altında bir sondaj kuyusu tasarlamaktır. Güvenli bir sondaj operasyonu için gerekli tüm koşullar ve kısıtlamalar dikkate alınmış ve hesaplamalar API tarafından tanımlanan güvenlik marjları kullanılarak yapılmıştır. Çalışma sonucunda, 20,000 ft dikey derinliğe sahip bir kuyu için tasarım yapılmıştır. Tasarım, koruma borusu tasarımı, sondaj boru dizisi tasarımı, sirkülasyon basınç kayıplarının hidrolik tasarımı ve çimentolama tasarımı olmak üzere dört ana parçadan oluşmaktadır. Tasarım hesaplamalarında kullanılan çamur özellikleri literatür kaynaklarından elde edilmiştir.Öncelikle, jeolojik verilerden, özellikle derinliğe göre değişen gözenek basıncı (GB) ve çatlatma gradyanları (ÇG) verisinden yararlanılarak sondaj operasyonun gerçekleştirilmesi için üç ana bölümüne ayırarak incelenmiştir. Bunlar yüzey, ara ve üretim bölümleridir. Elde edilen sonuçlar: Kuyu maliyeti değerlendirildi ve kuyu tasarımı parametrelerin analizi ile yüzeyden üretim bölgesine kadar azaltılmıştır. Parametrelerdeki değişkenlerin etkileri analiz edilerek kuyu yapım süresi minimuma indirilmiştir. Diferansiyel sıkışma bölgesinin etkisi altında kuyuyu tasarlamanın verimli bir yolu önerilmiştir. Kuyunun teslim süresinin azaltılması için koşullar önerilmiştir.
Anahtar Kelimeler: derin sondaj kuyu tasarımı, diferansiyel sıkışma, gözenek basıncı ve çatlatma gradyanları, koruma boru tasarımı, sondaj dizi tasarımı

ABSTRACT The purpose of the project is to design a deep well drilling through a long differential sticking zone effect. All necessary conditions and constrains were taken into consideration, and calculations were made using API defined safety margins for a safe drilling operation. As a result of the work, the design was carried out for a well with a TVD of 20,000 ft. The design includes four main parts which are casing design, drill string design, hydraulic design of circulation pressure losses, and cementing design. Mud properties used in the design calculations were obtained from literature sources. First of all, the drilling operation was conveyed in three main hole sections by exploiting the pore pressure (PP) and fracture gradients (FG) variations with respect to depth. These are surface, intermediate and production holes. The results achieved: cost for the well construction was evaluated and reduced due to the design of the well from surface to production zone by the parameters' analysis. Well construction time was reduced to a minimum through analyzing the effects of variation in the parameters. An efficient way of designing the well under the influence of long differential sticking zone is proposed. Conditions for reducing the delivery time of the well has been proposed.
Keywords: drilling deep well design, differential sticking, pore pressure and fracture gradients, casing design, drill string design,

1 INTRODUCTION

The basis of technical and technological solutions for drilling oil and gas well is presented in this project, the content of which determines all the main technical solutions, the range and the number of technical means for the implementation of the selected equipment at all stages of the well design.

For effective exploration or development of oil fields, various technical solutions are used, an integral part of which is an oil well, the purpose of which is to provide access to the reservoir, remove rock residues and supply reservoir fluid to storage facilities.

One of the most common and severe in terms of consequences types of complications during drilling of wells is the sticking of the drill string. To minimize or even prevent pipe sticking, accurate prediction of differential sticking is important. In this work, instead of predicted differential sticking zone, the precautions were taken into account while casing and drill string design.

2 PURPOSE OF THE STUDY

The purpose of the work is to design a production well with a true vertical depth (TVD) of 20,000 ft. The work was done on geological data of pore pressure and fracture gradients vs depth variation from logs of nearby wells are given in Table 1. For the kick margin (swab) and trip margin (surge) the value of 0.5 lbm/gal (ppg) was used for obtaining safe mud window that has of importance in well design aspects of drilling engineering.

For the surface casing, while choosing the section intervals, depth of the well was considered. Due to its high depth, the surface casing ought to be deep as well. Therefore, by taking the necessary conditions into account, such as fresh water bearing zones, the surface casing depth was selected to be 4000 ft. For the intermediate section, casing was chosen to be 13300 ft due to the differential sticking problem. The bit sizes were chosen slightly larger than the following casing outer diameter. These bit sizes are commonly used bit sizes for running API casing.

Table 1 - Data for the drilling operation of an exploitation well

Depth	Pressure Gradient, ppg				Differential Sticking Gradient, ppg
	Pore Pres. Grad.		Frac. Pres. Grad.		
	Real	w/Trip margin	Real	w/Kick margin	
0	8.6	9.1	10.5	10.0	
2000	8.6	9.1	11.5	11.0	27.8
4000	8.6	9.1	12.4	11.9	18.2
6000	8.6	9.1	13.2	12.7	15.0
8000	8.6	9.1	13.8	13.3	13.4
10,000	8.6	9.1	14.4	13.9	12.4
11,000	9.0	9.5	14.6	14.1	12.5
12,000	10.0	10.5	14.9	14.4	13.2
14,000	12.0	12.5	15.5	15.0	14.7
16,000	12.8	13.3	16.0	15.5	15.2
18,000	13.5	14.0	16.4	15.9	15.6
20,000	13.7	14.2	16.5	16.0	15.6

3 CASING DESIGN

Casing design was made considering the worst conditions, to ensure a certain degree of safety for the overall drilling operation. Methane gas is assumed as kick fluid and calculations were done accordingly. An amount of 0.5 ppg is both added to pore pressure (as kick margin) and fracture pressure (as trip margin) gradients. The design was held from bottom to top. Burst, collapse and axial tension designs for every section were introduced. After a comparative analysis between those elements, the complete design for each section was yielded.

4 DRILL STRING

- WOB for varying sections was assumed as follows: 20,000 lb for surface, 25,000 lb for intermediate and 30,000 lb for production interval.
- Bottom hole parts as drilling varying sections were assembled through which BSR value computation. In those assemblies, the usage of 1-stand heavy weight drill pipe was found appropriate during the drilling of both

surface and intermediate intervals to prevent buckling of the drill pipe.

- A target depth of 20,000 ft requires the usage of 5 in. S-135 grade of new type as drill pipe with the inner diameter on 4 in.. Other specifications for this pipe are presented in Table 18. Drill collars and heavy weight drill pipes, on the other hand, are differed from surface to production section.

5 HYDRAULIC

The purpose of the hydraulic design of well drilling is to determine the drilling fluid circulating operation regime, which ensures efficient hole cleaning provided in compliance with the requirements and limitations due to the geological characteristics of the interval being opened and the capabilities of mud pumps. The main tasks of hydraulic calculation are:

- determination of the required flow rate of the drilling fluid,
- choice of mud pump.

As a result of the hydraulic calculation, the flow rate of the drilling fluid, the pressure losses of the drilling fluid in the circulation system were determined and the technical characteristics of the mud pumps were determined.

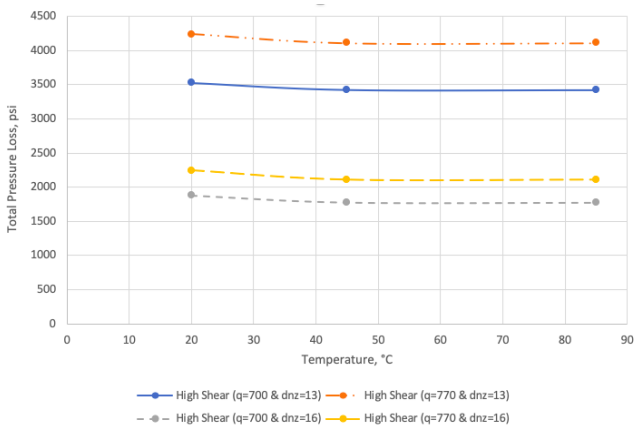


Figure 1 The total pressure loss due to the change in temperature and flow rate of the circulating fluid and the nozzle size of the bit

6 CEMENTING PROGRAM

The method of cementing depends on the geological conditions of the area being drilled, the height of the grouting slurry, the availability of the required amount of cementing equipment, technological equipment, etc. In this project, single-stage for surface section and multi-stage for intermediate and production was chosen.

The calculation of the cementing process was divided into the following stages:

- Justification of the required density of the cement slurry;
- Determination of the type of required number of materials (cement, modifying additives, reagent, water for the preparation of cement slurries);
- Determination of the required cementing equipment;
- Determination of operating modes of cementing equipment (calculation of the process of pumping and pushing cement slurry);
- Determination of the planned cementing time, adjustment of the cement slurry formulation.

For all cementing program, API standard Portland cement Class G was used as the base cement, with the specific gravity of 3.14. The specific gravity of the NaCl brine and $CaCl_2$ brine, respectively, 1.0302 and 1.0518, determination of which presented in the Appendix. For the preparation of the low-density slurry bentonite with the specific gravity of 2.65 was used. (Bourgoyne et al., 1991)

7 DRILLING TIME AND COST ANALYSIS

Drilling operations require substantial capital and operating investments. Hence, estimating down-to-earth project time is essential in carrying out the process. Therefore, optimal duration is examined using offset data acquired from nearby fields. Additionally, the effect of formation constant and inverse slope on drilling time and trip time thoroughly analyzed with the intention of seeking the optimal time possible within the available range, hence reducing the cost of overall project. Moreover, various optimizations techniques were discussed related to the stand handling, well logging, well completion and

transportation. Additionally, the cost of total project is calculated cost per day basis.

8 CONCLUSIONS

As a result of this design, considering the worst conditions, the measurements appropriate for drilling were completed. The drilling was made in a way that the differential sticking problem in the well would not cause any problem. At the same time, an appropriate design has been made considering the minimum cost criterion. Additionally, a separate casing design was made for each well section. Followed by the cementation program that is to be used for each well section. Moreover, hydraulic design has also been made. The project duration is calculated and an effort were made to optimize overall project time. Lastly, cost analysis were done and various techniques and methods were discussed to decrease time and money.

9 REFERENCES

Adams, J. N. (1985). Drilling Engineering: A complete Well Planning Approach. PennWell.

API. (1999, October). Bulletin on Performance Properties of Casing, Tubing, and Drill Pipe. Washington: American Petroleum Institute.

Bourgoyne Jr., A. T., Millheim, K. K., Chenevert, M. E., & Young Jr., F. S. (1991). Applied Drilling Engineering. Society of Petroleum Engineers.

Gürşat , A., & Özbayoğlu, E. M. (2010). *Sondaj Mühendisleri İçin Kurs Serisi*. Course presented on behalf of Turkish Petroleum Corporation, Head of Drilling Department in Lüleburgaz, Kırklareli, Turkey.

Hossain, M. E. (2015). Drilling Costs Estimation for Hydrocarbon Wells. J. Sustainable Energy Eng., 15-24.

Merlo, A., Maglione, R., & Piatti, C. (1995). An Innovative Model For Drilling Fluid Hydraulics. Society of Petroleum Engineers.

URL 1: Retrieved from EnPro: https://www.enpropipe.com/drill-pipe/

URL 2: (2015, November 7). Retrieved from Drilling Manual: https://www.drillingmanual.com/2017/11/heavy-weight-drill-pipe.html

URL 3: CPF-577 Double-Pump Cement Trailer. (2020, December 7). Retrieved from https://www.slb.com/-/media/files/ce/product-sheet/cpf577-ps.ashx

URL 4: GD Specsheet PZ2000. (2020, December 21). Retrieved from gardnerdenver: https://www.gardnerdenver.com/en-us/pumps/drilling-mud-pump-pz-2000

Ultra Derin Kuru Gaz Sahası Geliştirilmesi
Development Of An Ultra-Deep Dry Gas Field

Z.Ş. Fulya, T. Fatih, G. İslam
Istanbul Technical University, Petroleum and Natural Gas Engineering Department, İstanbul

ÖZET Doğal gaz enerjisine talep dünyada ve Türkiye'de artış göstererek devam etmektedir. Doğalgazın karbon içeriğinin ve atmosferde sera etkisi oluşturan karbondioksit gazı emisyonunun diğer fosil yakıtlara oranla daha az olması artan talebin başlıca sebeplerindendir. Doğal gaz ihtiyacını karşılamak ve yeni rezervleri keşfetmek amacıyla açık deniz araştırmaları önem kazanmıştır. Dünyadaki en son keşifler ve artan küresel gaz talebi nedeniyle, açık deniz Petrol ve Gaz endüstrisi, ultra derin gaz sahalarını keşfetmek ve geliştirmekle ilgilenmektedir. Bu çalışmada açık deniz gaz rezervuarında gerekli tüm rezervuar, akışkan, üretim ve basınç özellikleri toplandıktan sonra CMG (Bilgisayar Modelleme Grubu) kullanılarak 14 yıllık üretim ve bu senaryoların üretim değerleri baz alınarak üç farklı senaryo oluşturulmuştur. Değerlendirilen bu senaryolardan en iyi üretim değerleri için 5 dikey kuyulu senaryo tercih edilmiştir. Alan için çalışılacak konsept belirlendikten sonra gerekli hesaplamalar yapılmış ve çok disiplinli mühendislik yaklaşımı ile sahada gerekli çalışmalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Açık Deniz, Ultra Derin Gaz Rezervuarı, Karbondioksit Gazı Emisyonu

ABSTRACT The demand for natural gas energy continues to increase in the world and in Turkey. The fact that the carbon content of natural gas and the emission of carbondioxide gas, which creates a greenhouse effect in the atmosphere, are lower than other fossil fuels, are the main reasons for the increasing demand. Offshore research has gained importance in order to meet the need for natural gas and to discover new reserves. Due to the latest discoveries in the world and increasing global demand for gas, the offshore Oil and Gas industry is interested in exploring and developing ultra-deep gas fields. In this study, after collecting all the required reservoir, fluid, production and pressure properties in the offshore gas reservoir, three different scenarios were created using CMG (Computer Modeling Group) based on 14 years of production and the production values of these scenarios. Among these evaluated scenarios, the scenario with 5 vertical wells was preferred for the best production values. After the concept to be studied for the field was determined, necessary calculations were made and necessary studies were carried out in the field with a multidisciplinary engineering approach.

Key Words: Offshore, Ultra Deep Water, Emission of Carbondioxide

1 INTRODUCTION

Oil and gas exploration around the world has amplified into deep and ultra deep waters since it is progressively less frequent to discover especially large oil/gas reservoirs in shallow waters. Due to the latest discoveries around the world and increasing global demand for gas, offshore Oil and Gas industry directed its efforts in exploring and developing ultra-deep gas fields.

In this study, after collecting all the required reservoir, properties in an ultra-deep gas reservoir, three different scenarios were created using CMG (Computer Modeling Group) IMEX commercial reservoir simulator to find the number of production wells needed to exploit the reservoir. Among these evaluated scenarios, the case with 5 vertical wells was chosen for the best production performance. Based on an isochronal test, the maximum surface gas rate was estimated to be 200 MMscf/D with 7 in tubing for all wells and the most successful among the three scenarios was determined. After determining the a possible seasonal gas demand the development option is chosen to be subsea to beach. In this option, wells are connected directly to a facility on shore for processing without a need for a platfrom. Based on our calculations a 175 km 30 inch pipeline is needed for transporiting gas to the shore. Besides, to prevent hydrate formation methanol (MeOH) and monoethylene glycol (MEG) is considered and required volumes are estimated. MeOH is chosen to be more economical and 8 inch metanol line from the shore is advised. In such a scenario, necessary controls are applied through an umbilical line from offshore.

2 ULTRA DEEP OFFSHORE FIELD

Deep water research in the world has been developing for about 40 years. With the developing technology, offshore research has accelerated in order to meet the natural gas need and discover new reserves. One of the biggest factors in the development of the world gas reserve increase and as an example of the important areas where these researches are carried out, based on the deep water basins of the Atlantic Ocean, Brazil, West Africa and the Gulf of Mexico and the East African continent on the west coast of Norway in the northern part of the Atlantic Ocean.LNG production has some development options. These are primarily, Subsea-to-Beach, Dry-tree/Wet-tree host coupled with onshore LNG, and floating LNG. world's first deepwater oil field was drillled in 1975.

Offshore exploration in deeper and colder waters has some disadvantages. Hydrate risk and sand are some of them. Sand prduction and migration in the reservoir can display major challenges to well production. In addition to preventing or stopping sand production, it is also important to be able to maintain commercial well productivity once sand control efforts have been implemented.Moreover, high pressure and low temperatures increase the risk of hydrate formation. Thus, ultra deep waters provides necessary conditions for hydrate formation. Hydrates can form once the conditions are appropriate, and once the hydrates are formed, they build up in the production system and cause clogging.

2.1 Sand Control

The first stage of preventing sand production is sand prediction. Many methods and models have been developed to predict the sand production problem using various strategies such as analytical model testing and numerical modeling. Numerical models are important tools for predicting sand production and can be combined with various correlations. Moreover, log analysis, numerical simulators and various tests are used to predict sand production.

Sand production should also be taken into account when simulating the reservoir and identifying potential problems. Using the models developed for this purpose, first the sand production is estimated and then the necessary techniques are applied to minimize the sand production.

2.2. Hydrate Formation Method

Gas hydrate is a crystalline ice shape of water and low molecular gas. The gas hydrate comprises gas molecules on the molecular level, which are surrounded by water cages. A precise size is attached to

each water cage and in that hydrate structure, There can only be a gas molecule tiny enough to fit into this location. Gas hydrate forms if the pressure and the temperature of the methane and water are combined in marine sediments along continental margins of the earth and permafrost zones below about 200 meters deep. For many years, the creation of hydrate has been a serious concern in the production of petroleum and natural gas industry. As a result of the growth of offshore gas reserves, the petroleum industry has been faced with growing expenses related to gas-hydrate formation inhibition since the 1970s. In recent years, this problem has been solved by using inhibitors such as methanol or monoethylene glycol. In this study we calculated how many tonnes of inhibitors we need, to prevent the formation of hydrates.

3 FIELD DEVELOPMENT

In this study an ultra deep dry gas reservoir is considered. The field is located 175 km ofshore. Discovery in wildcat well is followed by two appraisel wells. Top of structure and thickness maps are available along with fluid and rock sample analysis. Also, an isochronal test is conducted in one of the wells. Our task is to choose the best development option considering reservoir properties and to provide an initial development plan based on CMG IMEX simulation runs along with data available.

Table 3.1 Properties of Reservoir

Tres	150 F
Pres	7,200 psia
cp	0.00005
WGC	14875 ft

3.1 Simulatioms Of Different Scenarios

It was generated 3 different scenarios to determine how much gas will be produce in the future. To create the different scenarios, it was used CMG and Excel software. In the first scenario, ten vertical wells were drilled. Since the reservoir has homogenous permeability and porosity values, grid thickness map was taken as a basis to determine the location of wells.

4 CONSIDERING CASING

In this Project was tried to find the most accurate scenario by evaluating all the scenarios we did. The first scenario did not fit the 14-year production plan we had set, and some wells had too much water output compared to other wells.

The second scenario was 1,000 ft long wells drilled horizontally. We determined the production plan and the production year in our vertical wells in the same way. As you can see in Figure 3.11 which represents the gas rate, our horizontal wells complied with the production plan for an average of 11 years. However, despite all this, drilling horizontal wells was very costly and required a lot of effort.

The 3rd scenario, which we did to determine which scenario was suitable, was the most economically appropriate because both the water production was low and the production life was as we wanted. Based on all scenarios, we ran some tests on the 3rd scenario.

Nevertheless, we must be used the stabilized flow rate and stabilized pressure difference because we wanted to work the stabilized condition. Then, by using the stabilized flow coefficient, the gas flow rate was found by giving different bottom hole pressure values with the initial pressure of the reservoir. It shown in Table 4.1.

Table4.3 The Inflow Performance Relation

Pin	Pwf	q MMSCF/Day
7208.76	6825	4.424565E+02
7208.76	6850	4.144375E+02
7208.76	6875	3.863113E+02
7208.76	6900	3.580775E+02
7208.76	6925	3.297356E+02
7208.76	6950	3.012850E+02
7208.76	6975	2.727251E+02
7208.76	7000	2.440551E+02
7208.76	7025	2.152740E+02
7208.76	7050	1.863806E+02
7208.76	7075	1.573732E+02
7208.76	7100	1.282496E+02
7208.76	7125	9.900639E+01
7208.76	7150	6.963830E+01

5 CONCLUSION

In this project, a field model was created in CMG by using field data. Obtained results are interpreted with graphics. By examining the thickness and top of structure maps on the created model, well locations were determined on different scenarios in order to determine the best production index. Production values for vertical and horizontal wells were examined. Necessary production tests were made and solutions were found for possible problems. The amount of water and gas to be produced was determined based on the best scenario, and it was decided that the scenario with five vertical wells for an ultra-deep gas field would provide the best production in the long run. After determining the a possible seasonal gas demand the development option is chosen to be subsea to beach. In this option, wells are connected directly to a facility on shore for processing without a need for a platfrom. Based on our calculations a 175 km 30 inch pipeline is needed for transporiting gas to the shore.

ACKNOWLEDGEMENTS

With our deepest thanks to Assoc. Prof. Dr. Murat Çınar, professor of Petroleum and Natural Gas Engineering Department of Istanbul Technical University, for his expert and valuable contributions to our project that we worked on for an academic term.

REFERENCES

Handbook of Natural Gas Engineering. McGraw-Hill.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Bitirme Tasarım Projeleri Bildirileri

Ingiltere, Wessex Havzasında Sismik Yansıma Yöntemi ile Olası Hidrokarbon Yalpılarının Saptanması Ve Yorumlanması

Determination and Interpretation of Possible Hydrocarbon Bearing Structures by Seismic Reflection Method in The Wessex Basin, England

A. Yılmaz, S. N. Özdemir, H. Kurt

İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET İngiltere'nin güneyinde bulunan Wessex Havzası, Batı Avrupa'nın hidrokarbon potansiyeli yüksek bölgelerinden biridir. Bu tez çalışmasında, Wessex Havzası'na ait yığma sonrası 2B sismik yansıma verileri ve kuyu verileri kullanılarak bölgenin hidrokarbon içeriği araştırılmıştır. Sismik ve kuyu verileri İngiltere'ye ait UKOGL (United Kingdom Onshore Geophysical Library)'nin erişime açık olan web sayfasından sağlanmıştır. Sismik verilere ait hatlar biri D-B diğerleri K-G olmak üzere 6 tanedir ve toplam 100.45 km uzunluktadır. Altı adet olan kuyu verileri sismik hatların üzerinde bulunmaktadır. Migrasyon kesitleri ve kuyu verilerinin birlikte yorumlanması ile bölgede birincil rezervuar olarak gösterilen Sherwood Kumtaşı'nın ve petrolün örtü kayası olan Mercia Çamurtaşı'nın derinlik haritaları oluşturulmuştur. Ayrıca, rezervuar kayaya ait kalınlık ve sismik ara hız haritaları oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sismik Yansıma, Wessex Havzası, Hidrokarbon Yapısı

ABSTRACT The Wessex Basin, located in the south of England, is one of the regions of Western Europe with high hydrocarbon potential. In this thesis, the hydrocarbon content of the region was investigated by using post-a 2D seismic reflection data and well data from the Wessex Basin in the south of England. The seismic and well data were obtained from the accessible web page of UKOGL (United Kingdom Onshore Geophysical Library). There are 6 lines belonging to the seismic data, one of them is E-W and the others are N-S, with a total length of 100.45 km. The data of six wells are located on the seismic lines. Depth maps of Sherwood Sandstone, which is shown as the primary reservoir in the region, and Mercia Mudstone, which is the cap rock of oil, were created by interpreting the migration sections and well data together. In addition, thickness and seismic intermediate velocity maps of the reservoir rock were created.

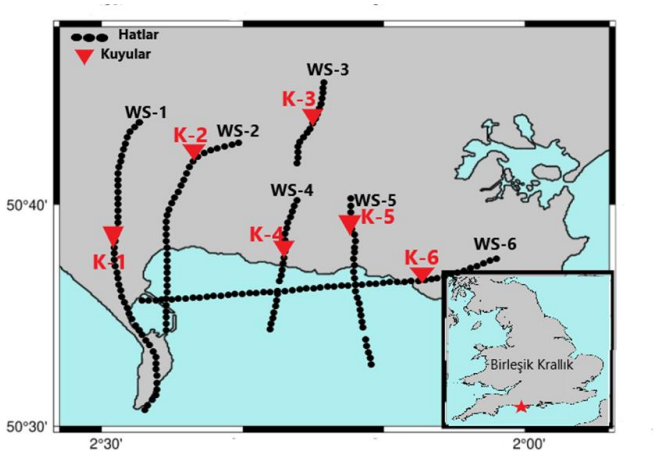
Keywords: Seismic Reflection, Wessex Basin, Hydrocarbon Structure

1 GİRİŞ

1.1 Wessex Havzası Hakkında Bilgiler

Batı Avrupa'nın petrol potansiyeli açısından en önemli havzalarından biri olan Wessex Havzası, 80.000 'lik bir alanı kaplar (OGA, 2016). Wessex Havzası, BGB-DKD eğilimli fay sistemleri ile sınırlanmış hidrokarbon bakımından zengin bir bölgedir (Şekil 1.1). Wessex Havzasının karmaşık yapısal ve stratigrafik evrimi Permiyen'den Tersiyer zamanlarına kadar uzanır. Wessex Havzası dört yarım-graben alt havzası içermektedir. Bütün bu alt havzalar, güneye eğimli listrik normal faylar tarafından oluşturulmuştur (Chadwick, 1993). Havzada 1959 yılında keşfedilen ilk saha, 30 yıldır günde 370 varil petrol üretilen Kimmeridge Sahasıdır. Bu petrol aramacılığı için küçük bir keşif olmasına rağmen, Kuzeybatı Avrupa'nın en büyük kara petrol sahası olan Wytch Farm'ın keşfedilmesine yol açmıştır. Wessex Havzası içindeki birincil rezervuar Sherwood Kumtaşı (Alt Triyas), Bridport

Kumtaşı (Alt Jura) ve Frome Kil Kireçtaşı ise ikincil rezervuarları oluşturur (OGA, 2016). Bu rezervuarlar Mercia Çamurtaşı (Sherwood Kumtaşı), Fullers' Earth (Bridport Kumtaşı) ve Frome Kili (Frome Clay Limestone) tarafından örtülmüştür. Ana kaynak kaya Geç Kretase-Paleojen zamanlarında petrol üreten Lias'tır.



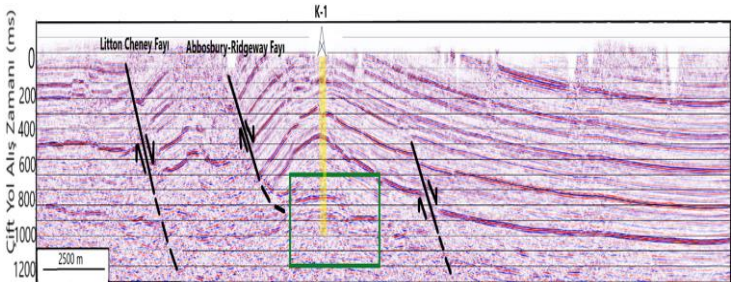
Şekil 1.1. Çalışma bölgesinin yer bulduru haritası ve sismik hatlar ile kuyuların dağılımı (Hatlar siyah çizgilerle, kuyular kırmızı renkle ve üçgenlerle gösterilmiştir). Haritalama: GMT

2 WESSEX HAVZASI VERİLER

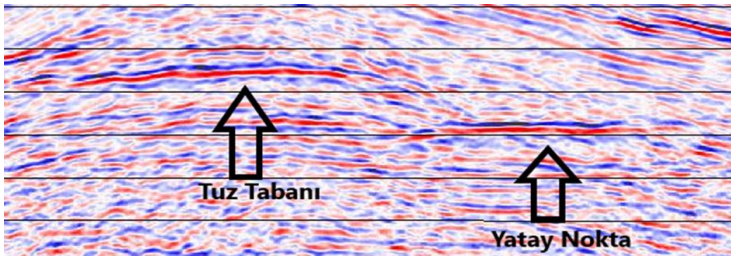
İngiltere'nin güneyinde bulunan Wessex Havzasında, petrol ve doğalgaz şirketleri tarafından yapılan sismik yansıma çalışmalarının bazılarının bilgileri, açık kaynak olarak UKOGL sitesinde paylaşılmaktadır. Bu çalışmada İngiltere UKOGL veri tabanından elde edilen, 1972-1998 yıllarında kara, deniz ve geçiş bölgesinden toplanan ve 2016-2017 yılları arasında yeniden işlenen altı adet 2B sismik yansıma kesiti ve altı adet kuyu bilgisi kullanılmıştır.

2.1 Sismik Yansıma Verileri

Bu çalışmada kullanılan hatların altı tanesi K-G doğrultusunda, bir tanesi de D-B doğrultusunda uzanmaktadır. Şekil 1'de konumları verilen altı hattın toplamdaki uzunluğu 100.45 km'dir. Kullanılan sismik yansıma kesitleri zaman ortamı yığma öncesi migrasyon kesitleridir. Sismik yansıma kesitlerinin yorumlanmasında ASTM D7128-18 numaralı (Standard Guide for Using the Seismic Reflection Method for Subsurface Investigation) uluslararası mühendislik standartları göz önünde bulundurulmuştur. Şekil 2.1'de WS-1 hattının sismik kesiti gösterilmiştir.



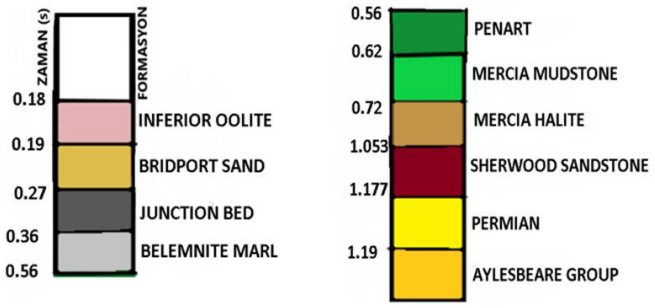
Şekil 2.1. WS-1 hattının yapısal yorumu ve üzerinde kuyu bilgisinin gösterimi (UKOGL, 2016).



Şekil 2.2. WS-1 hattında gözlemlenen tuz yapısının tabanı ve düz noktanın (flat spot) gösterimi. Konumları Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

2.2 Kuyu Verileri

Çalışma sahasında sismik hatlarla kesişmekte olan altı adet kuyu verisi bulunmaktadır. WS-1 hattı üzerinde bulunan K-1 kuyusu bilgisi ve kuyunun jeolojik birimleri Şekil 2.1 ve 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 K-1 kuyusunun zaman ortamında jeolojik birimleri (UKOGL'den modifiye edilmiştir).

3 WESSEX HAVZASINDA YAPILAN MODELLEME ÇALIŞMALARI

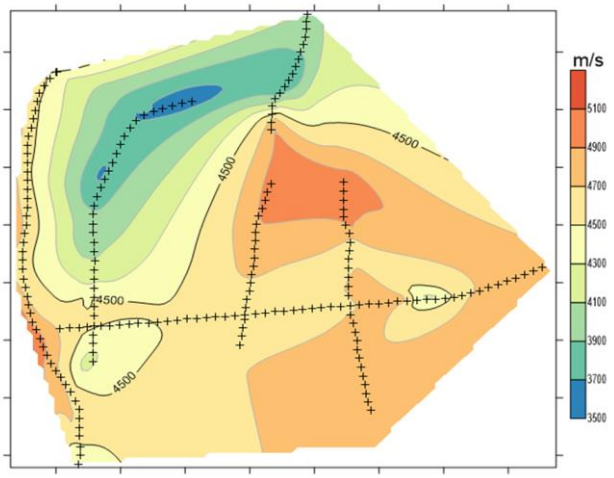
UKOGL sitesinden elde edilen altı hattın üzerinde bulunan altı adet kuyu bilgisiyle de araştırma, sırasıyla rezervuar kayayı ve örtü kayayı temsil eden Sherwood Kumtaşı ve Mercia Çamurtaşı'nın bölgedeki alt ve üst sınırları tespit edilmiştir. UKOGL'den elde edilen veriler ışığında; Sherwood Kumtaşı'na ait hız, derinlik ve kalınlık haritaları oluşturulmuştur. Rezervuarın örtü kayası olarak aranan Mercia Çamurtaşı'nın da derinlik haritası oluşturulmuştur.

3.1 Hız Modeli

Gözenekli bir kayacın gözeneklerinin petrol veya gaz ile dolu olduğundan kayacın hızı düşmektedir. Bu bilgiden yola çıkarak, Sherwood Kumtaşı'nın ara hızının değişimini gösteren bir ara hız haritası oluşturulmuştur. Bu haritalar oluşturulurken, UKOGL'den elde edilen zaman boyutundaki RMS hızı bilgileri kullanılmıştır. RMS hızı, yatay tabakalı bir ortamı temsil eden tek bir hız değeri olduğundan tabakaların gerçek hız bilgisine ulaşmak amacıyla ara hızlar bulunmuştur. RMS hızı olarak verilen hızlar; DIX Ara Hızı formülü (5.1) ile ara hıza çevrilmiştir.

$$V_{int} = \left[\left(t_2 V_{RMS2}^{\,2} - t_1 V_{RMS1}^{\,2}\right)/(t2 - t1)\right]^{1/2} \qquad (5.1)$$

Burada,
Vint=ara-hız
t1 = ilk yansıtıcı yüzeye gelene kadar geçen süre
t2 =ikinci yansıtıcı yüzeye gelene kadar geçen süre
VRMS1 = ilk yansıtıcı yüzeydeki RMS hızı
VRMS2 = ikinci yansıtıcı yüzeydeki RMS hızı



Şekil 3.1. Sherwood Kumtaşı tabakası ara hız modeli

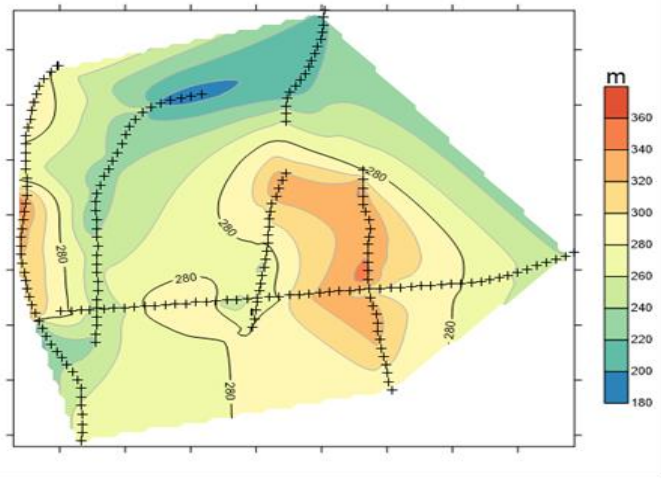
3.2 Derinlik ve Kalınlık Modelleri

Kayaçta ne kadar petrol bulunduğunun yorumlanabilmesi ve sondaj kuyusunun derinliğinin saptanabilmesi için, bölgedeki rezervuarın ve örtü kayacın sırasıyla kalınlık, derinlik haritaları çizdirilmesi gerekmektedir. Bölgenin derinlik modelini oluşturmak için sismik kesitlerden elde edilen zaman bilgileri ve yeraltı ara hız bilgileri kullanılmıştır.
5.2 formülü kullanılarak, zaman ve ara hız bilgilerinden derinlik bilgileri elde edilmiştir.

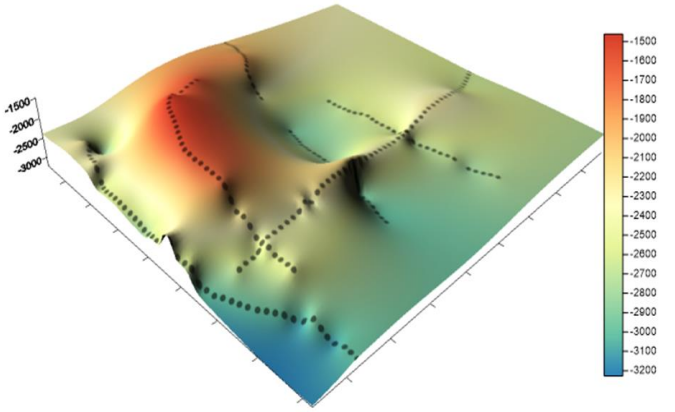
$$H = \frac{V * t_0}{2} \qquad (5.2)$$

Alt ve üst seviyelerdeki derinlikler birbirinden çıkarılarak bölgenin kalınlık bilgisi bulunmuştur.

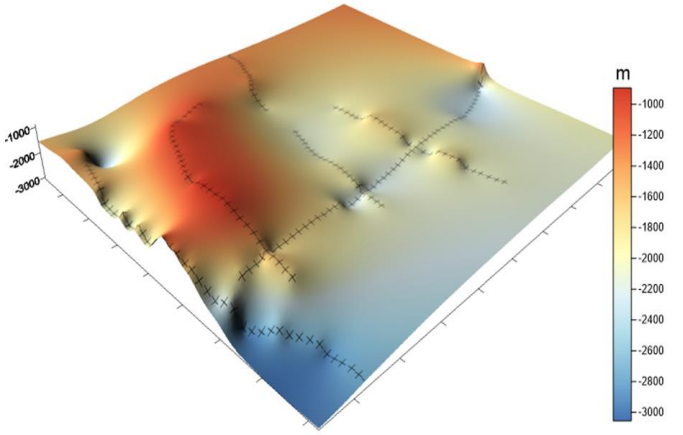
Tüm bu bilgiler kullanılarak SURFER programı ile modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modeller ışığında çalışma bölgesinin yorumlaması yapılmıştır



Şekil 3.2. Sherwood Kumtaşı tabakası kalınlık modeli



Şekil 3.3. Sherwood Kumtaşı tabakası derinlik modeli



Şekil 3.4. Mercia Çamurtaşı derinlik modeli

4 SONUÇLAR

Bölgenin jeolojisi ve açılan kuyu verilerinden oluşturulmuş stratigrafik bilgiler ışığında sismik kesitler yorumlanmıştır. Yapılan modellemeler sonucunda bölgede, birincil rezervuar kaynağı olan Sherwood Kumtaşının kalınlığı 180 ile 360 metre arasında, derinliği ise 1400 ile 3200 metre arasında değişmektedir.

Sherwood Kumtaşının örtü kayası olan Mercia Çamurtaşı'nın havzadaki derinliği 1000 ile 3000 metre arasında değişmektedir.

9240 hattının yapısal haritası incelendiğinde bölgede sıkışma sonucu oluşmuş bir antiklinalin varlığı dikkat çekmiştir. Şekil 2.2'de gösterilen genlik artması Direkt Hidrokarbon Göstergesi (DHI) olarak yorumlanabilir. Sherwood Kumtaşının üzerinde gözlemlenen yatay nokta (flat spot) bir hidrokarbon göstergesidir. Kuyu bilgisine bakıldığında gözlemlenen bu genlik artmasının petrol veya gazdan kaynaklandığı ve üzerindeki tuz yapısının da petrolün kaçmasını önleyerek bir kapan yapısı oluşturup oluşturmadığını anlamak için bölgeye antiklinalin tepesinden bir keşif kuyusu açılması önerilebilir.

Yapılan Sherwood Kumtaşı ara hız haritası incelendiğinde WS-2 hattının olduğu bölgede, diğer alanlara oranla hızın düştüğü gözlemlenmektedir. Bu hız düşmesi, Sherwood kumtaşının gözeneklerinin gaz veya petrol ile dolu olmasından kaynaklanıyor olabilir. Sherwood Kumtaşı'nın ara hız haritasında WS-6 hattında gözlemlenen hız düşmesinin sebebi, WS-6 hattının Kimmeridge Petrol Sahasını kesmesidir.

.

KAYNAKLAR

Underhill J. ve Stoley R. (n.d.). Introduction to the development, evolution and petroleum geology of the Wessex Basin

UK Onshore Geophysical Library. (2015, September 2). https://ukogl.org.uk/.

Simmons, M. (n.d.). The Wessex Basin: Petroleum Geology 101 in the Field

OGA, (2016).Oil and Gas Authority. https://www.ogauthority.co.uk/.

Crustal Properties Across the Central NAFZ Inferred from Receiver Functions and The Autocorrelation of Teleseismic Body Waves

Telesismik Depremlerinin Cisim Dalgalarının Otokorelsyonu ve Alıcı Fonksiyonlarından Elde Edilen Merkezi KAFZ Bölgesinin Kabuksal Özellikleri

Ö. Geze, T. Eken, K. Derya
Istanbul Technical University, Faculty of Mines, Geophysical Engineering Department, Istanbul

ABSTRACT Earthquake-generated seismic waves contain important information about subsurface properties. The passive seismic method used in seismology is one of the most widely preferred methods, and it examines the energy differences in the vertical and radial components of coda waves that can be useful for imaging the discontinuities beneath the Earth. The most common of these methods involves a type of stacking analysis and is used to calculate the ratio of the layer depth (H) and the ration between P-and S-wave velocities (k). In this thesis project, adapted version of the autocorrelation and H-k-V_P stacking analyses performed to continuous recordings at 2 out of 38 broad-band stations located across the NAFZ. Southern part of the central NAFZ showed high P-wave velocity value (6.48 km/s) with 35.2 km depth of Moho. Northern central NAFZ which is produced more consistent data showed 37 km depth of Moho with a 5.6 km/s of V_P.
Keywords: Autocorrelation, receiver function, teleseismic, central NAFZ.

ÖZET Deprem kaynaklı dalgalar yer kabuğu özellikleri hakkında önemli bilgiler içerir. Sismolojide kullanılan pasif sismik yöntemi, koda dalgalarının dikey ve radyal bileşenlerinin enerji değişimlerini inceleyerek katman süreksizliklerini görüntülemede kullanılır. Katman derinliği (H) ve P ve S dalga hızlarının oranlarını (k) belirlemek için yığma analizi yöntemi çok sık kullanılır. Bu çalışmada, otokorelasyon ve H-k-V_P yığma analizi yönteminin verilerimize adapte edilmiş versiyonu KAFZ bölgesinde konumlandırılmış 38 geniş bant istasyonun 2 tanesi üzerinde uygulanmıştır. Merkezi KAFZ güneyindeki bölge yüksek P dalga hızı (6.48 km/s) göstermesiyle birlikte Moho kalınlığı 35.2 km hesaplanmıştır. Daha tutarlı sonuçlar veren kuzey bölgesinde ise 37 km Moho kalınlığı ve 5.6 km/s P dalgası hızı bulunmuştur.
Anahtar Kelimeler: Otokorelasyon, alıcı fonksiyonlar, telesismik, merkez KAFZ.

1 INTRODUCTION

The variety of methodologies in the field of seismology used for imaging Earth's interior has been upgraded in recent decades. Velocity models of the upper mantle and crust, such as the crust mantle-boundary (Moho), can be evaluated using a common approach called receiver functions (RFs).

In the present study, we show that autocorrelations of the vertical and radial component seismograms that can be extracted from the digital waveform recordings of teleseismic earthquakes following Delph et al. (2019) can be used to reveal the subsurface structure. Using an influential H-k stacking analysis methodology originally developed by Zhu & Kanamori (2000) where we gather auto-correlation functions and receiver functions allows to gain information about proper arrival times that will be useful for constraining the average P wave velocity

structure of a layer independently. Delph et al. (2019) showed that this method would permit a more adequate assessment of associated uncertainties between crustal parameters (e.g., V_P, V_S, and layer thickness), which could be otherwise substantially underestimated when one of these variables was fixed constant. The aim of this thesis study is primarily to adapt the joint usage of P-wave autocorrelation functions and P-receiver functions to the data set collected at two stations across the NAFZ in order to investigate possible crustal differences between Moho thicknesses, average crustal P-wave velocities, and V_P/V_S ratios.

2 DATA

In this project it is analyzed teleseismic waveform three component data gathered between January 2005 to December 2008 obtained from ongoing recordings at 2 out of the 38 broadband stations as part of the North Anatolian Fault (NAF) model of passive seismic demonstration shown in Fig.2.1.

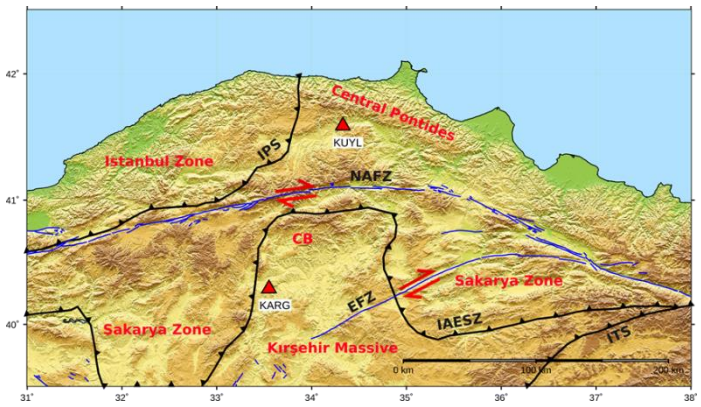


Figure 2.1: Map of the stations located around NAFZ shown with the red triangles.

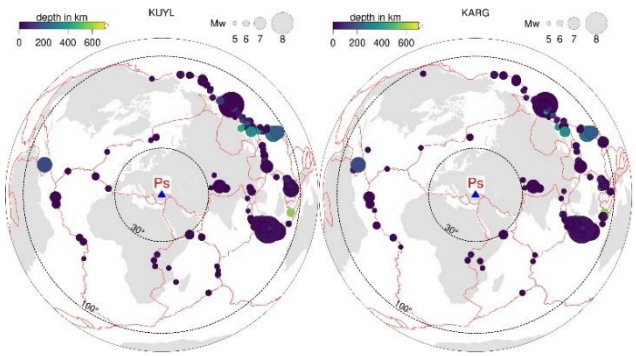


Figure 2.2: Global maps of the data used in analyses. Left side is the station KUYL, right side is the station KARG.

Selected events with the magnitudes higher than 5.5 occurred at 30° to 100° epicentral distances (Δ) and extracted from IRIS Data Management Center (IRIS DMC) (Fig. 2.2). A total of 2592 waveforms from 1071 teleseismic events recorded at selected stations and theoretical P wave arrivals calculated using 1-D IASP91 earth model (Kenneth and Engdahl, 1991). After the picking the raw data visually, there are remained 225 seismic event and obtained 999 waveforms. Coordinates with ENZ format transformed into RTZ.

Moreover, the good quality data care selected in a window between 10 seconds before and 100 seconds after P-wave arrival time. The receiver functions are computed using the iterative deconvolution method with 0.05-1.25 Hz of the band-pass filtering and 2.8 of the Gaussian width. In the autocorrelation step, the radial and vertical component of all selected waveforms are processed to take information from the Pmp phase (Fig. 2.3).

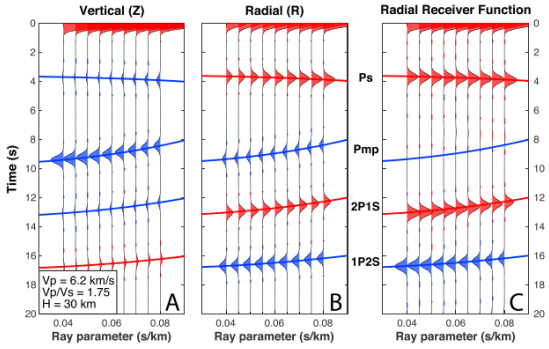


Figure 2.3: (A) Vertical, (B) Radial seismograms and (C) receiver functions produced with a synthetic data. Pmp phase is not visible (Delph et al., 2019).

3 METHODS

3.1 Receiver Functions

The P wave receiver function approach, a well-developed seismological approach for determining crust and upper-mantle velocity structure underneath a seismological station with three-component, was used in this work (Langston 1979). When teleseismic P waves come from a long distance (30°–90°), they interact by the velocity discontinuities, and a portion of the P wave transforms to a S wave

called Ps phase. P_S phase can be used to constrain apparent heterogeneities, anisotropic layer thickness, symmetry axis orientation under the interested region of crust or upper mantle. P wave's first 20-30 s period allows detailed velocity information underneath the receiver.

The deconvolution of the radial (R) or tangential (T) component from the vertical (Z) component is one approach to construct receiver functions that are a time series with multiple transformed phases. A far path and source effects are removed when a vertical component is deconvolved from a radial component, resulting in a radial RF. To constrain the underlying discontinuities, the amplitude and timing of the transformed and crustal multiple phases are being modeled (Ammon et al., 1990).

3.2 Iterative Deconvolution

For the estimation of RFs, we applied an iterative time-domain deconvolution methodology (Ligorria and Ammon 1999) to three-component seismograms in this research. The iterative methodology is widely used in RFs analysis introducing various advantages including, i.e., intuitively extracting the greatest receiver function arrivals from the observed seismograms.

In this study, RF iterative deconvolution has been applied following the technique originally given in Ligorria and Ammon (1999). Maximum amplitude is presented by using empirical equation developed by Kikuchi and Kanamori (1982). After that, the method is conducted repeatedly by using least squares approach to minimize the difference between observed and predicted signal.

3.3 H-k-VP Stacking

H-k-VP stacking is being comparable means of having flaws in H-k stacking, it is most effective on homogeneous layers with plain discontinuities, with the maximum amplitudes matching the estimated phase moveouts. Traditional H-stacking analysis does not quantify errors in these parameters as a result of changes in V_P as opposed of H-k-V_P which provides meaningful oscillations to H and V_P/V_S with the addition of V_P (Delph et al., 2019).

3.4 Autocorrelation

While performing the deconvolution, P phase that includes information about Moho can be easily removed from the estimations. Adding an autocorrelation process can be the solution. In this thesis, it has been mainly followed the processing techniques given by Pham and Tkalcic, (2017) to compute autocorrelation functions. This method recovers all predicted phases from the transmitted wavelet, and even some few artificial arrivals that were not present in the response. These phases tend to be appeared, in particular Ps and 1P2S, occur on both the vertically and radially autocorrelations, although the radial autocorrelation tends to be bigger due to the Pmp arrival's matching amplitude to other phases mostly with the component radial.

4 RESULTS

Station KARG has shown large uncertaintiesresults in Pmp, 2P1S and 1P2S except Ps phase. There can be seen a small shift between H-k and H-k-V_P stacking analyses (Table 1). The station KUYL, relatively better results without having any detectable significant differences between move-out curves of phases Pmp, 1P2S and 2P1S (Figure 4.1). Results can be seen in Table 1.

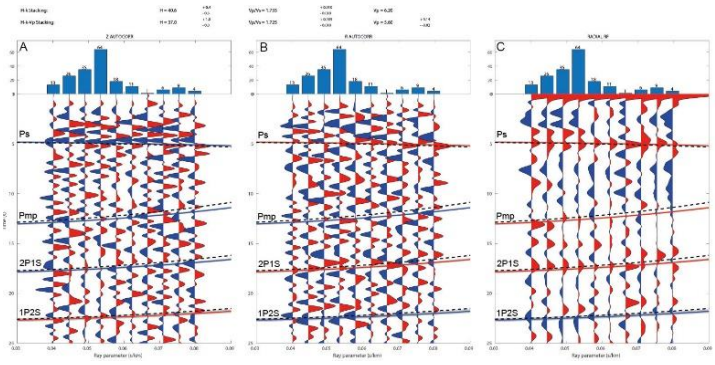


Figure 4.1: Results of the station KUYL. (A) Vertical autocorrelation, (B) Radial autocorrelation, (C) Radial RF and dashed lines seen in the all sections represent solutions from H-k stacking result.

Parallel plots obtained for station KUYL show a consistent distribution of estimated

crustal parameters with relatively small range of box and whiskers as this means a better solution with less variations compared to station KARG.

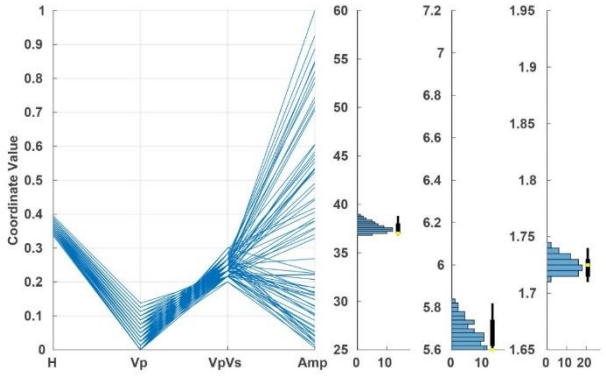


Figure 4.2: On the left side parallel plot applied to H-k-V_P solutions of the station KUYL. On the right histogram of solutions have given with plot of box and whisker shown.

Table 1. Estimations of station KARG and KUYL with possible variations.

	Station KARG				Station KUYL			
	H-k Stacking		H-k-Vp Stacking		H-k Stacking		H-k-Vp Stacking	
H (km)	38.6	(+0.2) (-4.2)	35.2	(+0.8) (-4.4)	40.6	(+0.4) (-0.6)	37.2	(+1.0) (-0.0)
Vp/Vs	1.650	(+0.085) (-0.005)	1.745	(+0.035) (-0.010)	1.735	(+0.01) (-0.018)	1.725	(+0.005) (-0.01)
Vp (km/s)	6.20		6.48	(+0.12) (-0.64)	6.20		5.60	(+0.14) (-0.02)

5 CONCLUSION

Delph et al. (2019) introduced the H-k-V_P stacking approach that involved the P-wave coda autocorrelation in order to offer much more sensitive estimations of Moho thickness (H), P-waves velocities, and V_P/V_S ratios. In this thesis project, we adapted this new approach to the digital waveform recordings of teleseismic earthquakes at two seismic stations located across the NAFZ in Turkey to better quantify crustal parameters. According to our outcomes estimated with H-k-V_P stacking, the station KUYL has 37 km depth of Moho with a 5.6 km/s of V_P and the station KARG associated with the large Çankırı Basin, is showing 35.2 km of Moho depth with a 6.48km/s of V_P. Station KUYL shows no similarity on the H-k-V_P stacking results, with a contrast of H-k stacking which is nearly same, to Schiffer et al. (2019) in which the mentioned station results are showed uncertainty. Based on this, H-k-V_P stacking may have been revealed more qualified results. Lastly, important indicator Pmp phase is cannot be seen clearly on the outcomes due to the high magnitude earthquake necessity and shortage of data collected in a short amount of time.

ACKNOWLEDGMENT

Data used in this thesis project is extracted from IRIS Data Management Center (IRIS DMC) and theoretical P wave arrivals calculated using 1-D IASP91 earth model (Kenneth and Engdahl, 1991). Some figures are produced using Generic Mapping Tools (GMT; Wessel and Smith, 1998).

REFERENCES

Ammon, C. J., Randall, G. E., & Zandt, G. (1990). On the nonuniqueness of receiver function inversions. *J. Geophys. Res*, *95*(B10), 15303.

Delph, J. R., Levander, A., & Niu, F. (2019). Constraining Crustal Properties Using Receiver Functions and the Autocorrelation of Earthquake-Generated Body Waves. *J. Goephys. Res: S. E.*, *124*(8), 8981–8997.

Kennett, B. L. N., & Engdahl, E. R. (1991). Traveltimes for global earthquake location and phase identification. *Geophys. J. Int.*, 105(2), 429–465.

Langston, C. A. (1979). Structure under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic body waves. *J. Geophys. Res*, *84*(B9), 4749.

Ligorría, J. P., & Ammon, C. J. (1999). Iterative deconvolution and receiver-function estimation. *Bull. Seism. Soc. Am.*, *89*(5), 1395–1400.

Phạm, T. S., & Tkalčić, H. (2017). On the feasibility and use of teleseismic P wave coda autocorrelation for mapping shallow seismic discontinuities. *J. Geophys. Res: S. E.*, *122*(5), 3776–3791.

Schiffer, C., Eken, T., Rondenay, S., & Taymaz, T. (2019). Localized crustal deformation along the central North Anatolian Fault Zone revealed by joint inversion of P-receiver functions and P-wave polarizations. *Geophys. J. Int.*, *217*(1), 682–702.

Wessel, P.,& W. H. F. Smith.(1998). New, improved version of the Generic Mapping Tools released,EOS Trans. AGU, 79, 579.

Bulanık Mantık ile Batimetri Verilerinde Hata Tespiti
Error Detection in Bathymetry Data with Fuzzy Logic

B. Yücetürk, B. Karadöller, C. İmren
İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü

ÖZET Günümüz dünyasında teknolojinin de gelişmesiyle elde edilen veriler bilgisayar ortamında işlenmektedir. Veri işlem süreci tüm jeofizik yöntemlerde ölçümlerde elde edilen hatalardan olumsuz yönde etkilenmektedir. Verilerde bulunan hataların ayıklanması amacıyla kullanılan filtreleme yöntemleri oldukça iyi sonuçlar vermekte ve çalışmaların çok önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Ancak veriye bütünsel olarak uygulanan bu metotlar veride genel bir bilgi kaybına sebep olmakta ve veri işlem programlarının klasik mantık ile yazılan otomatik düzeltme seçenekleri hatalı sonuçlar üretmektedir. Bu çalışmanın amacı, batimetrik veri toplama aşamasında yaşanan hatalı ölçümlerin bulanık mantık ile oluşturulan bir algoritma yardımıyla tespit edilmesi ve böylelikle veri işlem sürecinde hatalı bölümlerin öne çıkarılarak sürecin kısaltılması ve kolaylaştırılmasına katkı sağlamaktır. Bu doğrultuda çalışmada MATLAB Fuzzy Logic Programı yardımıyla üretilen algoritmanın hata tespitinde gerçeğe yakın sonuçlar verdiği ve dolayısıyla amaca yönelik işlevselliği test sonuçlarıyla anlaşılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Batimetri, Bulanık Mantık, Sonar.

ABSTRACT In geophysics, the data obtained with the development of technology are processed in computer environment. The data processing is adversely affected by the errors obtained in the measurements in all geophysical methods. The filtering methods used to remove the errors in the data give quite positive results and constitute a very important part of the studies. However, these methods, which are applied holistically to the data, cause a general loss of information in the data and the automatic correction options of the data processing programs, written with classical logic, produce erroneous results. The aim of this study is to detect the erroneous measurements in the bathymetric data collection phase with the help of an algorithm created with fuzzy logic, and thus to contribute to shortening and facilitating the process by highlighting the faulty parts in the data processing. In this direction, it has been understood that the algorithm produced with the help of MATLAB Fuzzy Logic Program gives realistic results in error detection; therefore, its purposeful functionality is examined by the test results.
Keywords: Bathymetry, Fuzzy Logic, Sonar.

1 DENİZ ARAMALARI

1.1 Batimetrik Veri Toplama Yöntemleri

Batimetrik araştırmalar su altına ait özelliklerin elde edilmesinde kullanılan yöntemleri barındırmaktadır. Su altına ait topoğrafik haritaların çıkarılmasında International Hydrographic Organization (IHO)'nın belirlediği standartlar ışığında batimetrik ölçümler su derinliğine bağlı olarak su altı topoğrafya haritasının

çıkarılmasını sağlamaktadır. Batimetrik ölçümler esnasında ihtiyaca yönelik olarak tek kanallı ve çok kanallı akustik enstrümanlar, akustik doppler akım profilleyicileri (ADCP), eko haritalayıcılar ve otonom su altı cihazları (OSAC), mekanik iskandil sistemler gibi birçok ölçüm yöntemi kullanılabilmektedir (Tucker ve Gazey, 1966). Bu proje kapsamında ölçüm hatalarının filtreleneceği ve düzeltileceği veriler, Akustik Sonar İskandil Sistemler Yöntemi ile toplanmış verilerdir.

Akustik Sonar İskandil Sistemleri, günümüzde batimetri haritası oluşturmak ve deniz tabanı görüntüsü elde etmek için kullanılan en etkili sistemdir. Deniz tabanı topoğrafyası oluşturmakta kullanılan sonar sistemler ise tek ışınlı sonar sistemler (SBS) ve çok ışınlı sonar sistemler (MBS) olarak sınıflandırılmaktadır. İki sistem de bir yankı çözücünün düşey doğrultuda konik bir şekilde gönderdiği akustik dalganın geri toplanması ile çalışmaktadır.

Bu doğrultuda su derinliğinin hesaplanmasında da ses dalgalarının deniz tabanına ulaşıp ilgili yüzeyden yansıması sırasında geçen süre esas alınır. Tek ışınlı sonar, tek bir ses dalgası ile derinlik bilgisi tanımlaması yaparken çok ışınlı sistemlerde farklı yön bilgileri edinmek için hüzme formasyonu kullanır. Gidiş geliş süreleri üzerinden çalışan bu sistemlerde akustik dalganın kaybı ve dalganın tabana ulaşamadan yansıma yapması önemli sorunlar oluşturmaktadır. Dalganın tabana ulaşmadan yansıma yapması problemi, veri işlem adımında anlaşılabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan verilerde düzeltilmesi amaçlanan ana unsurlardan biri bahsedilen yansıma problemidir.

2 JEOFİZİKTE DİJİTAL YÖNTEMLER

Jeofizikte dijital yöntemlerin kullanılması ile birçok süreçte hassasiyet ve çözünürlüğün arttırılmasının yanı sıra, veri işleme sürecinde de büyük bir ivme yakalanmıştır. Dijital dünyada yaşanan gelişmelerin jeofiziğe entegrasyonuyla gerçekleşen bu süreç veri işleme, hata ayıklama, veri iyileştirme gibi birçok adımı daha keskinleştirirken işlemlerin uygulanmasını kolaylaştırmış ve bu uygulamalara hız katmıştır.

2.1 Bulanık Mantık

Bulanık mantık, kümeler teorisinin geliştirilmesi ile ortaya çıkan bulanık küme teorisinin özelleştirilmiş bir alanıdır. Üyelik fonksiyonları olarak tanımlanan parametreler ile elemanın o kümeye ait olma düzeyi ve işlevi düzenlenebileceği gibi birden fazla kümeye üyelik durumu da söz konusu hale gelmektedir (Chen ve Diğerleri, 2001). Bulanık mantık sistemlerinde en önemli unsurlardan biri tanımlanacak kurallar bütünüdür. Bu kurallar, bulanık setlerin nasıl çalışacağını belirleyen dilsel komutlar bütünü olarak görülebilir. Bu kurallar sayesinde sisteme girdi olarak eklenen her bilgi bulanık kararlar halinde yorumlanır. Bu kurallar sayesinde bir bulanık çıkarım sistemi (BÇS) tasarlanmış olur. Çıkarım sistemi ise, seçilen girdiyi bulanıklaştırma, bulanık bilgiden çıkarım üretme, bulanık çıkarımı berraklaştırma evreleri ile çalışır (Ferahita ve Diğerleri, 2012).

2.1.1 Bulanık Mantığın Klasik Mantıktan Farkı

Klasik mantıkta çıkarım olarak yalnızca "doğru" ya da "yanlış" çıktılarını almak mümkündür. Ancak bu gerçek sonuçlar göz önüne alındığında genel değerlendirme yapmak için yetersiz bir koşuldur. Birçok durumda örneklenen cevapların bir spektrum içerisinde değerlendirilmesi ve ilintili sonucun bütünsel bir bilgi olarak türetilmesi çok daha uygun bir yaklaşımdır. Bulanık mantığın da klasik mantığa kıyasla yakalamış olduğu avantaj burada devreye girer. İncelenen bilgide, klasik mantığın belirlemiş olduğu spektrum (1 ve 0) içerisinde, her bilginin bulunduğu konum ayrı ayrı sınıflandırılarak farklı kümeler inşa edilebilmekte ve son çıkarım gerçeğe daha uygun bir bilgi olarak sunulabilmektedir.

2.2 Bulanık Kümeleme

Bulanık küme kavramı 1965 yılında bulanık mantıkla ilişkili olarak Lütfi Aliaskerzade tarafından ortaya atılmıştır.

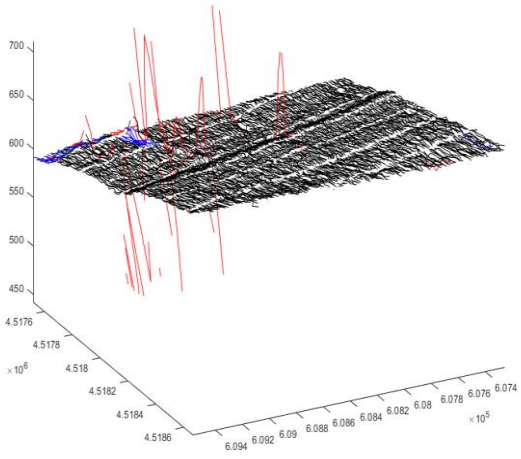
Bu yaklaşımda esas olan yaklaşım nesnelerin sınıflandırılırken aitliğinin belirlenmesidir. Geleneksel yaklaşımlarda olduğu gibi klasik bir kümeleme mantığı ile bir nesneyi nitelikleri yönünden değerlendirip tek bir kümeye ait göstermek yerine, ilgisinin bulunabileceği kümeleri seçerek üyelik fonksiyonlarınca belirlenen testler ile tüm kümelere bir üyelik derecesi ile atanarak birden çok farklı değerlendirme yapmaktır.

Bu yöntemin sağladığı esas avantaj, matematik dünyasındaki muğlak noktaları kullanılabilir ve gösterilebilir hale getirmesidir.

3 BULANIK MANTIK İLE BATİMETRİK VERİLERDE HATA TESPİTİ

3.1 Hata Tespiti için Hazırlanan Program

MATLAB R2020a programının Fuzzy Logic Toolbox aracı kullanılarak geliştirilen bu programda, Bölüm 3.2'de bahsedilecek olan veri kullanılmıştır. Programın yazımı gereği veri bir Microsoft Office Excel dosyası içerisine aktarılmış ve xlsx. uzantılı hale getirilerek programa tanıtılmıştır. Program, kullanıcıdan girilmesi istenen iki parametreyle veriyi düzenlemeye başlar. Doğru sıraya konan veriler, Fuzzy Logic Toolbox yardımıyla bulanıklaştırılır. Bulanıklaştırılan veri, tasarlanmış olan iki adet filtre ile sınanır. İşlem sonucunda işaretlenen veriler tekrar berraklaştırılır ve yapılmış olan işaretlemeler üzerinden kullanıcıya hatalı veriler ve şüpheli veriler sözel ve grafik çıktılar halinde bildirilir. Filtreleme aşamasında yapılan işlemler üyelik fonksiyonlarınca belirlenen sınırlamalarla hatalı, şüpheli, kabul edilebilir veya doğru olarak nitelendirilir.



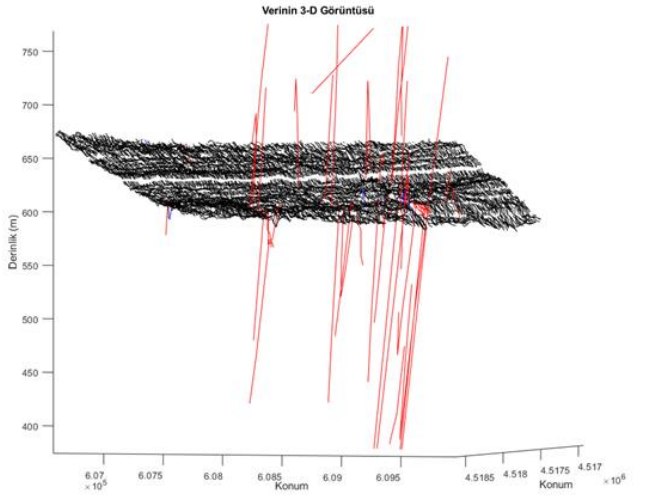
Şekil 1. Örnek Çıktı Görüntüsü

3.2 Kullanılan Veri Türü ve Nitelikleri

Çalışmanın test edilmesi ve oluşturulması esnasında gerekli olan çok ışınlı akustik sonar iskandil verisi temin edilmiştir. Temin edilen veri, IHO ölçümleme standartlarına uygun biçimde toplanmıştır. Ölçümlemede kullanılan sonar iskandil, 1,5 derece aralıkla 160 hüzme göndermektedir. Bu çalışmada kullanılan veri 31467 noktaya dair bilgi içermektedir.

3.3 Doğruluk Testi ve Çıktıları

Yapılan testlerde değişimi gözlemek amacıyla iki girdi parametresi olan; küme sayısı ve veri uzunluğu değiştirilerek birbirlerine bağlı etkileri gözlemlenmeye çalışılmıştır. Bunun saptanabilmesi için küme sayısı 5'ten 25'e kadar kademeli olarak arttırılırken veri uzunluğu ise her bir küme sayısı için 5'ten 25'e kadar çıkartılmış, eğer veri izin veriyorsa 30 değeri de denenmiştir. Bu işlem sonucunda küme sayısı 5 ve veri uzunluğu 10 olarak girildiğinde en doğru sonucun elde edildiği gözlemlenmiştir. Verinin işlenmiş hali ile program içerisinde gösterilen hatalar karşılaştırıldığında, parametrelerin 5 ve 10 seçildiği örnek en doğru sonuçları vermektedir. Hatalı olarak işaretlenen kırmızı bölgeler, işlenmiş veride de hata olarak değerlendirilmiş bunun yanında mavi bölgeler ise hata olma ihtimali düşünülerek yoruma bırakılmış durumdadır.



Şekil 2. Küme sayısı 5, Veri uzunluğu 10 alındığında oluşan çıktı

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında oluşturulan program ile şu görülmektedir ki ideal değerler belirlendiğinde (küme sayısı 5, veri uzunluğu 10) hatalı ölçümler bariz şekilde gösterilmekte, hata olma ihtimali barındıran ancak kesinlik içermeyen noktalar da yüksek isabetle ortaya konabilmektedir. Bu çalışmadan yola çıkarak jeofizik çözümlerde bulanık mantık yöntemi kullanılarak tasarlanacak filtreler, ölçümlerde yaşanan kusurları işaret etmekte ve muhtemel hataları saptamakta iyi bir uyarı sistemi oluşturmaktadır.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın tüm aşamalarında yardımlarını ve rehberliğini esirgemeyen değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Caner İmren'e ve Arş. Gör. Beril Karadöller'e, araştırma kısımlarındaki katkılarından ötürü arkadaşım Muhsin Onur Özbilgiç'e, Mısra Gedik'e ve Dilara Yalçın'a ve her zaman destekçim olan aileme ve çalışmam sırasında büyük veya küçük yardımını esirgemeyen herkese teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Chen, G., Pham, T. T., & Boustany, N. M. (2001). Introduction to fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy control systems. Appl. Mech. Rev., 54(6), B102-B103.

Ferahtia, J., Djarfour, N., Baddari, K., & Kheldoun, A. (2012). A fuzzy logic-based filter for the removal of spike noise from 2D electrical resistivity data. Journal of applied geophysics, 87, 19-27.

Tucker, D. G., & Gazey, B. K. (1966). Applied underwater acoustics. Elsevier Science & Technology.

Ege Denizi - Batı Anadolu Bölgesi Depremlerinin *(Mw > 6.0)* Coulomb Gerilme Değişimleri: 30 Ekim 2020 *Mw 7.0* Sisam (Samos) Adası Depremi Örneği

The Coulomb Stress Changes of Earthquakes (Mw > 6.0) in the Aegean: Case study of the October 30, 2020 Mw 7.0 Samos earthquake

A. Pekdemir, F. A. Fidan, S. Yolsal Çevikbilen, D. Keleş, C. Erman
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü

ÖZET 1967-2020 yılları arasında Ege Denizi ve Batı Anadolu Bölgesi'nde (36.5-40.5°K, 23.85-28°D) meydana gelmiş olan 14 adet büyük depremin (Mw > 6.0) konumlarının birbiriyle olan bağlantısını inceleyebilmek ve bölgede gerilmenin artış gösterdiği ve dolayısıyla deprem potansiyeli yüksek alanları belirleyebilmek için Coulomb gerilme değişimi hesapları yapılmıştır. Örnek deprem olarak 30 Ekim 2020 Mw 7.0 Sisam (Samos) Adası depremi seçilmiştir. İstatistiksel analiz sonucunda, 30 Ekim 2020 Sisam adası depremi artçı deprem aktivitesi için tamlık büyüklüğü (Mc) değerinin 1.6-2.8 arasında değiştiği, b-değerinin 0.724±0.01, p-değerinin ise 1.15±0.04 olduğu belirlenmiştir. Coulomb gerilme değişimi modelleri ise Ege bölgesinde güncel dönemde gerilmenin artış gösterdiği alanların Sisam (Samos) adasının kuzey batısı, Kuşadası Körfezi - Manisa bölgesi, Sakız (Chios) adası ve çevresi, Saros Körfezi - Gökçeada açıkları ve Gökova Körfezi'nin doğu kenarı olduğu ve gelecekte bu bölgelerde deprem potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: Sisam adası, Coulomb gerilme değişimi, Ege Denizi, b-değeri, p-değeri.

ABSTRACT Coulomb stress change analyses of 14 major earthquakes (Mw > 6.0; 36.5-40.5°N, 23.85-28°E; 1967-2020) that occurred in Aegean Sea and Western Anatolia were performed to estimate possible locations of earthquake-prone areas with high stress accumulation in the region. As a case study, 30th September 2020 Sisam (Samos) Island earthquake was chosen. Statistical analysis for this earthquake indicated that the value of Mc changes between 1.6 and 2.8, and the b- and p- values are 0.724±0.01 and 1.15±0.04, respectively. Coulomb stress change models indicate that several locations with an increasing stress such as northwest of Sisam (Samos) Island, Gulf of Kusadası and Manisa region, Chios Island and its environment, Gulf of Saros-Gökçeada and eastern side of Gulf of Gökova have a high potential of a future earthquake occurrence.
Keywords: Sisam (Samos) Island, Coulomb stress change, Aegean Sea, b-value, p-value.

1 GİRİŞ

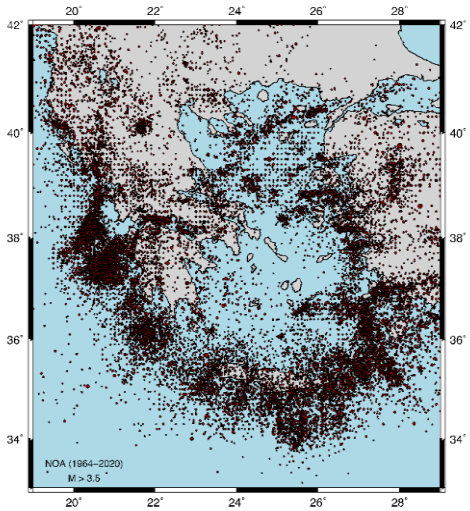
1.1 Ege Denizi Bölgesi Aktif Tektoniği

Alp-Himalaya çarpışma kuşağı üzerinde yer alan Ege Denizi ve çevresi, dünyada sismik etkinliğin en yüksek olduğu bölgelerden biridir. Türkiye'nin doğusunda Arabistan ve Avrasya levhalarının çarpışması, batısında ise Afrika-Avrasya levhalarının çarpışması sonucu oluşan Hellenik dalma-batma zonu, Anadolu ve çevresindeki aktif tektonik yapıların oluşumundan sorumludur (Taymaz ve diğ., 1990, 1991). Hellenik dalma batma

zonu boyunca dalan levhanın geri çekilmesi ve diğer tektonik hareketler sonucu Anadolu levhasının Avrasya'ya göre güneybatı yönüne doğru yaptığı kaçış hareketi, Ege-Batı Anadolu bölgesinin kuzey-güney yönünde gerilmesine, açılma tektonizması ve doğu-batı yönlü normal fayların gelişmesine neden olmaktadır. Kuzeyde ise, Ege Denizi içerisine uzanan Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ile ilişkili doğrultu atımlı faylar gözlenmektedir.

1.2 Çalışma Bölgesinin Depremselliği

Bölgede aktif tektonizmaya bağlı olarak gelişmiş farklı ölçeklerde faylar ile ilişkili yoğun deprem aktivitesi gözlenmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Ege Denizi ve çevresindeki deprem aktivitesinin (1964-2020, M>3.5; NOA) dağılımı.

30 Ekim 2020 Mw 7.0 depremi, Sisam adasının kuzeyinde Ege denizi içerisinde Samos fayı üzerinde meydana gelmiştir. Bu bölge, yüksek oranda deforme olmuş normal ve doğrultu atımlı fayların bulunduğu bir bölgedir (Ocakoğlu ve diğ., 2004; Yolsal-Çevikbilen ve diğ., 2014).

2 VERİ VE YÖNTEMLER

Çalışma alanında oluşmuş büyük depremlerin (Mw>6.0) Coulomb gerilme değişimi modelleri ve 30 Ekim 2020 Mw 7.0 Sisam (Samos) adası depremi artçılarına ait detaylı bilgiler (bkz. Tablo 1) bu bölümde verilmiştir.

Tablo 1. 1967-2020 yılları arasında Ege Denizi (23.85-28.0°K, 36.5-40.5°D) içerisinde oluşan depremlere ait kaynak mekanizması parametreleri. T91: Taymaz ve diğ. (1991); TT01: Tan & Taymaz (2001); S15: Saltogianni ve diğ. (2015); B02: Benetatos ve diğ. (2002); B19: Batıgün (2019); S17: Saltogianni ve diğ. (2017).

Tarih (gün.ay.yıl)	Oluş zamanı (sa:dk:sn)	Enlem (°K)	Boylam (°D)	Mw	Odak Mek. Çözümü	Ref.
4/3/1967	17:58:09	39.25	24.60	6.2	313/43/-56	T91
19/2/1968	22:45:45	39.40	24.94	7.0	221/70/-180	T91
27/3/1975	5:15:06	40.45	26.12	6.6	68/55/-145	T91
19/12/1981	14:10:50	39.22	25.25	6.9	60/79/175	T91
27/12/1981	17:39:13	38.91	24.92	6.3	216/79/175	T91
18/1/1982	19.27:24	39.96	24.39	6.9	233/62/-173	T91
5/7/1983	12:01:27	40.33	27.33	6.1	254/49/-173	T91
6/8/1983	15:43:51	40.14	27.74	6.9	47/83/180	T91
6/11/1992	19:08:09	38.11	26.95	6.1	255/85/-158	TT01
26/7/2001	0:21:36	38.99	24.38	6.4	151/83/7	B02
24/5/2014	9:25:02	40.28	25.38	6.7	75/85/-178	S15
12/6/2017	12:28:39	38.85	26.37	6.2	119/42/-81	B19
20/7/2017	22:31:11	36.92	27.41	6.5	95/56/-98	S17
30/10/2020	11:51:27	37.91	26.77	7.0	268/34/-103	USGS

2.1 Coulomb Gerilme Değişiminin Belirlenmesi

Coulomb gerilme değişimi, depremlerin enerji transferlerini ve depremlerin birbirlerini nasıl sönümlediğini veya tetiklediğini etkili bir şekilde açıklayan bir teoridir. Bu çalışmada Toda ve diğ. (2011) tarafından geliştirilen Coulomb 3.3 yazılımı kullanılmıştır. Kayaçta yenilmenin gerçekleşmesi için malzemenin belli bir Coulomb gerilme değerini aşması gerekir (King ve diğ. 1994). Bu değer, Coulomb yenilme fonksiyonu ile tanımlanır ve aşağıda gösterildiği gibidir.

$$\sigma_f = \tau_\beta - \mu' \sigma_\beta$$

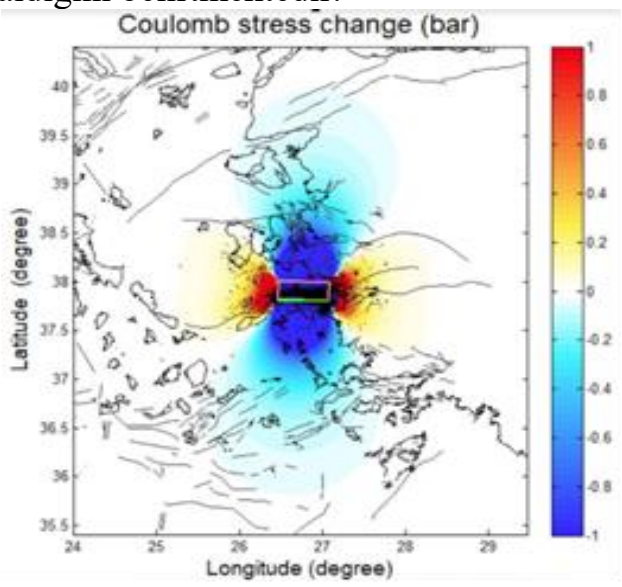
2.2 Artçı Deprem Aktivitesinin Analizi

30 Ekim 2020 Mw 7.0 Sisam (Samos) adası depremi artçılarının genel özellikleri ZMAP (Wiemer, 2001; Wiemer ve Wyss, 2002) yazılım paketi, Omori Yasası (Utsu, 1961) ve Gutenberg-Richter bağıntıları ile incelenerek, artçı depremlerin büyüklük - frekans dağılımları (b-değeri) ve azalım hızları (p-değeri) saptanmıştır.

3 SONUÇLAR

3.1 30 Ekim 2020 Mw 7.0 Sisam (Samos) Adası (Ege Denizi) Depremi Coulomb Gerilme Değişimi Modeli

30 Ekim 2020 Mw 7.0 Sisam adası depremi Sisam adası açıklarında (26.78°D, 37.89°K) 8 km odak derinliğinde meydana gelen bir depremdir (USGS). Hesaplanan Coulomb gerilme değişimi modeli (Şekil 2), fayın her iki ucunda gerilmenin artış gösterdiğini, ortasında kalan alanda ise azaldığını belirtmektedir.

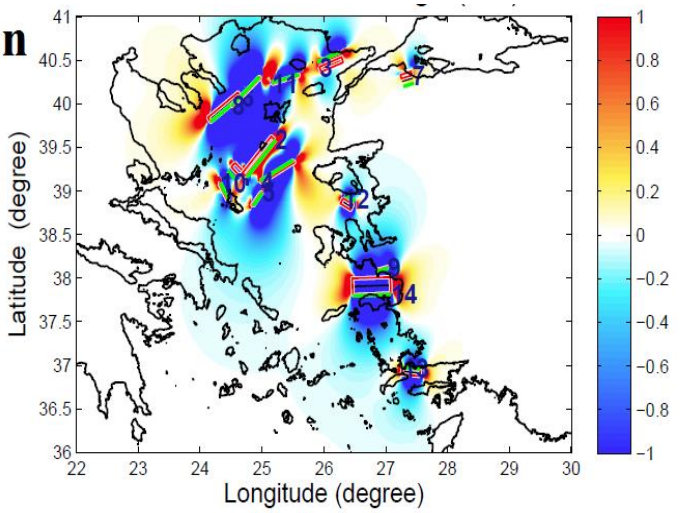


Şekil 2. 30 Ekim 2020 Mw 7.0 Sisam (Samos) adası depremine ait 8 km derinlikteki Coulomb gerilme değişimi modeli ve artçı deprem aktivitesi.

Renk skalası kırmızıdan maviye değişmekte, mavi alanlar gerilme azalımını, kırmızı alanlar ise gerilmenin arttığı bölgeleri göstermektedir. Gri çizgiler bölgedeki fayları (Ganas ve diğ., 2013), siyah noktalar ise artçı depremlerin konumlarını (AFAD) temsil etmektedir. Artçı depremlerin fay düzlemi boyunca ve gerilmenin artış gösterdiği alanlarda kümelendiği açıkça gözlenmektedir.

3.2 1967-2020 Yılları Arasında Ege Denizi İçerisinde Meydana Gelmiş Olan (Mw>6.0) 14 Adet Depremin Kümülatif Coulomb Gerilme Değişimi Modeli

Tablo 1'de özetlenen 14 adet depremin (Mw>6.0) konumlarının birbiriyle olan ilişkisinin ve bölgedeki güncel gerilme durumunun tespiti için her bir depreme ait Coulomb gerilme değişimi kronolojik olarak üst üste eklenerek güncel gerilme dağılımı haritası (Şekil 3) belirlenmiştir.

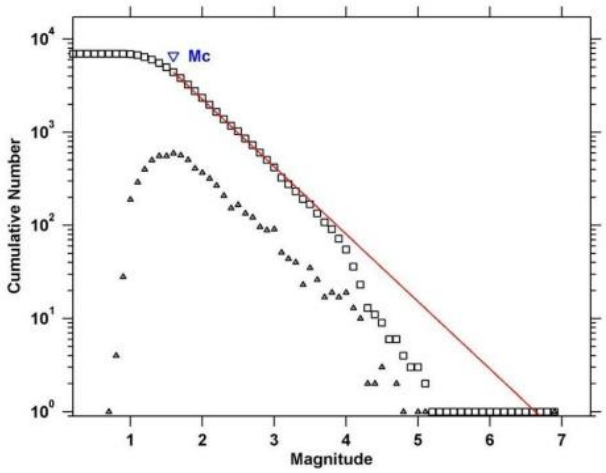


Şekil 3. Ege Denizi bölgesinde oluşan 14 adet büyük depremin (Mw>6.0) kümülatif Coulomb gerilme değişimi.

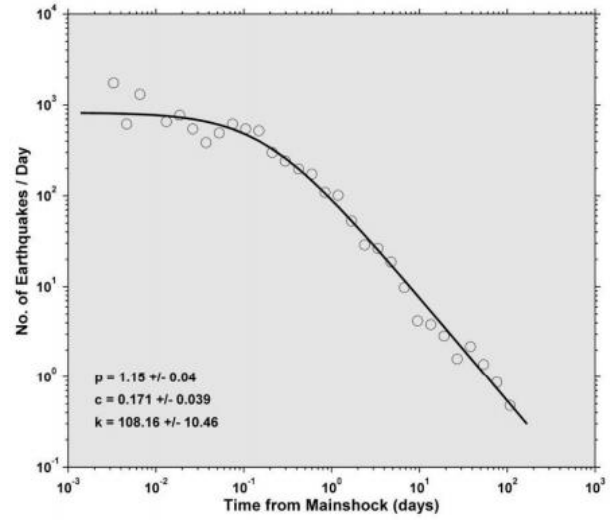
3.3 30 Ekim 2020 Mw 7.0 Sisam (Samos) Adası Depremi Artçı Şoklarına Ait b- ve p- Değerlerinin Hesaplanması

Ana şoku izleyen 169 günlük sürede meydana gelen artçı depremler (AFAD) ile yapılan istatistiksel analizler sonucunda, depremlerin tamlık büyüklüğü (Mc) 1.6, Gutenberg-Richter ampirik bağıntısındaki b-değeri 0.724 ± 0.01, Omori bağıntısındaki p-

değeriise 1.15 ± 0.04 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4 ve 5).



Şekil 4. Artçı deprem sayısı ve büyüklük ilişkisini gösteren FMD (Frekans-Magnitüd-Dağılımı) grafiği ve hesaplanan b- değeri.



Şekil 5. Artçı deprem kataloğunun istatistiksel analizi ile elde edilen azalım grafiğinden hesaplanan p-değeri

4 TARTIŞMA

Bu çalışma sonucunda:

- Sisam adası bölgesinde nispeten düşük b-değeri (0.724) bölgedeki yüksek gerilme boşalımını, ortalamadan yüksek p- değeri (1.15) ise heterojen yapıyı ve artçı deprem sayısının hızlı bir şekilde azaldığını göstermektedir..
- Coulomb gerilme değişimi modellerine göre gerilmenin artış gösterdiği bölgeler, Sisam (Samos) adasının kuzey batısı, Kuşadası Körfezi - Manisa bölgesi, Sakız (Chios) adası ve çevresi, Saros Körfezi açıkları ve Gökova Körfezi'nin doğu kenarıdır. Bu bölgelerde gelecekte olası büyük deprem potansiyeli yüksektir.

TEŞEKKÜR

Artçı deprem kataloğu için T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı - Deprem Dairesi Başkanlığı (AFAD)'na, Coulomb 3.3 programı ve deprem mekanizması parametreleri için USGS ve Toda ve diğ. (2011)'e, ZMAP yazılım paketi için Wyss ve diğ. (2001)'ne; kıyı çizgisi verileri için GEODAS-NG Smart Start 1.1.3.1 ve haritaların hazırlanması için kullandığımız Generic Mapping Tools (GMT; Wessel ve Smith, 1998)'ye teşekkürlerimizi sunuyoruz.

KAYNAKLAR

Ganas, A., Oikonomou, I. A., & Tsimi, C., 2013. NOAfaults: a digital database for active faults in Greece. Bulletin of the Geological Society of Greece, 47(2), s. 518-530.

Taymaz, T., Jackson, J. Ve McKenzie, D., 1991. Active tectonics of the north and central Aegean Sea. Geophysical Journal International, 106(2), s. 433-490.

Toda, S., Stein, R. S., Sevilgen, V., &Lin, J., 2011. Coulomb 3.3 Graphic-rich deformation and stress-change software for earthquake, tectonic, and volcano research and teaching-user guide. Open-File Report. US Geological Survey.

Wiemer, S., 2001. A Software Package to Analyze Seismicity: ZMAP. Seismological Research Letters, 72, s. 373-382.

Yolsal-Çevikbilen, S., Taymaz, T., & Helvacı, C., 2014. Earthquake mechanisms in the Gulfs of Gökova, Sığacık, KuÇadası, and the Simav Region (western Turkey): Neotectonics, seismotectonics and geodynamic implications. Tectonophysics, 635, s. 100-124.

Yolsal-Çevikbilen, S., & Taymaz, T., 2012. Earthquake source parameters along the Hellenic subduction zone and numerical simulations of historical tsunamis in the Eastern Mediterranean. Tectonophysics, 536-537, s. 61-100.

Hazar Gölü (Elazığ-Sivrice) ve Çevresi Aktif Tektoniğinin Sismik Yansıma Yöntemi İle İncelenmesi

Investigation of Active Tectonics of the Hazar Lake (Elazığ-Sivrice) and its Surroundings by Seismic Reflection Method

M. Gedik, E. Demirbağ

İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü

ÖZET Hazar Gölü, Elâzığ ve Sivrice arasında, dağların çevrelediği bir bölgede konumlanmış olmakla beraber Türkiye'nin en derin göllerinden biridir. Gölün tektonik özelliklerine dair fikir ayrılıklarından birisi, Hazar Gölü'nün sol yanal atımlı fay hattı olan DAF üzerinde pull-apart bir havza olduğu iken diğeri, gölün doğu kısmında dallanan ana fayın bir parçasının güneybatıya doğru hareket ederek bir çöküntü havzası oluşturmasıdır. Sürdürülmüş olan çalışmada bilinen fay dik kesecek doğrultuda hatlardan kesitler toplanmıştır. Göz önünde bulundurulan sismik hatlarda gözlenen faylar aktif olarak yorumlanmıştır ve bu yorumda etkili olan faktörler çökellerin güncel oluşu ve göl tabanını kesişi olarak gösterilmiştir. Hat 424 ve 815'in güneyinde gözlenen aktif fay ise aktif tektoniğin göl dibinde de sürekliliğini sürdürdüğünü okumamıza yardımcı olmuştur. Bu araştırmadan çıkarılan sonuçların, pull-apart modeli ile daha uyumlu olabileceği söylenebilir.
Anahtar Kelimeler: Hazar Gölü, GMT, Sismik Yansıma, Sivrice Depremi, Aktif Tektonizma.

ABSTRACT Hazar Lake is one of the deepest lakes in Turkey, although it is located in a region surrounded by mountains, between Elazig and Sivrice. One of the disagreements regarding the tectonic features of the lake is that Hazar Lake is a pull-apart basin on the EAF, which is the left-lateral strike-slip fault line, while the other is that a part of the main fault branching in the eastern part of the lake moves to the southwest to form a depression basin. In the ongoing study, sections were collected from the lines in the direction of perpendicular to the known fault. The faults observed in the considered seismic lines were interpreted as active, and the factors affecting this interpretation were shown as the current state of the sediments and the intersection of the lake floor. The active fault observed in the south of Line 424 and 815 helped us to read that the active tectonics continued at the bottom of the lake. It can be said that the results of this study may be more compatible with the pull-apart model.
Keywords: Hazar Lake, GMT, Seismic Reflection, Sivrice Earthquake, Active Tectonism.

1. BÖLGE JEOLOJİSİ VE TEKTONİK ÖZELLİKLERİ

1.1 Bölgenin Jeolojik Özellikleri

Hazar Gölü, Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan hafif sodalı ve tuzlu bir göldür. Tektonik bir göl olan Hazar Gölü'nün doğusunda ve güneybatısında Üst Neojene ve Kuvaternere ait eski göl birikintileri ve bugün zamanla gölün çekilmesiyle meydana gelen taraçalar mevcuttur.

Hazar Gölü havzasının temelini Pliyosen öncesi (Alt Pliyosen-Miyosen) kayalar oluşturmaktadır. Pliyokuvarterner çökelleri, Hazar Gölü havzasını sınırlayan fayların kontrolünde toplanmıştır; bunlar

Neotektonik birim olarak kabul edilir. Temel kayanın aşınma yüzeyleri, travertenler ile açısal uyumsuzluk göstermektedir (Tepeuğur ve Yaman, 2007).

Hazar Gölü, sol yanal atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) üzerinde yer almaktadır ve güneybatı- kuzeydoğu doğrultusunda uzanan tektonik bir göl olma özelliği taşır. Doğu Anadolu Fayı, Orta Miyosen'den itibaren faaliyetine devam etmektedir ve Türkiye neotektoniği açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Doğu Anadolu Fayı (DAF), ülkemizin deprem üreten en önemli fay sistemlerinden birisidir. Bu dönemde Doğu Anadolu Bölgesi sıkışma rejimi neticesinde deformasyona uğrayarak yükselmiştir. Sıkışmanın etkisiyle Anadolu levhası iki yanal atımlı fay boyunca batıya doğru hareket etmektedir. Bahsi geçen faylardan biri Kuzey Anadolu Fayı (KAF), diğeri ise Doğu Anadolu Fayı (DAF)'dır.

1.2 Bölgenin Sismotektonik Özellikleri

Hazar Gölü, bir yanal atımlı (sol yanal atımlı) fay havzasıdır. Bu havza, Hempton ve Dunne'e (1984) göre tipik bir çek-ayır (pull-apart) havzasıdır ve buna göre sol yanal atımlı DAF kuşağının Palu-Hazar Gölü segmenti ile Hazar Gölü-Sincik segmenti, Hazar Gölü'nün yerleştiği çöküntü alanında sol sıçramalı (left step-over) bir çek-ayır havza olarak oluştuğudur. Hazar Gölü ve çevresi sismik yönden oldukça aktif bir bölgedir. Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) kuzeye doğru hareket eden Arabistan levhası ile batıya doğru hareket eden Anadolu bloğu arasında ortalama 30 km genişlikte, ortalama 600 km uzunluğunda, kuzeydoğu gidişli bir sol yanal doğrultu atımlı transform sınırı meydana getirmektedir.

2. BÖLGENİN DEPREMSELLİĞİ VE DEPREM TARİHÇESİ

Tarihsel süreçte, Doğu Anadolu Fay Sistemi, 1900'lü yılların başına kadar birçok büyük depreme kaynaklık etmiştir. Özellikle 19. yüzyılda sismik olarak aktif bir dönem geçirmiştir. Tarihsel dönemde en son 1789 Palu-Bingöl depremi ile başlayan 1822, 1866, 1872, 1874, 1875, 1893 ve 1905 Malatya depremi ile devam eden bir seri dikkat çekmektedir (Demirtaş ve Erkmen, 2008).

2.1 24 Ocak 2020 Elâzığ– Sivrice Depremi

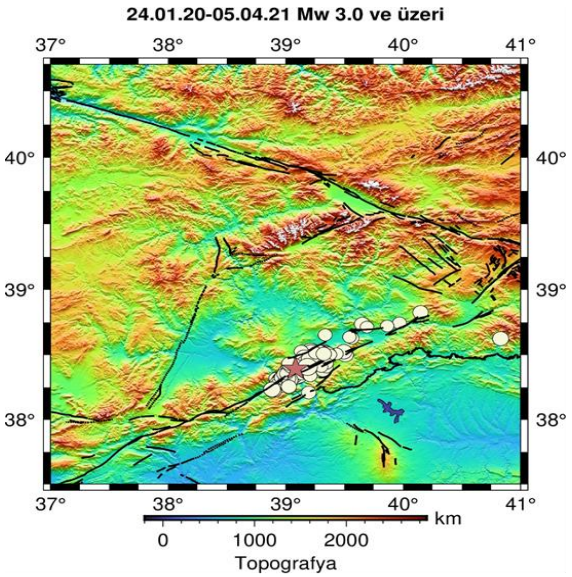
24 Ocak 2020 tarihinde, yerel saate göre 20.55'te, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) Bölgesel Deprem- Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi verilerine göre aletsel büyüklüğü Ml=6.6 (Mw=6.5), koordinatı 38.3775K 39.1042D olan Sivrice (Elâzığ) merkez üssünde çok şiddetli bir deprem meydana gelmiştir. Depremin odak derinliği yaklaşık 5 km olup sığ odaklı bir deprem olma özelliği taşımaktadır. Şekil 1'de yıldız simgesi ile temsil edilmiştir.

3. YAPILAN SİSMİK ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

3.1 Hazar Gölü ve Çevresinin Sismik Etkinliği

Sivrice Depremi'ne sebep olan fayın özelliğine bakıldığında DAFS'ne hâkim olan sol yanal atımlı fay mekanizmasına uyumlu olması beklenir. Bu amaçla, 24 Ocak 2020'de meydana gelen depremin ana şokundan hemen önce ve sonrası için çeşitli haritalar, odak mekanizma çözümleri de eklenerek Generic Mapping Tools (GMT) programı yardımıyla çizdirilmiştir. Bu haritalar aşağıda sırasıyla 23 Ocak 2020-24 Ocak 2020 arasında gerçekleşen Mw=3.0 ve üzeri depremler, 23 Ocak 2020-24 Ocak 2020 arasında gerçekleşen Mw=4.0 ve üzeri depremler, bölgenin yakınlaştırılmış versiyonları (Hazar Gölü, DAFS ve gölün güneybatı kısmını içine alacak şekilde), 24 Ocak 2020- 5 Nisan 2021 tarihleri arasında gerçekleşen Mw=3.0 ve üzeri ve Mw=4.0 ve üzeri depremlerle odak çözümleri gösterilmiştir. Odak mekanizma çözümleri, KRDAE'den alınan moment tensör çözümü verisine dayanarak (23 Ocak 2020- 13 Şubat 2021 tarihleri arasındaki verileri içermektedir) yakınlaştırlmış haritalara eklenmiştir ve bu bölümdeki her haritada

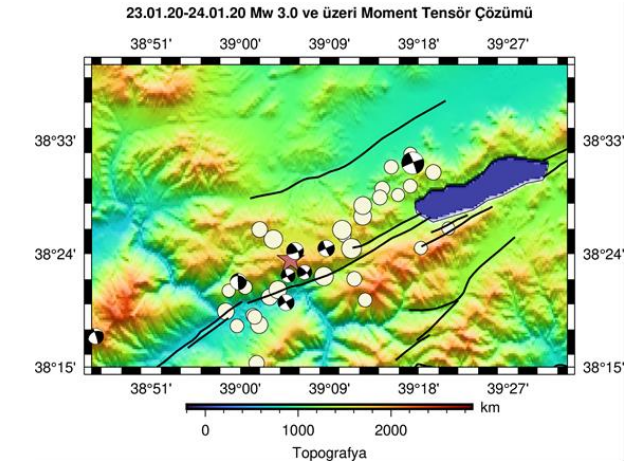
yıldız işareti 24 Ocak 2020 Sivrice Depremi'ni temsil etmektedir.



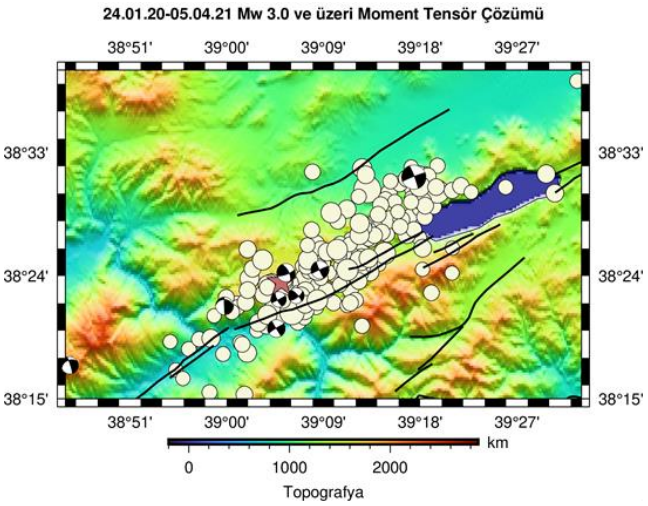
Şekil 1. 24 Ocak 2020- 5 Nisan 2021 arasında gerçekleşen Mw=3.0 ve üzeri depremler (uzak versiyonu) (Deprem bilgileri KRDAE'den alınmıştır.)

3.1.1 Hazar Gölü ve Çevresinin Sismik Etkinliği Çıkarımları

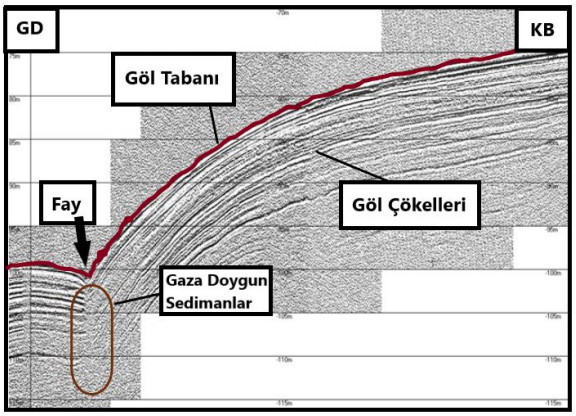
Sivrice Depremi'ne sebep olan fayın özelliğine bakıldığında DAFS'ne hâkim olan sol yanal atımlı fay mekanizmasına uyumlu olması beklenir. Bu amaçla, 24 Ocak 2020'de meydana gelen depremin ana şokundan hemen önce ve sonrası için çeşitli haritalar, KRDAE'den alınan depremve moment tensör çözümü verileriyle birlikte odak mekanizma çözümleri de eklenerek Generic Mapping Tools (GMT) programı yardımıyla çizdirilmiştir.



Şekil 2. 23 Ocak 2020-24 Ocak 2020 Mw= 3.0 ve üzeri depremler ve odak mekanizma çözümü (yakın versiyonu)



Şekil 3. 24 Ocak 2020- 5 Nisan 2021 Mw= 3.0 ve üzeri depremler ve odak mekanizma çözümü (yakın versiyonu) (Deprem bilgileri ve odak mekanizma çözüm verileri KRDAE'den alınmıştır.)



Şekil 5. 815 nolu sismik hat yorumu

4. SONUÇLAR

DAFK'nin morfolojik izleri Hazar Gölü çevresinde oldukça belirgindir. Değerlendirilen sismik kesitlerde göl tabanında boydan boya birbirine paralel uzanan birden fazla fay kolu görülememektedir. Bu durum Aksoy ve diğ. (2007) tarafından öne sürülen modeli tam olarak desteklememektedir. Öte yandan gölün ortasından geçen sismik kesitlerde güney kıyıya yakın gözlemlenen aktif fay kolu nedeniyle Hempton ve Dunne (1984) tarafından öne sürülen çek-ayır sistemi de geçerli olabilir. 24 Ocak 2020 tarihinde gerçekleşen Elâzığ-Sivrice Depremi merkeze alınarak KRDAE'den alınmış deprem kayıtları incelenip haritalandığında ana şok sonrasında moment büyüklüğü 3.0 ve üzeri deprem lokasyonlarının, Hazar Gölü'nde

yapılan sismik çalışma sonuçlarına paralellik gösterdiği görülmektedir. Gölün kuzeydoğu ve orta kesimlerinde gözlemlenen aktif faylanmanın o bölgede depreme neden olabileceği söylenebilir. 815 numaralı sismik hat doğrultusundaki ölçümlerde rastlanan aktif faylanma o bölgede 2007 ve 2020 Sivrice Depremi sonrası dönemlerde, moment büyüklükleri 3.0 ve üzeri depremlere sebebiyet verdiği sonucu çıkarılabilir.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın tüm aşamalarında rehberliğini, desteğini ve hoşgörüsünü hiç esirgemeyen sevgili ve çok değerli danışmanım Prof. Dr. Emin Demirbağ'a, Arş. Gör. Nedim Gökhan Aydın'a ve Arş. Gör. Ceyhun Erman'a, lisans eğitimim boyunca bana yol göstermiş, rehberlikleri sayesinde mesleki birikimimin arttığı hem akademik hem de manevi anlamda yardımlarını ve desteklerini hiç esirgemeyen akademik danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Caner İmren'e ve Doç. Dr. Tuna Eken'e; araştırma kısımlarındaki katkılarından ötürü arkadaşlarım Barış Yücetürk ve Ahmet Çelik'e; her zaman her konuda destekçim olan Mert Yağlıöz'e, aileme ve yakın zamanda kaybettiğim ablama bana öğrettiği her şey için çok teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Aksoy, E., Inceoez, M., & KOÇYİĞİT, A. (2007). Lake Hazar basin: A negative flower structure on the east anatolian fault system (EAFS), SE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, *16*(3), 319-338.

Hempton, M. R., & Dunne, L. A. (1984). Sedimentation in pull-apart basins: active examples in eastern Turkey. *The Journal of Geology*, *92*(5), 513-530.

Kartal, R. F., Kadiroğlu F. T., & Demirtaş, R. Sismotektonik ve Jeodezik Veriler Işığında 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ (Mw= 6.8) Depreminin Değerlendirilmesi.

Tepeuğur, E., Yaman, M., 2007. "21 Şubat 2007 Sivrice (Elâzığ) Deprem Raporu", Rapor no: 5690-1. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Sismoloji Şube Müdürlüğü.

PhaseAPpy Algoritması Kullanılarak Deprem Fazlarına Ait Varış Zamanlarının Otomatik Olarak Tespit Edilmesi

Automatic Detection of Arrival Times of Earthquake Phases Using PhaseAPpy Algorithm

M. Koşar, G. Örgülü
(İstanbul Teknik Üniversitesii, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul)

ÖZET Dünya üzerinde her gün birçok deprem meydana gelmektedir, bu deprem verilerinin çözümünü yapmak oldukça meşakkatli bir süreçtir. Ayrıca bu faz seçimleri oldukça öznel olabilmektedir, bu nedenle faz varış sürelerinin seçiminde tutarsızlıklar olabilmektedir. Yanlış yapılan faz seçimleri ile depremin konumunun tespit edilmesi ve odak mekanizması analizleri gibi birçok analiz yanlış hesaplanabilir ve yorumlanabilir. Çeşitli algoritmalar ile otomatik faz seçicileri üretilerek bu öznelliğin ve iş yükünün önüne geçilmeye çalışılmıştır. Üretilen farklı algoritmalara bağlı olarak birçok otomatik faz seçici mevcuttur. Bu çalışmada bu faz seçicilerden biri olan Python tabanlı PhasePApy algoritması incelenmiştir. PhasePApy algoritması iki farklı alt pakete sahiptir. Bunlardan biri faz seçici olarak çalışan PhasePicker diğeri ise faz tiplerinin ilişkilendirmek amacıyla oluşturulmuş olan Associator. Bu tezin asıl araştırma konusu olan PhasePicker algoritmasının alt paketinde karakteristik fonksiyona bağlı olarak üç otomatik seçici yer almaktadır: Frekans Bandı, Akaike Bilgi Kriteri Türev ve Basıklık Seçicileri. Tüm bu seçiciler örnek veri seti üzerinde test edilmiştir.

ABSTRACT There are many earthquakes in the world every day, and it is a very difficult process to solve these earthquake data. In addition, these phase selections can be quite subjective, so there may be inconsistencies in the selection of phase arrival times. Many analyzes such as determining the location of the earthquake and focal mechanism analyzes can be miscalculated and interpreted with incorrect phase selections. By producing automatic phase pickers with various algorithms, this subjectivity and workload have been tried to be avoided. There are many automatic phase pickers available depending on the different algorithms produced. In this study, the Python-based PhasePApy algorithm is examined. PhasePApy algorithm has two different sub-packages. One of them is PhasePicker, which works as a phase picker, and the other is Associator, which was created to associate phase types. The sub-package of the PhasePicker algorithm, which is the main research subject of this thesis, includes three automatic selectors depending on the characteristic function: Frequency Band, Akaike Information Criteria Derivative, and Kurtosis Pickers. All these pickers have been tested on the sample dataset.

1 GİRİŞ

Bir deprem meydana geldiğinde, sismik dalgalar üretir. Bu titreşim dalgaları, sismograflar aracılığı ile uzak mesafelerde dahi kaydedilebilir. Depremleri incelemek, yerin özellikleri ve mevcut fay yönelimi gibi zeminin daha iyi anlaşılması için çok önemlidir. Depremlerin P ve S dalgası varış zamanlarını otomatik olarak seçebilen algoritmalar için birçok farklı yaklaşım önerilmiştir. Bu tezin amacı; sismik fazların otomatik olarak varış zamanlarının tespit

edilmesi ve fazların tanımlanmasını sağlayan PhasePApy Python tabanlı paket kodunun incelenmesidir. Bu programın birlikte veya ayrı ayrı çalışabilen iki alt paketi vardır: faz varış zamanlarını tanımlamayı amaçlayan PhasePicker ve bu varış zamanlarını faz tipleriyle (P dalgası veya S dalgası) ilişkilendirmeyi amaçlayan Associator. PhasePicker alt paketinde karakteristik fonksiyona bağlı olarak üç otomatik seçici yer almaktadır. Öncelikle bu algoritmanın çalışma prensibi açıklanacak, ardından örnek veri seti hakkında bilgi verilecek ve elde edilen sonuçlar sunulacaktır.

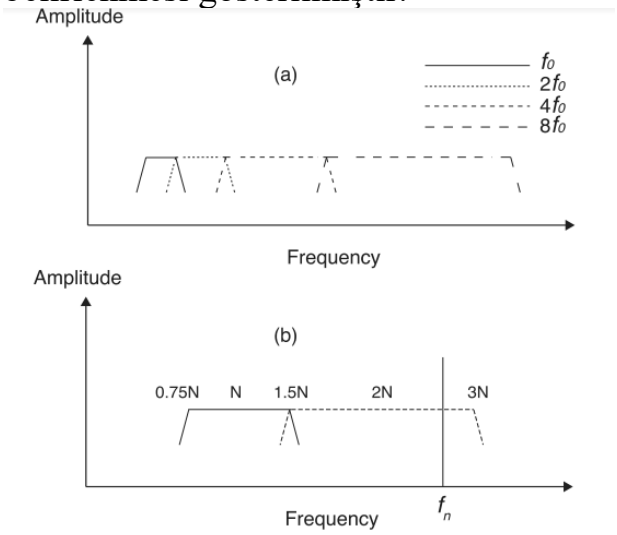
2 P VE S FAZLARININ VARIŞ ZAMANI ANALİZİ

PhasePicker yazılımı sismogramlardan gelen faz dalgası varış zamanlarını tespit amacıyla yazılmış Python tabanlı paket kodudur. algoritma 3 farklı alt pakete sahiptir ve bu alt paketler faz varış zamanı seçicisi açısından farklı kriterlere sahiptir: Frekans Bandı Seçicisi (Frequency-band Picker), Akaike Bilgi Kriteri Türev Seçicisi ve Basıklık Seçicisi (Kurtosis Picker)

2.1 Frekans Bandı Seçicisi (FBPicker)

Frekans bandı seçici, filtrelenmiş verilerin enerji oranına dayalı seçimler yapmak için tasarlanmıştır, örnekleme hızına ve cihaz kazancına sistematik olarak uyum sağlar. Bu seçici, Lomax ve diğerlerinin (2012) sunduğu algoritmadan üretilmiştir. Frekans bandı seçicisi herhangi bir seçim işleminden önce veri setinin ortalamasını ve trendini en küçük kareler yöntemiyle veri setinden çıkarır. Verilerin merkezi frekansının ikiye katlandığı bir filtre olan oktav filtresini uygular. Her bir ardışık frekans bandının merkezi frekansı, bir sonraki bandın üst sınırı Nyquist frekansını aşana kadar iki katına çıkmaya devam eder. Bu bant sayısı analist tarafından Nyquist frekansı azaltılarak azaltılabilir. 2012 yılında Lomax ve diğ. FBPicker olarak adlandırdıkları frekans bandı seçicilerini tasarlarken her bir bant için filtrelenmiş verilerin enerjisini hesaplamışlardır. Oktav filtresinin frekans bantlarının belirlenmesi için öncelikle bir bandın merkezi frekansı önceki bandın iki katına çıkarılır. Son bandın yüksek frekansı Nyquist frekansı (fN) aşamaz.

Şekil 1' de FBPicker algoritmasında kullanılan oktav filtresi ve frekans bantlarının Nyquist frekansı kullanılarak belirlenmesi gösterilmiştir.



Şekil 1. Oktav filtresi için frekans bantlarının belirlenmesi.

2.2 Akaike Bilgi Kriteri Türev Seçicisi (AICDPicker)

AIC Seçicisi, AR modelleme tekniği kullanılarak genellikle P dalgalarının varış zamanının tahmin edilmesi için sıklıkla kullanılmıştır. AR katsayılarını (am) hesaplamak için sismogram verisi iki pencereye ayrılır, potansiyel pik olarak seçilen K+1 noktasından [M+1, K] ve [K+1, N-M] şeklinde iki ayrı pencere olarak zaman serilerine bölünür. Sismik kaydın bu iki zaman dilimine ilişkin özellikler birbirinden farklı olduğunda AR derecesi ve katsayıları değişecektir.

K durağan iki zaman serisinin birbirinden ayrıldığı noktadır. Bu nedenle K+1 iki zaman serisi arasındaki değişim noktası yani faz varış zamanı anlamına gelmektedir. Bu iki ayrı pencere için varyans hesaplanır. Bu varyanslar potansiyel pikten öncesi ve sonrası için hesaplanır. Hesaplanan

varyanslar birbiri ile karşılaştırılır. Bu varyanslarda deprem dalgası ile büyük genlikler ortaya çıktığı için ani bir değişim söz konusu olur ve bu farklar karakteristik fonksiyonda ani değişime sebebiyet verdiğinden deprem fazının kayıtçıya varış zamanı hakkında bilgi vermektedir. K zamanında ikiye bölünen zaman serilerinin birleştirilmesiyle elde edilen AIC fonksiyonu aşağıda Eşitlik (1)'de verildiği gibidir.

$$AIC(K)=(K-M)\ \log(\sigma^2_{1,max}) + (N-M-K)\ \log(\sigma^2_{2,max}) + C_2) \quad (1)$$

Gürültü oranı düşük sismogramlarda AIC değeri birden fazla lokal minimum değeri verebilmektedir (Zhang ve diğ., 2003). Ancak AIC fonksiyonun en küçük değeri genellikle doğru P varış zamanını göstermektedir. Yüksek S/N oranı AIC fonksiyonunun da yüksek doğrulukla çalışmasını sağlar. AIC seçici, AIC fonksiyonun minimum noktasını kullanarak kolaylıkla faz başlangıcını belirleyebilir. Ancak S dalgasının faz başlangıç tespiti için bu yeterli değildir. AIC fonksiyonun birinci türev fonksiyonunun mutlak değeri AICD (AIC function derivative) olarak adlandırılır ve AICD-Picker algoritmasının temelindeki karakteristik fonksiyon için bu fonksiyon kullanılır.

2.3 Basıklık Seçicisi (KTPicker)

Basıklık, belirli bir dağılımın şeklini karakterize eden, değişkenin yüksek dereceli istatistiklerini tanımlayan bir değerdir. Bir sismogramın karakteristik fonksiyonu olarak kullanılabilen ölçüm konsantrasyonunun derecesini tanımlar. Sismik bir sinyali karakterize etmek için basıklık zaman serisi boyunca hareketli bir pencere olarak veriye uygulanır. Basıklık K olarak gösterilir.

$$K=\mu_4/\sigma^4 \quad (2)$$

μ4 ortalamanın dördüncü momentidir ve σ standart sapmadır. Basıklık değeri, Gauss dağılımı için 3'tür. Sismik dalga başlangıçları, basıklığı hızla arttırır, bu nedenle başlangıç zamanlarını doğru bir şekilde seçmek için kullanılabilirdir.

K > 3 değerleri Gauss dağılımına kıyasla daha yüksek bir tepe noktası ile sonuçlanırken, K < 3 değerleri Gauss dağılımından daha düşük bir tepe noktası ile sonuçlanır. Bu nedenle basıklık, diğer algoritmaların aksine SNR yerine sinyalin şekline göre karakterize olur ve düşük SNR oranına sahip sinyallerde de yüksek başarı gösterir.

3 ASSOCIATOR

Associator algoritması, PhasePicker aşamasında tanımlanmış olan faz varış seçimlerini kullanır. Associator algoritmasının alt paketinde iki ilişkilendirici vardır: 1D Associator ve 3D Associator. Her iki alt paket de deprem konumunu belirlemek, yerelde ve genel olarak bölgede kaydedilen depremler için fazları ilişkilendirmek amacıyla kullanılmaktadır.

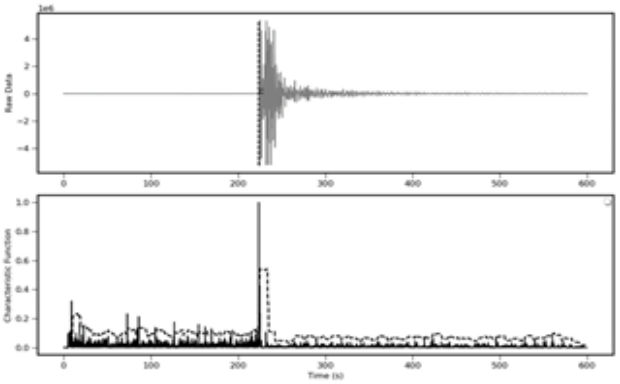
4 ÖRNEK VERİ SETİNİN UYGULANMASI

Bu tezde ele alınan Python tabanlı PhaseAPpy algoritmasının alt paketlerinden biri olan PhasePicker algoritması Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde Malatya ilinin 3.3 km doğusunda 4 Ağustos 2020 tarihinde meydana gelen 5.7 büyüklüğündeki deprem kaydının iki farklı istasyondaki kaydı kullanılarak test edilmiştr. Deprem kayıtları KOERI'ye ait SVRC (Elazığ-Sivrice) ve ILIC (Erzincan-İliç) istasyonlarından elde edilmiştir. Elde edilen sismik kayıtlarda sismik dalgaların istasyonlara varış süresi okunmuş ve aşağıda Çizelge (1)'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Faz okumaları.

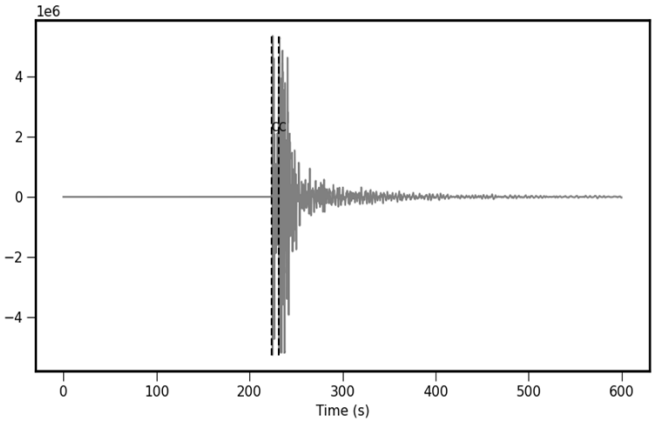
Faz / İstasyon Adı	P	S
SVRC – Sivrice	09:37:44.3	09:37:51.0
ILIC – İliç	09:37:57.8	09:38:15.4

4.1 FBPicker Algoritması ile Verilerin İşlenmesi



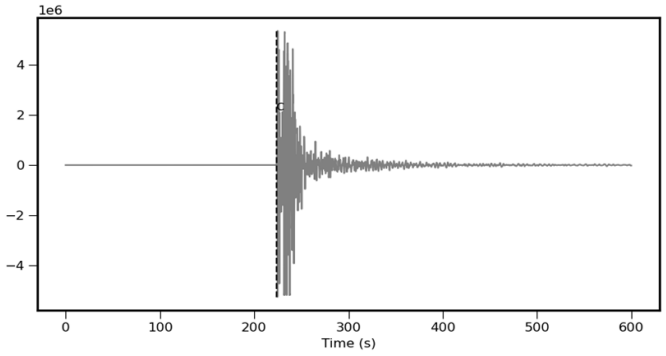
Şekil 2. FBPicker ile elde edilen SVRC istasyonuna ait kayıtta faz okuma (BHZ kanalı).

4.2 AICDPicker Algoritması ile Verilerin İşlenmesi



Şekil 3. AICDPicker ile elde edilen SVRC istasyonuna ait kayıtta faz okuma (BHZ kanalı).

4.3 KTPicker Algoritması ile Verilerin İşlenmesi



Şekil 4. KTPicker ile elde edilen SVRC istasyonuna ait kayıtta faz okuma (BHZ kanalı).

5 VERİ SETİ UYGULAMASINDAN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Çizelge 2. SVRC istasyonunda elde edilen özet sonuçlar.

Faz Varışı	FBPicker	AICDPicker	KTPicker
09:37:44.3	09:37:43.48	09:37:43.52	09:37:43.5
09:37:51.0		09:37:51.16	

Çizelge 3. ILIC istasyonunda elde edilen özet sonuçlar.

Faz Varışı	FBPicker	AICDPicker	KTPicker
09:37:44.3	09:37:43.48	09:37:43.52	09:37:43.5
09:37:51.0		09:37:51.16	

Ayrıca FBPicker algoritmasının sismogramdaki üç farklı kanala ait verilere uygulanması sonucunda; BHZ veBHE kanalları aynı sonuçla 09:37:43.48'i potansiyel bir pik olarak çözümlerken, BHN kanalı 09:37:43.52 zamanını bir pik olarak değerlendirmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde S dalgasının yalnızca AICDPicker algoritması ile yüksek doğrulukla tespit edilebildiğini, P dalgasının ise üç seçici ile de yaklaşık olarak aynı tespit edilse de analistler tarafından okuması yapılmış değere en yakın okumayı AICDPicker algoritması yapmıştır. Onu KTPicker ve ardından FBPicker takip etmiştir. ILIC istasyonundan elde edilen sonuçlar ise Çizelge (3)'te sunulmuştur.

KAYNAKLAR

[1] Akaike, H. (1974). Markovian representation of stochastic processes and its application to the analysis of autoregressive moving average processes, Annals of the Institute of Statistical Mathematics 26, no. 1, 363-387

[2] Chen Chen, Austin A. Holland; PhasePApy: A Robust Pure Python Package for Automatic Identification of Seismic Phases. Seismological Research Letters 2016;; 87 (6): 1384–1396. doi: https://doi.org/10.1785/0220160019

[3] Lomax, A., C. Satriano, and M. Vassallo (2012). Automatic picker developments and optimization: FilterPicker—a robust, broadband picker for real-time seismic monitoring and earthquake early warning, Seismological Research Letters 83, no. 3: 531-540, doi:10.1785/gssrl.83.3.531.

Malatya Depremi (04 Ağustos 2020, Mw 5.7) İçin Yerel Büyüklük (ML) Hesaplanması

Local Magnitude (ML) Estimation for Malatya Earthquake (04 August 2020, Mw 5.7)

S.Dirinda, Doç.Dr.G.Örgülü
İstanbul Teknik Üniversitesi,Jeofizik Mühendisliği Bölümü,İstanbul

ÖZET

Yerel manyitüd(M_L),Wood Anderson sismografı olarak bilinen belirli bir sismografta ölçülen S dalgası fazınının genliği kullanılarak ampirik bir bağıntı yardımı ile tahmin edilir. Bununla birlikte her sismograf cihazının da aynı Wood Anderson sismografının olduğu gibi kendisine has bir alet etkisi bulunmaktadır.Bu sebeple günümüzde M_L büyüklüğünün hesaplanabilmesi için ölçülen genliğin Wood Anderson sismografına simüle edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Doğu Anadolu bölgesinde meydana gelen bir deprem kullanılmıştır. Bu deprem 4 Ağustos 2020 tarihinde, orjin zamanı 09:37:37 (UTC) olan ve moment mantitüdü M_W=5.7 olarak rapor edilen deprem Malatya ilinin 3.3 km güney doğusunda meydana gelmiştir. Bu depremin yerel büyüklük (M_L) değerinin hesaplanabilmesi amacıyla depremin kayıt edildiği sismometrelerin alet etkisi kaldırılmış ve Wood Anderson sismografının alet etkisi eklenmiştir.Yerel büyüklükler, ampirik bağıntı kullanılarak yatay bileşenlerin maksimum genliklerinden, mesafeye göre hesaplanmıştır. Sonrasında Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) tarafından rapor edilen büyüklük türlerinden biri olan moment büyüklük, M_W ile karşılaştırılmıştır.

ABSTRACT

The local magnitude (M_L) is estimated with the help of an empirical relation using the amplitude of the S wave phase measured in a particular seismograph known as the Wood Anderson seismograph. However, each seismograph device has its own instrument effect, just like the Wood Anderson seismograph. Therefore, in order to calculate the M_L magnitude, the measured amplitude must be simulated to the Wood Anderson seismograph. In this study, an earthquake occurred southeast of Malatya in eastern Anatolia was used. This earthquake occurred on August 4, 2020, with an origin time of 09:37:37 (UTC) and a moment magnitude of M_W=5.7. This event was recorded by 22 stations located between local and regional distances. In order to calculate the local magnitude (M_L) of this earthquake, the instrument effect of each seismometer of stations in which the earthquake was recorded was removed and the instrument effect of the Wood Anderson seismograph was added. Maximum amplitudes were measured from horizontal components of stations. In terms of estimated epicentral distances and maximum amplitudes, local magnitudes were estimated from an empirical relation. Then, it was compared with one of magnitude types, moment magnitude M_W that was reported by Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI).

1 GİRİŞ

Depremin konumunun yanı sıra ; bir depremi karakterize etmek,deprem tarafından salınan sismik moment ve sismik enerjinin tahmin edilmesi ve depremin kaynak spektrumu hakkında önemli bilgiler edinilmesini sağlamak amacıyla kullanılan başlıca parametre büyüklüktür. Mevcut kullanımdaki çeşitli büyüklük ölçekleri arasında en çok tercih edilen ise içlerinde en eski olan yerel büyüklük,M_L'dir ve Wood Anderson burulma sismografı tarafından kaydedilen genlikten ölçülerek çeşitli ampirik bağıntılarla hesaplanmaktadır.Ancak M_L büyüklüğünün hesaplanabilmesi için gerekli olan Wood Anderson sismografının artık kullanılmamasından ve günümüzde kullanılan sismografların kendine has alet etkileri olmasından dolayı yapılan kayıtların yerel büyüklüklerinin bulunabilmesi için bu kayıtların Wood Anderson sismografına simüle edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Doğu Anadolu bölgesinde gerçekleşen bir depremin çeşitli istasyonlardaki kayıtları python tabanlı bir program ile alınarak alet etkisi gideriltikten ve Wood Anderson sismografına simüle edildikten sonra elde edilen yerel büyüklük (M_L) değerleri hesaplandı ve KRDAE tarafından rapor edilen büyüklük türlerinden biri olan moment büyüklüğü M_w ile karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2 BÜYÜKLÜK VE MOMENT

2.1 Büyüklük Ölçekleri

Büyüklük ölçekleri için genel formül:

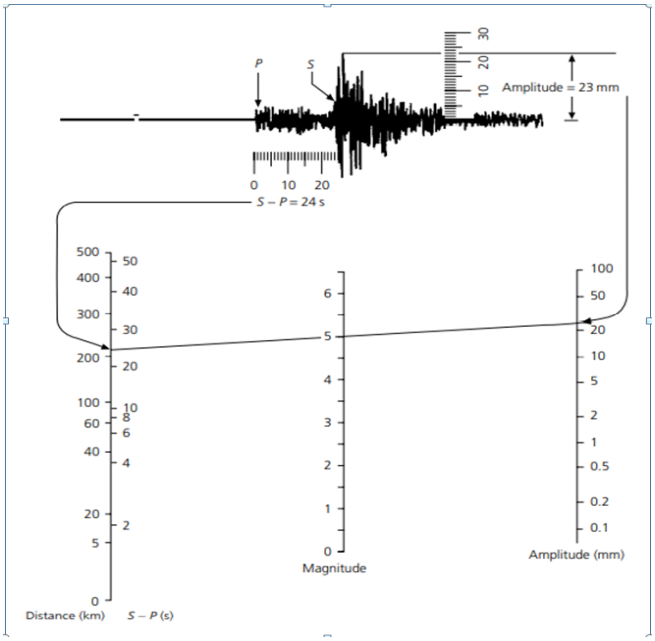
$$M = \log(A/T) + F(h, \Delta) + C \quad (1.1)$$

A, sinyalin genliği ;T , baskın periyodu; F ise depremin sismometreden olan uzaklığına (Δ) ve derinliğine (h) bağlı olarak genlik değişimleri için uygulanan bir düzeltmedir. C ise bölgesel bir ölçek faktörüdür.

2.2 Yerel Büyüklük (M_L)

P ve S dalgalarının varış sürelerindeki farktan elde edilen,en büyük varışın büyüklüğü (genellikle S dalgası), kaynak ile alıcı arasındaki mesafe için ölçülür ve düzeltilir.Şekil 1 de genlik ölçümü gösterilmiştir. Güney Kaliforniya'daki depremler için tanımlanan ölçek,

$$M_L = \log A + 2.76 \log \Delta - 2.48 \quad (1.2)$$



Şekil 1.ML büyüklüğü için Richter Ölçeği

3 OBSPY

3.1 Çalışma Prensibi ve Genel Kullanımı

ObsPy, genel olarak sismolojik yazılım paketlerinin ve iş akışlarının geliştirilmesini kolaylaştırmak, bu yetenekleri kullanmak ve daha büyük bilimsel Python ekosistemine bir köprü sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. ObsPy, çok sayıda dosya formatı dönüştürücüsünün yerini alarak sismolojik topluluk içinde yaygın olarak kullanılan tüm dosya formatları (seed, miniseed, SAC,GSE, ASCII, SEISAN, Seismic Unix, Seismic Handler) için okuma ve yazma desteği sağlamaktadır.

3.2 Çalışmada Tercih Edilme Amacı

Bu kapsamlı desteğine ek olarak, sismologlar arasında yaygın olan bir jargonu kullanan sinyal işleme rutinleri sunmaktadır. Diğer bir önemli özelliği ise, dünya çapında çok çeşitli sismik veri merkezleri tarafından dağıtılan

verilere entegre erişim sağlayabilmesidir. . Bu çalışmada ObsPy , alet etkisinin giderilmesi ve Wood Anderson kayıtlarına simüle edildikten sonra, elde edilen yeni kayıtların daha kısa bir pencere uzunluğunda çizdirilmesi ve maksimum genliklerin okunması gibi amaçlar için veri işlem aşamasında kullanılmıştır.

4 VERİ İŞLEM ÇALIŞMALARI

Çalışma kapsamında bilgisayar ortamında simülasyon yapmak ve hedeflenen sonuçları elde etmek amacıyla Python tabanlı yazılan bir program kullanılmıştır. Bu programda Obspy yazılımının kütüphanelerinden yararlanılmıştır.İncelenen depreme ait çeşitli merkezlerden sismik dalga kayıtları KRDAE'nin veri tabanından elde edilmiştir.
İlk olarak elde ettiğimiz sismik dalga kayıtlarından alet etkisi giderilmiştir ve istasyonun hemen altındaki ground motion olarak bilinen ham veri elde edilmiştir. Sonrasında ise alet etkisinden kurtarılmış ham veriye python üzerinde yazılı bir şekilde hazır olan Wood Anderson sismografının alet etkisi eklenir. Böylelikle ObsPy üzerinden elde ettiğimiz ilk sismik dalga kayıtları sanki Wood Anderson sismografi ile kaydedilmiş gibi simüle edilmiştir.
Depremin istasyonlardan olan episantır uzaklıkları python programının içerisinde hesaplanır ve çalışmada kullanılan 22 istasyonun verisinden elde edilen maximum S dalgası genlikleri ve hesaplanan episantır uzaklıkları kullanılarak yerel büyüklükler hesaplanır. M_L değeri hesaplanması yapılırken;

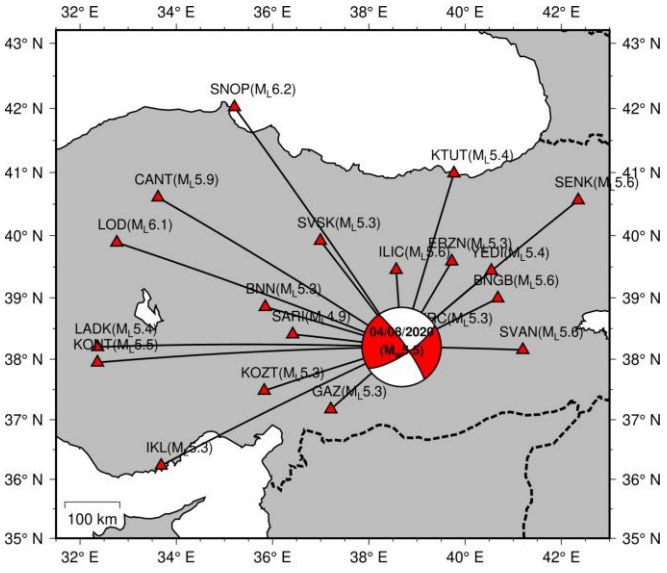
$$M_L = Log_{10}(amp*1000) + a*epi_dist + b \quad (1.3)$$

denklemi kullanılır.Bu denklemde genlik yer değiştirmeye çevrildiğinden dolayı birimi metredir. Ancak M_L bağıntısında maksimum genliğin birimi milimetre olduğu için genlik değeri milimetreye dönüştürülmek amacı ile "1000" ile çarpılır. Denklemdeki "a" ve "b" değerleri deprem episentrının kayıt alınan istasyona uzaklığının 60 km'den daha yakın veya uzak olmasına göre değişiklik göstermektedir. Her bir istasyon için elde edilen yerel büyüklükler Tablo 1'de verimiştir.

İstasyon	M_L	Mesafe(km)	Azimut(°)
SVRC	5.33	58.2	70.0
ILIC	5.66	139.3	356.0
GAZ	5.38	172.7	229.1
ERZN	5.33	178.5	30.0
BNGB	5.59	195.0	62.6
SARI	4.98	199.1	277.3
YEDI	5.38	212.3	49.0
SVAN	5.60	220.7	90.6
SVSK	5.32	240.1	323.0
BNN	5.30	257.4	287.2
KOZT	5.29	263.5	253.2
VRTB	6.19	263.9	65.3
TAHT	5.56	299.8	228.2
KTUT	5.46	323.1	16.4
CHOM	5.63	367.8	28.3
SENK	5.61	410.7	49.1
IKL	5.27	493.9	245.3
CANT	5.98	511.0	303.0
SNOP	6.18	517.1	326.1
LOD	6.10	545.2	291.9
LADK	5.45	553.0	271.9
KONT	5.57	555.1	269.0

Tablo 1. 4 Ağustos 2020 depremini kayıt eden istasyonlar için elde edilen yerel büyüklük M_L değerleri

Bu tabloya göre istasyonlar için elde edilen yerel büyüklükler 4.98 ile 6.19 arasında değişmektedirSonuç olarak, 04 Ağustos 2020 tarihinde meydana gelen Malatya depreminin sismik ağa özgü verilen yerel büyüklük M_L 5.51 olarak hesaplanmıştır. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü bu depremin moment büyüklüğünü M_w=5.7 olarak hesaplamıştır.



Şekil 2. M_L değerlerinin harita üzerinde dağılımı

5 SONUÇLAR

Bu çalışmada Doğu Anadolu bölgesinde gerçekleşen bir depremin yerel büyüklük (M_L) değeri hesaplanmış ve M_W değeri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler Tablo-1'de listelenmiştir. Depremin hesaplanan M_L değerlerinin medyanı alnarak bu depreme ait yerel büyüklük M_L =5.51 olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada hesaplanan M_L değeri KRDAE tarafından rapor edilen moment büyüklük (M_w 5.7) ile karşılaştırıldığında, büyüklükler arasında 0.2 birim farklılık bulunmaktadır. Bu depremin moment büyüklüğü bu çalışma kapsamında danışmanım tarafından M_w=5.52 olarak hesaplanmıştır. Yerel büyüklük ile bu çalışmada elde edilen moment büyüklük arasındaki fark 0.01 civarındadır. Depremin kayıt edildiği istasyonun episentra uzaklığı gibi kayıt alınan sismografın altındaki sediman tabakasının da dalgaların frekans içeriğinin ve genliğinin değişmesinde etken olmakla birlikte yerel büyüklük M_L değerinin daha büyük veya daha küçük ölçülmesine neden olmuş olduğunu söyleyebiliriz. Bu sonuçlar çalışma kapsamında incelenmiş olan 04/08/2020 tarihli Malatya depreminin Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsünün veri tabanında bulunan M_w =5.7 değerine de oldukça yakındır.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının planlamasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgisini ve desteğini esirgemeyen sayın hocam Doç.Dr. Gonca Örgülü'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesinde üzerimde emeği geçmiş tüm öğretim üyelerine samimi davranışları ve bizlere sağladıkları bilgi birikimi için teşekkür ederim. Son olarak, tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

KAYNAKLAR

[1] Kanamori,H., Jennings,P.(1978); Determination of local magnitude, M_L, from strong-motion accelerograms. *Bulletin of the Seismological Society of America* 1978;; 68 (2): 471–485.

[2] Bormann,P., Saul J. (2014) Earthquake Magnitude. In: Meyers R. (eds) Encyclopedia of Complexity and Systems Science. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27737-5_151-2

[3] Boore,D.(1989),The Richter scale: its development and use for determining earthquake source parameters,Tectonophysics,Volume 166, Issues 1–3,1989,Pages 1-14,ISSN 0040-1951,https://doi.org/10.1016/0040-1951(89)90200-X.

[4] Munafò,I., Malagnini, L.,Chiaraluce, L. (2016);Bulletin of the Seismological Society of America 106 (5): 2402–2408.https://doi.org/10.1785/0120160130

[5] Stein,S.,Wyesession,M.,(2003), An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure,Blackwell Publishing Ltd.

[6] Megies, T., Beyreuther, M., Barsch, R., Krischer, L., & Wassermann, J. (2011). ObsPy – What can it do for data centers and observatories?. Annals of Geophysics, 54(1), 47–58. https://doi.org/10.4401/ag-4838

[7]Krischer,L.,Megies,T.,Barsch,R.,Beyreuther,M.,Lecocq,T.,Caudron,C.,Wassermann,J., (2015). ObsPy: A bridge for seismology into the scientific Python ecosystem. Computational Science & Discovery. 8. 014003. 10.1088/1749-4699/8/1/014003.

[8]Krischer,L.,Megies,T.,Barsch,R.,Beyreuther,M.,Lecocq,T.,Caudron,C.,Behr,Y.,Wassermann,J., (2010). ObsPy: A Python Toolbox for Seismology. Seismological Research Letters. 81. 530-533. 10.1785/gssrl.81.3.530.

Balıkesir Dursunbey-Demirboku Sırtı Sahası IP Yöntemi İle Kurşun Aramaları

Exploration of Lead (Pb) Ore with IP method at Balıkesir Dursunbey-Demirboku Field

O. Arıcı, Ü. Avşar

İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Balıkesir Dursunbey-Demirboku Sahasında yapılan IP çalışması sonucunda bölgede bulunabilecek kurşun (Pb) cevherlerinin konumunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla N 32° doğrultulu 17 profil üzerinde elektrot açılımı 40 m ve birbirini takip eden ölçü noktaları arasındaki uzaklık ise 20 m alınarak 464 noktada (n) (1, 2, 3, 4) değerlerini almak üzere 3304 nokta ölçü alınmıştır. Çalışmada dipol-dipol elektrot dizilimi kullanılmıştır. Ölçümler ile elde edilen veriler RES2DINV yazılımı ile değerlendirilmiş ve her bir profil için iki boyutlu ters çözüm yapılarak profiller boyunca yer elektrik özdirenç, metal faktör ve yüzde frekans etkisi değerleri elde edilmiştir. Ölçülen değerlerden elde edilen ters çözüm sonuçları ve cevherleşmenin bölgesel dağılımını görebilmek için çeşitli seviyelerde hazırlanan kat haritaları birlikte yorumlanmıştır. IP çalışması sonucunda elde edilen anomalilerin ortak özelliği, anomali bölgesinin batı ve kuzeybatıda Z, T ve V profillerine denk gelen bölgelerin dışında genel olarak düşük özdirenç ve yüksek metal faktör değerleri gösteriyor olmalarıdır. Cevherleşmenin görüldüğü bölgeler genellikle fay zonları ve bu zonlar ile dokanak halindeki alanlar civarındadır.

ABSTRACT In this study, it is aimed to determine the location of possible lead (Pb) deposits in Balıkesir Dursunbey-Demirboku region with Induced Polarization (IP) method. For this purpose, 3304 measurements were taken at 464 points by taking the electrode spacing 40 m and the distance between successive measurement points 20 m on 17 profiles with N 32° direction. The dipole-dipole electrode array was used in the study. The data were inverted by using the RES2DINV software and obtained two-dimensional inverse models for apparent resistivity, metal factor and percent frequency effect for each profile. Then, the profile inversion results were interpreted together with the level maps prepared at various measurement levels to see the regional distribution of the mineralization zones. The common feature of the anomalies which are imaged in the models generally show low resistivity, high MF and PFE values, except for the west and northwest of the region where Z, T and V profiles are located. The regions where mineralization is observed are generally around the fault zones and the areas in contact with these zones.

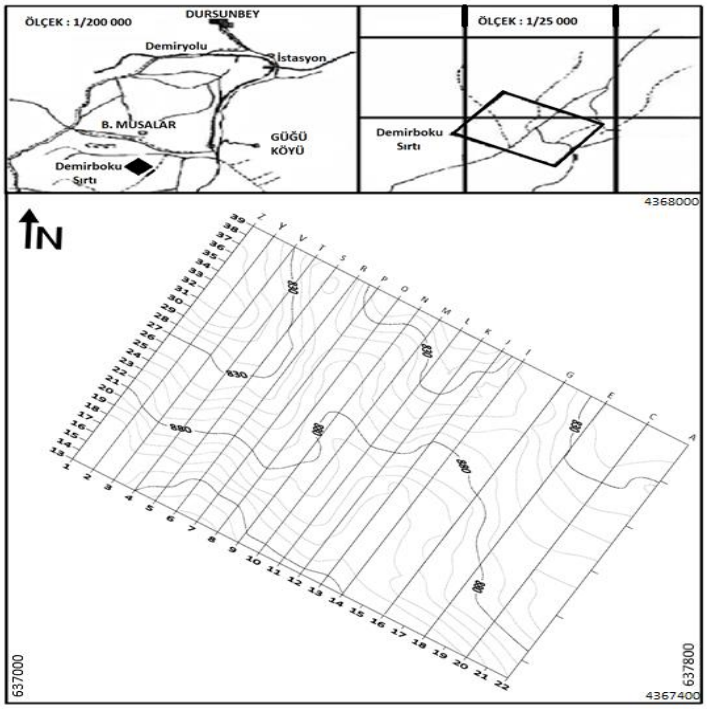
Keywords: Induced Polarization, Lead deposits, Dipole-dipole

1 GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı ve Yöntem

Bu çalışmada, Balıkesir İli, Dursunbey İlçesi Demirboku Sırtı Bölgesindeki Anadolu Kurşun Madeni Sahasında MTA Enstitüsünün 18.4.1970-1.9.1970 tarihleri arasında yapmış oldukları IP ölçümleri sonucu elde edilen veriler sayısallaştırılarak tekrar yorumlanmıştır. Ölçümler, dipol-dipol elektrot dizlimi kullanılarak 640 m uzunluğunda 17 adet profil boyunca 0.3 ve 5 Hz frekansları kullanılarak frekans ortamı IP yöntemiyle toplanmıştır (Şekil 1). Verilerden hesaplanan Metal Faktör, Yüzde Frekans Etkisi ve görünür özdirenç değerleri her bir profil için RES2DINV yazılımı kullanılarak ters çözüm modelleri elde edilmiş ve

muhtemel cevher uzanımları hakkında değerlendirmede bulunulmuştur.



Şekil 1. Çalışma alanının konumu, profiller ve ölçüm noktalarının haritası

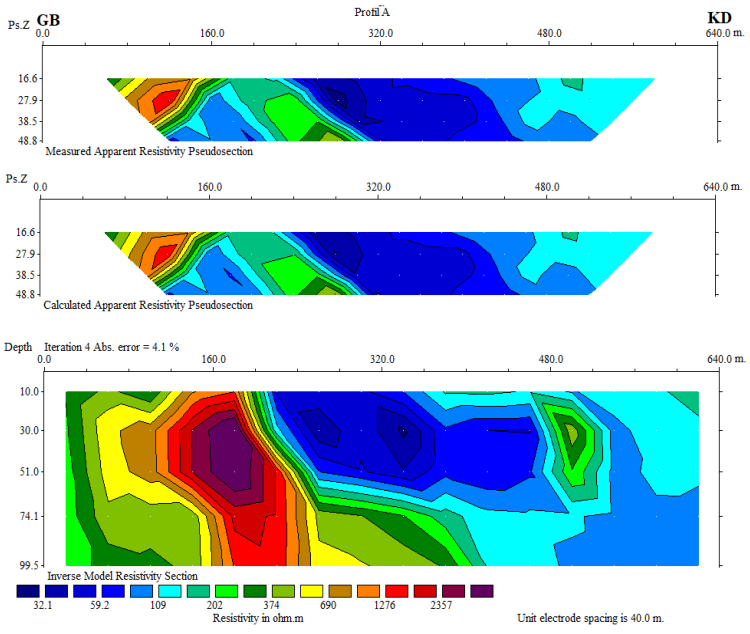
1.2 Bölge Jeolojisi

Balıkesir-Dursunbey Demirboku Sırtı'nda yapılan jeoloji araştırmaları sonucunda sahadaki birimlerin genellikle metamorfik kayaçlar olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bu metamorfikleri kesen ve bu nedenle daha genç olan bir granit plütonu bulunmaktadır. Metamorfikler üzerine diskordan olarak gelen Üst Kretase kalkerleri de saha içerisinde yer alırlar. Gnayslar; genellikle Alaçam Masifi'ni meydana getirirler. Gözlü gnays tipindedirler. Bir diğer çeşidi de Çamaşırlık Deresi'nin kuzey ve güneyini teşkil eden mostralarda görülür. Mikaşistler; bazı bölgelerde kuvarsitlerle kesişebilirler. Kontak metamorfizma sonucu epidot içeriğince zenginleşmişlerdir. Muskovit-Kuvars Şistler; Mikaşistler ile gnays karakterli metamorfikler arasında yer alırlar. Muskovit-Kuvars Şistler; Mikaşistler ile gnays karakterli metamorfikler arasında yer alırlar. Mermerler, mikaşistler arasında 5-10 m kalınlıkta olup en kalın olarak Demirboku Sırtı'nda bulunur. Cevherleşmenin kontakt pnömatolik orijinli ve genellikle belli bir eğim ve doğrultu gösteren tabakalar halindeki hornfelsler içinde geliştiği gözlenmiştir (Turgay, 1973).

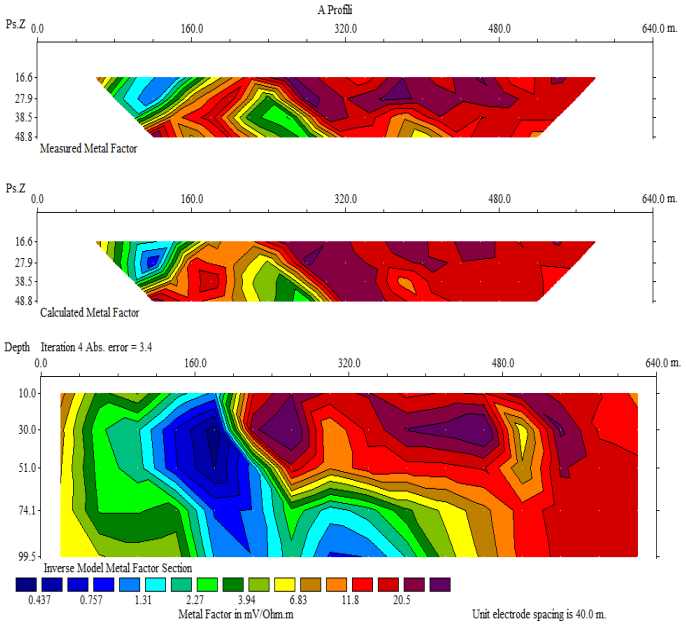
2 IP VERİLERİNN YORUMLANMASI

Tez kapsamında hesaplanmış özdirenç, metal faktör ve frekans etkisi değerlerinden profiller boyunca kesit haritaları oluşturulmuş, daha sonra her üç parametre için iki boyutlu ters çözümlemeler yapılmıştır. Elde edilen ters çözüm modelleri bölge jeolojisi ve mineral varlığı gözetilerek yorumlanmaya çalışılmıştır.

Şekil 2 ve Şekil 3'de, A profilinden toplanan verilerden görünür özdirenç ve metal faktör değerleri için ters çözüm sonucu elde edilen gözlemsel ve hesaplanan andıran kesitler ile sonuç modelleri örnek olarak verilmiştir. Görüldüğü gibi hesaplanan ve gözlemsel veri arasındaki uyum ile RMS hata miktarı kabul edilebilir sınırlar içindedir ve profillerin büyük kısmında benzer sonuçlar elde edilmiştir.

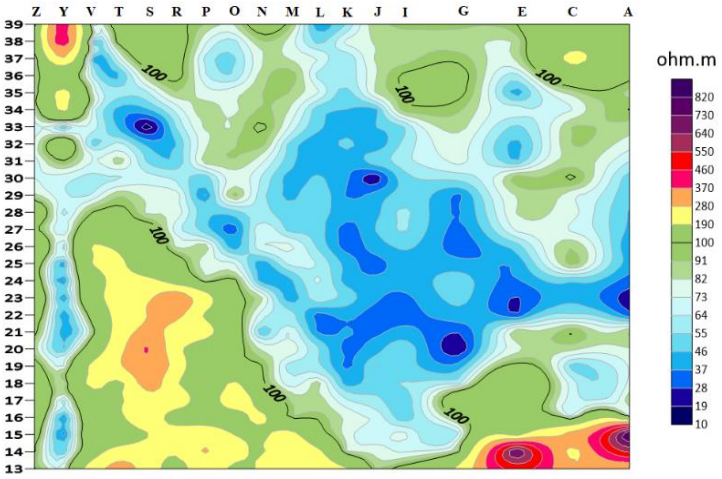


Şekil 2. A profili için görünür özdirenç ters çözüm sonucu

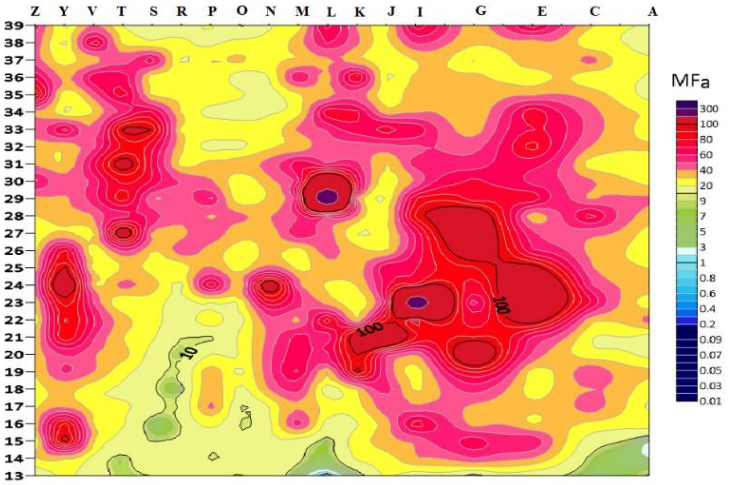


Şekil 3. A profili için metal faktör ters çözüm sonucu

Şekil 4 ve Şekil 5'de verilen her noktada n (1,2,3,4)'ün en düşük değerleri kullanılarak çizilen özdirenç ve n (1,2,3,4)'ün en yüksek değerleri kullanılarak çizilen metal faktör haritaları beraber incelendiğinde düşük özdirenç ve yüksek metal faktör değerleri gösteren bölgelerin korelasyonu rahatça görülebilmektedir.Düşük özdirenç ve yüksek metal faktör gösteren nu bölgelerde cevherleşmenin bulunduğu yorumu yapılabilir.



Şekil 4. Her noktada n (1,2,3,4)'ün en düşük değerleri kullanılarak çizilmiş özdirenç haritası.

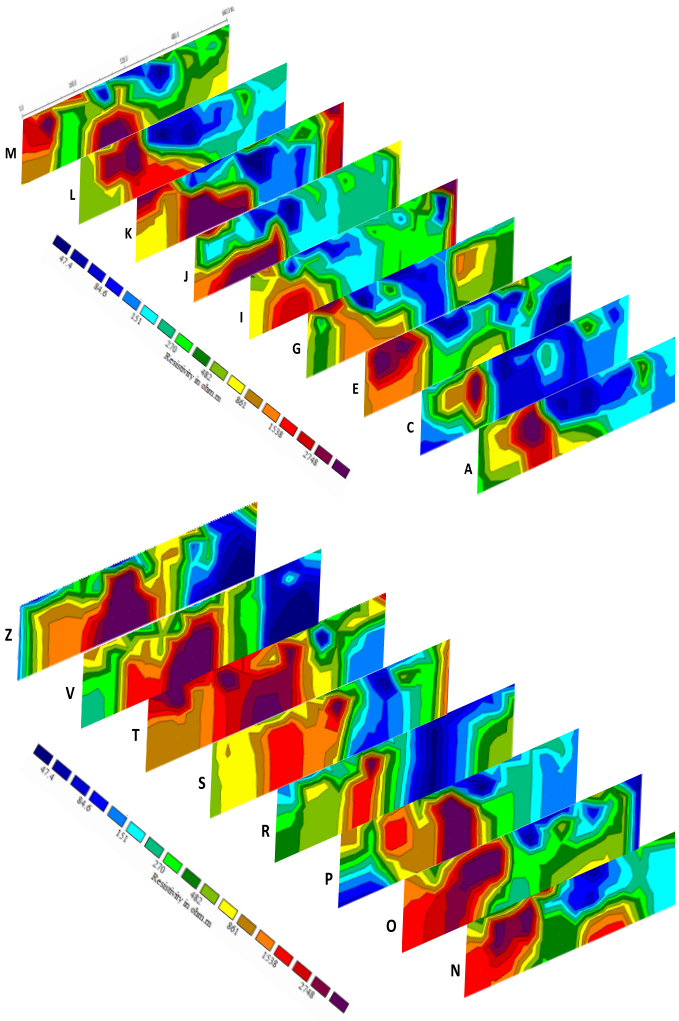


Şekil 5. Her noktada n (1,2,3,4)'ün en yüksek değerleri kullanılarak çizilmiş metal faktör haritası.

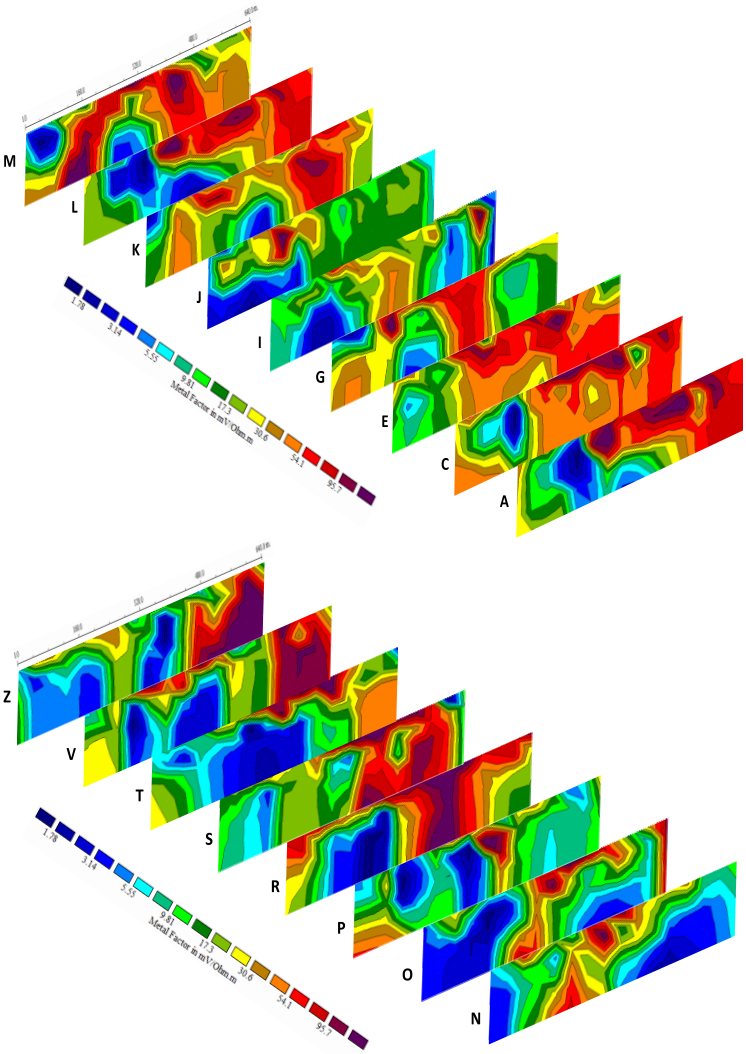
3. SONUÇLAR

Sahada yapılan IP çalışması sonucunda elde edilen verilerin ters çözümü sonucu her profil için elde edilen özdirenç ve metal faktör kesitleriyle oluşturulan modeller Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir. Modellere göre sahanın bilinen jeolojik yapısı göz önünde bulundurulduğunda, genel olarak profillerin güneybatısında bulunan kısımlarında gözlenen yüksek özdirenç değerlerinin bölgeye yerleşmiş olan gnayslar ya da granit gibi kayaçlardan kaynaklandığı yorumu yapılabilir. Yüksek özdirenç gösteren bu bölgelerin A profilinden Z profiline ilerledikçe genel olarak kuzeybatı yönünde genişlediği gözlenmektedir. Aynı şekilde metal faktör kesitleri incelendiğinde de bahsi geçen yüksek özdirençli bu bölgelerde daha düşük metal faktör değerleri gözlenmektedir. Buna ek olarak birçok profilde özdirenç değerleri düşey yönde ani değişiklikler göstermektedir. Bu değişimlerin gözlendiği sınırlar muhtemel fay zonlarını gösteriyor olabilir. Bu sınırların etrafında gözlenen düşük özdirençli bölgeler ise cevherleşmenin bulunduğu bölgeler olarak yorumlanabilir. Bunun yanında anomali gösteren fakat fay zonlarına denk gelmeyen bölgelerde metal faktör değerlerinin yüksek ve özdirençlerin

düşük olmasına bağlı olarak bu bölgelerde de cevherleşmelerin olması muhtemeldir. Özetlemek gerekirse sahada yapılan çalışma sonucunda elde edilen anomalilerin ortak özelliği, anomali bölgesinin batı ve kuzeybatıda Z, T ve V profillerine denk gelen bölgeleri dışında genel olarak düşük özdirenç ve yüksek metal faktör değerleri gösteriyor olmalarıdır.



Şekil 6. Tüm profiller için ters çözüm sonucu elde edilen özdirenç kesitleri



Şekil 7. Tüm profiller için ters çözüm sonucu elde edilen metal faktör kesitleri

TEŞEKKÜR

Lisans hayatım süresince bana kazandırdıkları için İstanbul Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği bölümündeki tüm hocalarıma ve İTÜ ailesinin tüm fertlerine,

Bitirme çalışmam süresince yanımda olup desteklerini esirgemeyen, bana her zaman inanan, güvenen aileme ve dostlarıma teşekkürlerimi saygıyla sunarım.

KAYNAKLAR

İşseven, T., 1973. Balıkesir İli, Dursunbey İlçesi Kursun Aramaları Demirboku Sırtı Sahası, I.P. Etüdü Raporu. *M.T.A* Rapor no: 4802, Ankara.

Vibrosismik Sinyaller
Vibroseismic Signals

T.B. Ünal, M.E. Demirbağ
İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

ÖZET Sismik çalışmalarda kaynak seçimi oldukça önemlidir. Kaynağın güç ve frekans içeriği yapılacak olan çalışmaya uygun olmalıdır. Vibratörün kaynak olarak tercih edilmesinin sebebi kontrollü bir kaynak olmasının yanında verimli olması, emniyetli olması ve patlayıcı kullanılamayan bölgelerde çevreye zararsız bir şekilde çalışabilmesidir. Vibratörün kullandığı sinyale vibrosismik sinyal adı verilir. Vibrosismik sinyalin özelliği gücü az fakat uzun süreli sweep sinyali ile yüksek sismik enerji sağlamasıdır. Sistemin gücünü arttırmadan enerjiyi arttırmak için uzun süreli sweep sinyali kısa bir dalgacık içine sıkıştırıldı. Bu çalışma vibrosismik ve vibrosismik sinyaller hakkında bilgi vermek ve vibrosismik sinyal tasarımı için yazılım geliştirmek amacıyla yapılmıştır. Bildiri kitabında yer alacak yazılar doğrudan baskıya girecek şekilde hazırlanmalıdır.
Anahtar Kelimeler: Vibrosismik, Tarama Sinyali, Korelasyon

ABSTRACT Source selection is very important in seismic studies. The power and frequency content of the source must be suitable for the work to be done. The reason why the vibrator is preferred as source is that besides being a controlled source, it is efficient, safe and can work in an environmentally friendly way in areas where explosives cannot be used. The signal used by the vibrator is called the vibroseismic signal. The characteristic of the vibroseismic signal is that it provides high seismic energy with a low power but long-lasting sweep signal. To increase the energy without increasing the power of the system, the long sweep signal was compressed into a short wavelet. This study was carried out to provide information about vibroseismic and vibroseismic signals, and to develop software for vibroseismic signal design.
Keywords: Vibroseismic, Sweep Signal, Correlation

1 VİBROSİSMİK SİNYALLER

1.1 Giriş

Bu çalışma, 2020-2021 bahar döneminde MATLAB programı kullanılarak hazırlandı. Vibrosismik yöntem incelemesi, Vibrosismik sinyal üretimi ve vibrosismik sinyalin özellikleri bu çalışmaya dahil edildi. Bu çalışma vibrosismik ve vibrosismik sinyaller hakkında bilgi vermek ve vibrosismik sinyal tasarımı için yazılım geliştirmek amacıyla yapılmıştır.

1.2 Jeofizikte Sismik

Sismik yöntemler, yer altındaki jeolojik tabakaların varlığını saptamada elastik dalgaların yayılması ile ilgili fizik prensiplerine dayanır. Sismik yöntemler enerji kaynağından yayılan sismik dalgaların takip ettiği yollara göre “Sismik Yansıma (Reflection)” ve “Sismik Kırılma (Refraction)” olmak üzere ikiye ayrılır.

1.2.1 Sismik Yansıma

Sismik yansıma yöntemi, kırılma yöntemine oranla daha maliyetli ve uygulaması zor bir yöntem olduğu için daha büyük çaplı çalışmalarda tercih edilir. Bu çalışmalar en çok petrol ve doğalgaz araştırmalarıdır.

1.2.2 Sismik Kırılma

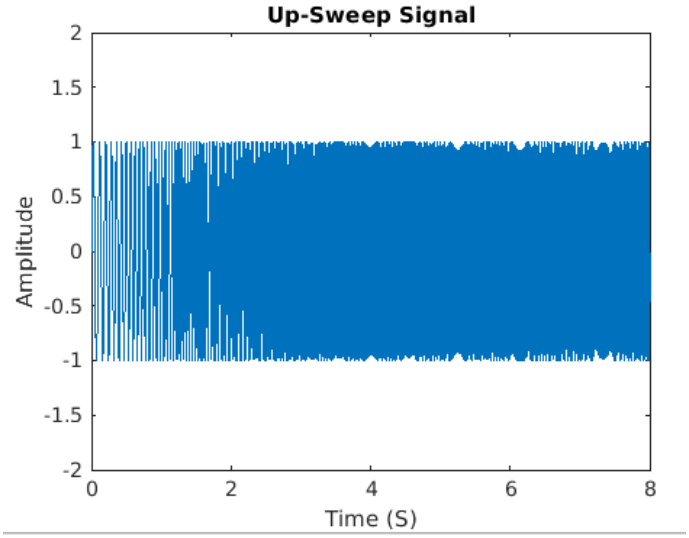
Sismik kırılma yöntemi uygulanma şekli açısından pratik, hızlı ve ekonomik bir yöntemdir. Bu yöntem ile tabakalı yer içi yapısının tabaka hızları ve derinlikleri yeterli bir doğruluk oranıyla bulunur.

2 VİBROSİSMİK

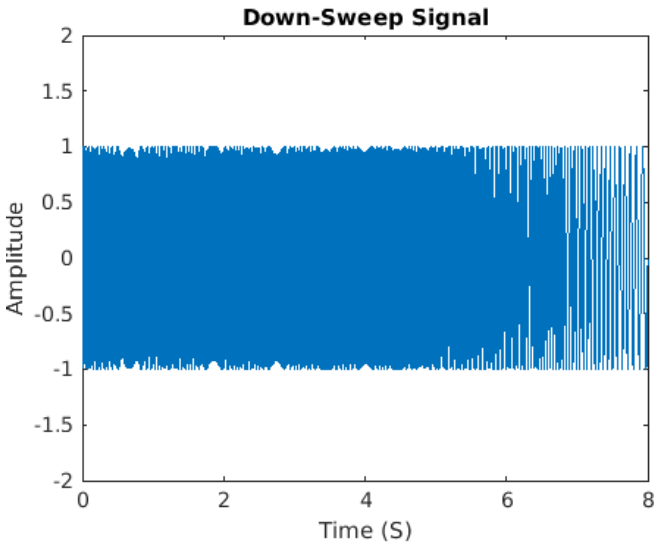
Vibratör, yerin sismik parametrelerine bağlı olarak uygulanan kontrollü bir sismik kaynaktır. Belirli bir frekans ve zaman aralığında yer gönderilen sinyalin (Sweep Sinyal) hedefe yönelik tasarlanması tercih sebeplerinin başında geliyor, bunun yanında vibratör diğer sismik kaynaklara göre daha verimli, ekonomik, emniyetli ve çevreye zararsız olması yine tercih sebepleri arasındadır. Sweep sinyali belirli bir sabit genliğe sahip ve frekansı zamanla değişen bir sinüzoidal dalga şeklindedir.

2.1 Vibrosismik Sinyal

Vibrosismik saha çalışmalarında en çok kullanılan iki çeşit sweep sinyali vardır. Bunlardan birincisi ve en çok tercih edileni doğrusal (Linear Sweep), diğeri ise doğrusal olamayan (Non-Linear Sweep) sweep sinyalleridir. Hidrokarbon arama amaçlı yapılan vibrosismik uygulamaların büyük çoğunluğunda lineer sweep sinyal tercih edilmektedir. Sweep sinyali belirli bir sabit genliğe sahip ve frekansı zamanla değişen bir sinüzoidal dalga şeklindedir ve yukarı tarama ve aşağı tarama sinyali olarak iki çeşidi mevcuttur. Yukarı tarama sinyalin frekansı belirli bir T süre içinde düşük olan f1 frekansından başlayıp, yüksek olan f2 sinyalinde biter (Şekil 1). Aşağı tarama sinyalinin frekansı ise yine belirli bir T süre içerisinde yüksek bir f1 frekansından başlayarak, düşük bir f2 frekansında biter (Şekil 2).



Şekil 1. Yukarı tarama sinyali



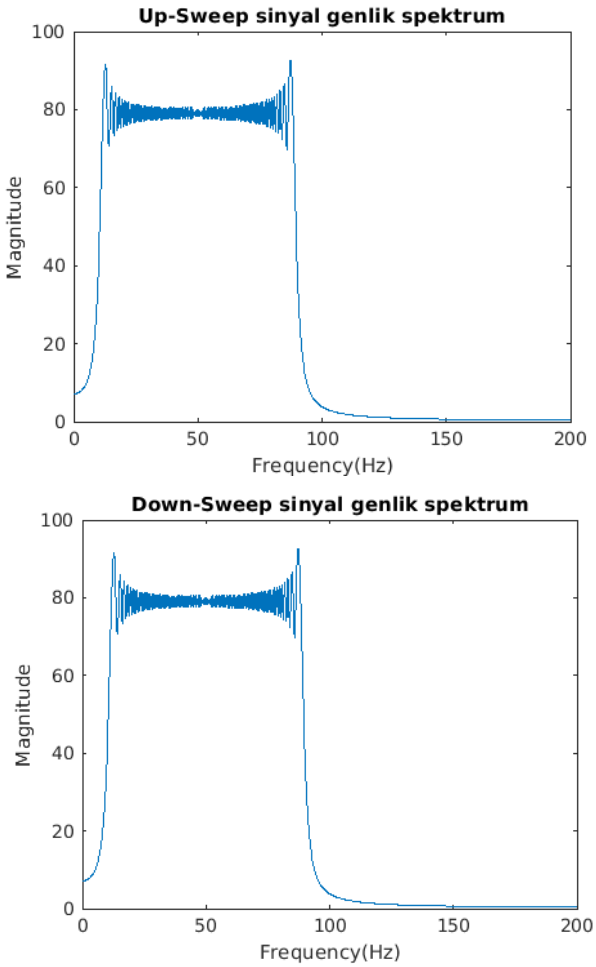
Şekil 2. Aşağı tarama sinyali

3 UYGULAMA

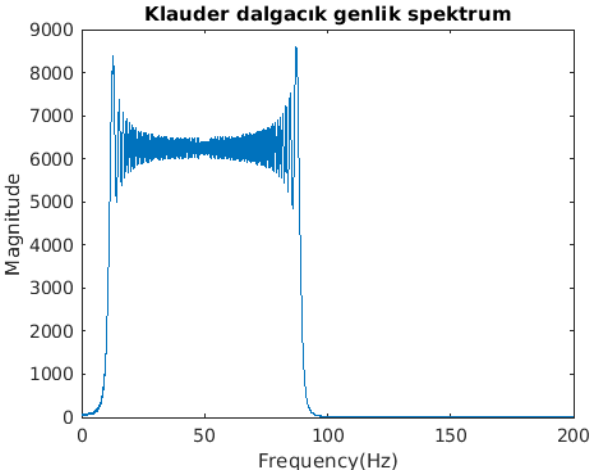
3.1 Sinyal Üretimi

Oluşturulan iki tarama sinyalinin de frekans aralığı 10 Hz ile 90 Hz arasında olacak şekilde belirlenmiştir, yani iki sinyalin de band genişliği aynıdır (Şekil 1, Şekil 2). Band genişliği yanında bu iki sinyal için tarama süreleri ve genlikleri de aynı seçilmiştir. Bu bahsettiğimiz parametreleri her iki sinyal tipi için yazdığımız kodun en başına tanımladık. Seçilen sweep sinyal türünün ve sweep sinyalinin en genel halinin matematiksel ifadesi eklendikten sonra sinyal özelliklerini inceleyebildiğimiz

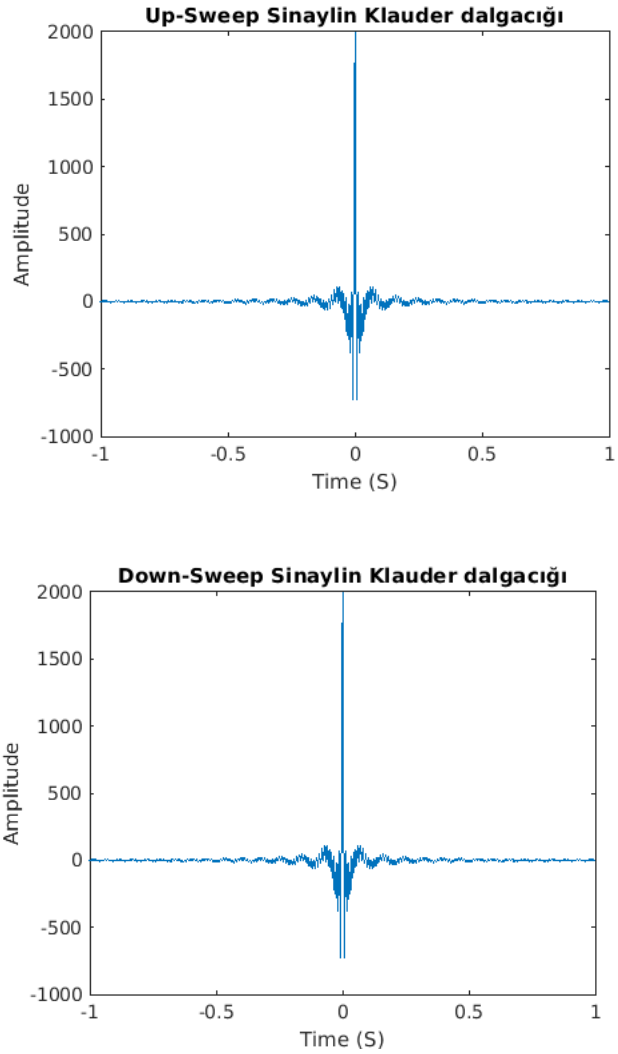
grafikler çizdirildi. Bu grafikler sinyallerin genlik spektrumunu gördüğümüz grafikler (Şekil 3), Sinyallerimize otokorelasyon işlemi uygulayıp Klauder dalgacığı elde ettiğimiz grafikler (Şekil 4) ve Klauder dalgacığının genlik spektrumlarını elde ettiğimiz grafikler (Şekil 5).



Şekil 3. Tarama sinyalleri genlik spektrumu



Şekil 4. Otokorelasyon sonucu elde edilen Klauder dalgacığı



Şekil 5. Her iki Klauder dalgacığı için genlik spektrumu

4 SONUÇLAR

Kontrollü olarak üretilen tarama enerji kaynağı birçok frekansı bulundurduğu için yüksek çözünürlük elde etmemize de yardımcı olur. Bu çalışmada sweep sinyallerinin nasıl üretildiğine ve bu sinyallerin yorum aşamasına geçmeden önce hangi adımlar izlendiği konusunda bilgi edindik. Yeriçi yapısında, aranan hedefin özelliklerini tecrübe ettikten sonra vibrosismik yöntemi efektif olarak kullanılabilen bir yöntem olarak jeofizik alanında yer bulur.

TEŞEKKÜR

Bütün Dünya'nın sıkıntılar yaşadığı bu pandemi döneminde olumsuz şartlara rağmen desteğini esirgemeyen tez danışmanım sayın Prof. Dr. Mustafa Emin DEMİRBAĞ başta olmak üzere, lisans eğitimim süresince bilgi birikimini paylaşmaktan geri durmayan bütün Jeofizik Mühendisliği bölümü hocalarına ve sahada çalışan jeofizik mühendisi arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

KAYNAKLAR

Cuningham A. B., 1979, Some Alternete Vibrator Signals, Geophysics, 44, 1901-1921

Gaupillaud, P.L., 1976, Signal design in the vibroseis technique : Geophysics , Vol : 41, p: 1291-1304

Nichols, John. (2009). A Report on the use of Vibroseis Trucks within the Town. 10.13140/2.1.1326.9286.

Pelton Company, Inc. Course Book 1979, Pelco vibroseis theory training notes

Sakallıoğlu Y., Güreli O. ve Başar, S. (2012). Vibrosismik. Ankara: JFMO

Sheriff, R.E., 1990, "Encyclopedic dictionary of exploration geophysics" Society of Exploration Geophysicists.

Hisarcık (Kütahya) Jeotermal Sahasının Hidrojeofizik Modeli Kullanılarak Fayların Geçirimlilik Değerlerinin Akışkan Hızı ve Sıcaklık Dağılımı Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması

Investigation of the effects of the fault permeabilities on fluid velocity and temperature distribution using the hydrogeophysical model of the Hisarcık (Kütahya) geothermal field

Y. Üzüm, D. Düşünür Doğan

İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Fayların geçirimlilik özellikleri, jeotermal alanlarda, akışkanın davranışlarını ve sıcaklık dağılımını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu yönleriyle faylar, jeotermal sistemlerin en önemli yapısal unsurlarından biridir. Bitirme çalışması kapsamında, Hisarcık (Kütahya) jeotermal sahasının hidrojeofizik modeli, alandaki fayların geçirimlilik değerlerindeki değişimlerin etkilerini araştırmak amacıyla kullanılmıştır. Fayların geçirimlilik değerlerinin, termal akışkanın akış hızı ve sıcaklık dağılımı üzerindeki etkilerini ortaya çıkarmak amacıyla sayısal modeldeki fayların yatay ve düşey yöndeki geçirimlilik değerleri değiştirilerek test modelleri üretilmiştir. Sıcaklık dağılımı ve hız dağılımı modelleri, bölgede daha önceden yapılmış çalışmalar ışığında değerlendirilmiştir. Test modelleri arasında kıyaslamalar yapılmış ve fayların geçirimlilik değerlerindeki değişimlerin etkileri ortaya koyulmuştur.
Anahtar kelimeler: Geçirimlilik, fay, jeotermal, sayısal model, akışkan modellemesi

ABSTRACT The permeability properties of the faults significantly affect the fluid behavior and temperature distribution in geothermal fields. With these aspects, faults are one of the most important structural elements of geothermal systems. The hydrogeophysical model of the Hisarcık (Kütahya) geothermal field was used within the scope of the graduation study to investigate the effects of changes in the permeability values of the faults in the area. In order to reveal the effects of the permeability values of the faults on the flow rate and temperature distribution of the thermal fluid, test models were produced by changing the horizontal and vertical permeability values of the faults in the numerical model. Temperature distribution and velocity distribution models were evaluated in the light of previous studies in the region. The effects of the changes in the permeability values of the faults were revealed by making comparisons between the test models.
Keywords: Permeability, fault, geothermal, numerical model, fluid modelling

1 GİRİŞ

Dünya'nın pek çok bölgesinde olduğu gibi ülkemizde de jeotermal sistemlerin, yoğun faylanmaların olduğu bölgelerde bulunmasının sebebi, fayların jeotermal akışkanı kanalize eden en önemli yapısal unsurlardan biri olmasıdır.

Fayların, jeotermal akışkanın hareketi üzerindeki etkisi, jeotermal sistemi oluşturan jeolojik birimlerin gözenekliliği, bu birimlerin faylarla olan ilişkisi, alanın hidrojeolojik özellikleri, akışkanın taşınım dinamikleri gibi birçok farklı parametreye bağlıdır (Lopez ve Smith, 1995). Ancak fayların geçirimlilik özellikleri bu parametreler arasında ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada fayların geçirimlilik değerlerinin jeotermal alanlarda sıcaklık dağılımı ve jeotermal akışkanın davranışı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla

Üner ve diğerlerinin (2019) oluşturduğu Hisarcık (Kütahya) hidrojeofizik modeli kullanılarak bir dizi test modeli üretilmiştir.

1.1 Çalışma Sahası

Çalışma alanı, Kütahya'nın Hisarcık ilçesinin yaklaşık 9 km güneybatısında, Hamamköy ile Dereköy arasında bulunmaktadır. Bölgenin derin faylardan ve geçirimli kayaçlardan oluşan jeolojik yapısı, jeotermal bir sistemin oluşması için gerekli koşulları sağlamaktadır.

Bölgede KB-GD yönlü sağ yanal faylar, K-G ve KD-GB yönlü eğim atımlı faylar bulunmaktadır. Sayısal modelleme çalışmasında Fay 1 olarak adlandırılan ve bölgedeki en önemli tektonik yapı olan Hisarcık Fayı KB-GD doğrultuludur (Üner ve diğ., 2019).

1.2 Bölgenin Jeolojisi

Bölgedeki anakaya, Paleozoyik yaşlı Simav Metamorfitleri, yeşil şistler ve Menderes Masifi mermerlerinden oluşmaktadır. Metamorfik temelin üzeri, konglomera ve kumtaşından oluşan Neojen yaşlı gölsel çökellerle örtülmüştür. Gölsel çökellerin üzerinde konglomera, kumtaşı, kil, tüf aradalanması ve Kırmızı birim bulunmaktadır. Hisarcık-Emet havzasındaki Menderes masifi ve Afyon metamorfikleri bölgedeki jeotermal sistemlerin ana rezervuar kayalarıdır ve termal suların çoğu K-G yönlü faylardan boşalmaktadır. Neojen yaşlı birimlerin tabanını oluşturan alt kireçtaşları ve onların üzerindeki Kırmızı birim ikincil rezervuar görevi görmektedir. Killi geçirimsiz Neojen kayaçlar, bölgedeki jeotermal sistemlerde yer yer geçirimsiz örtü kayası (cap rock) görevi görmektedir (Gemici ve diğ., 2004).

2 SAYISAL MODELLEME

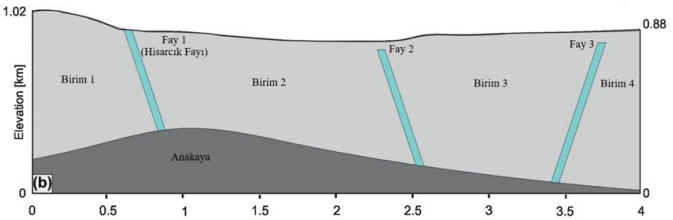
2.1 Düşey Elektrik Sondaj Çalışmaları

Bu çalışmada kullanılan hidrojeofizik modelin oluşturulmasında araştırma alanının iki boyutlu özdirenç yapısını elde etmek amacıyla Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün 2011 yılında Kütahya bölgesinde topladığı düşey elektrik sondaj verileri kullanılmıştır. D-B yönlü beş profil çizgisi boyunca toplam 69 düşey elektrik sondaj verisi toplanmıştır. Schlumberger elektrod dizilimi kullanılarak 2500 m'lik maksimum elektrod aralığında (AB/2) ölçümler yapılmıştır.Toplanan veriler iki boyutlu ters çözüm algoritması kullanılarak işlenmiş ve haritalanmıştır.

2.2 Sayısal Model

Bu çalışmada bölgenin sıcaklık dağılımı ve yeraltı suyu akış modellemesi, sonlu hacimler yöntemi tabanlı hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı Ansys Fluent kullanılarak oluşturulmuştur. Yazılım kararlı durum Navier-Stokes denkleminin sayısal çözümünü elde etmek için kütle, momentum ve enerji denklemlerini eşzamanlı olarak çözmektedir.

Hat I (Line I) olarak adlandırılan profil kullanılarak yatay uzunluğu 4 km, dikey uzunluğu 1 km olan iki boyutlu bir model oluşturulmuştur. Hidrojeofizik modeli oluşturan ortamlar Şekil 2.2.1.'de gösterilmişti.



Şekil 2.2.1. Hidrojeofizik modeli oluşturan ortamların model geometrisi üzerinde gösterimi (Üner v.d.'nden (2019) değiştirilerek alınmıştır).

Modelde kullanılan profilin iki boyutlu ters çözüm sonucu ve sayısal modelin ağ geometrisi Şekil 3.2.1.'de gösterilmiştir. Jeoelektrik kesitlerde görünen Hisarcık Fayı modelde Fay 1 olarak adlandırılmıştır. Modelde gömülü faylar olarak tasarlanan Fay 2 ve Fay 3 bölgenin jeolojik haritalarından alınmıştır (Akkuş ve diğ., 2005). Fay kalınlıkları 50 metre olarak sabit tutulmuştur. Hat I (Line I) olarak adlandırılan kesit kullanılarak derinlikleri belirlenen anakaya ve tortul tabaka modele dahil edilmiştir. Model üç düğüm noktalı üçgen hücreler kullanılarak oluşturulmuştur ve toplamda 309568 düğüm noktası (node) içermektedir.

Modelde, laminer akış gösteren, yoğunluğu Boussinesq yaklaşımına uygun olacak şekilde sıcaklığa bağlı olarak değişen

viskoz akışkan kullanılmıştır. Akışkan ve ısı akışı parametre değerleri Tablo 2.2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.2.1. Sayısal modelde tanımlanan akışkan ve ısı akışı parametre değerleri.

Parametre	Değer
Isı Kapasitesi (C_p) (J/kg.K)	4200
Isıl İletkenlik Katsayısı (λ) (W/m.K)	2
Dinamik viskozite (μ) (kg/m.s)	5 x 10^{-5}
Isıl Genleşme Katsayısı (β) (1/K)	2.07 x 10^{-4}
Akışkanın Yoğunluğu (kg/m^3)	1000
Yerçekimi İvmesi (m/s^2)	9.81

Isı ve sıvı kaybını önlemek amacıyla modelin yan duvarları adyabetik bir ortam oluşturacak şekilde kaymanın olmadığı geçirimsiz, hareketsiz duvarlar olarak tasarlanmıştır. Modelin üst duvarlarında 1.01 x 105 Pa atmosfer basıncı ve yıllık ortalama sıcaklık değerleri göz önünde bulundurularak belirlenen 18°C sabit yüzey sıcaklık koşulları tanımlanmıştır (Üner ve diğ., 2019). Modelin alt duvarında 149,85 °C, alt ve üst duvar arasında kalan tüm bölümlerinde 19,85 °C sıcaklık değerleri tanımlanmıştır.

Modelde, gözenekli ortamların termal dengede olduğu kabul edilmiştir. Yani gözenekli ortamdaki katı sıcaklığı ile gözenek içindeki sıvı sıcaklığı birbirine eşittir. Kaya birimlerinin, anakayanın ve fayların, kendi içinde geçirimlilik, gözeneklilik, özısı ve ısıl iletim katsayısı değerleri sabit ve üniform olarak tanımlanmıştır. Tablo 2.2.2.' de modeldeki ortamlara tanımlanan parametre değerleri verilmiştir.

Tablo 2.2.2. Sayısal modelde tanımlanan gözenekli ortam parametreleri.

O	G	GÖ	I	Y	IK
Anakaya	$1 \times 10^{-17}/1 \times 10^{-17}$	1×10^{-2}	2.5	2650	1000
Birim 1	$1 \times 10^{-17}/1 \times 10^{-17}$	1×10^{-1}	2.5	2650	1000
Birim 2	$1 \times 10^{-16}/1 \times 10^{-16}$	1×10^{-1}	2.5	2650	1000
Birim 3	$1 \times 10^{-16}/1 \times 10^{-16}$	1×10^{-1}	2.5	2650	1000
Birim 4	$1 \times 10^{-17}/1 \times 10^{-17}$	1×10^{-1}	2.5	2650	1000

O: Ortam, G: Geçirimlilik(kx/kz) (m^2), GÖ: Gözeneklilik (φ) (1), I: Isıl İletkenlik Katsayısı (λ) (W/m.K), Y: Yoğunluk (ρ) (kg/m^3), IK: Isı Kapasitesi (Cp) (J/kg.K)

3 TEST MODELLERİ

3.1 Model Parametreleri

Fayların geçirimlilik değerlerindeki değişimlerin sıcaklık dağılımı ve akış hızı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla 4 izotropik, 7 anizotropik olmak üzere toplamda 11 model elde edilmiştir.

Çalışma sahasında rapor edilen jeotermal su çıkışları Hisarcık Fayı üzerinde yer almaktadır. Bu nedenle Hisarcık Fayı'nın sıvı geçirimliliği değerleri değiştirilerek, bölgeyi temsil edebilecek en uygun değerler elde edilmeye çalışılmıştır.

İzotropik modellerin her biri, tüm fayların yatay ve düşey geçirimlilik değerleri eşit olacak şekilde hazırlanmıştır. Anizotropik modellerin tümünde, Fay 2 ve Fay 3'ün yatay ve düşey geçirimlilik değerleri 1 x 10-15 m2 sabit değeriyle tanımlanmıştır. Modellerde kullanılan yatay geçirimlilik (kx) ve düşey geçirimlilik (kz) değerleri Tablo 3.1.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1.1. Test modellerinde kullanılan yatay (kx) ve düşey geçirimlilik (kz) değerleri.

Test Modelleri	Geçirimlilik (kx/kz) (m^2)		
	Fay 1	Fay 2	Fay 3
Test A			
İzotropik Model 1	$1 \times 10^{-13}/1 \times 10^{-13}$	$1 \times 10^{-13}/1 \times 10^{-13}$	$1 \times 10^{-13}/1 \times 10^{-13}$
İzotropik Model 2	$1 \times 10^{-14}/1 \times 10^{-14}$	$1 \times 10^{-14}/1 \times 10^{-14}$	$1 \times 10^{-14}/1 \times 10^{-14}$
İzotropik Model 3	$1 \times 10^{-15}/1 \times 10^{-15}$	$1 \times 10^{-15}/1 \times 10^{-15}$	$1 \times 10^{-15}/1 \times 10^{-15}$
İzotropik Model 4	$1 \times 10^{-16}/1 \times 10^{-16}$	$1 \times 10^{-16}/1 \times 10^{-16}$	$1 \times 10^{-16}/1 \times 10^{-16}$
Test B			
Anizotropik Model 1	$1 \times 10^{-15}/1 \times 10^{-14}$	$1 \times 10^{-15}/1 \times 10^{-15}$	$1 \times 10^{-15}/1 \times 10^{-15}$
Anizotropik Model 2	$1 \times 10^{-15}/2 \times 10^{-14}$	$1 \times 10^{-15}/1 \times 10^{-15}$	$1 \times 10^{-15}/1 \times 10^{-15}$
Anizotropik Model 3	$1 \times 10^{-15}/5 \times 10^{-14}$	$1 \times 10^{-15}/1 \times 10^{-15}$	$1 \times 10^{-15}/1 \times 10^{-15}$
Test C			
Anizotropik Model 4	$1 \times 10^{-14}/1 \times 10^{-15}$	$1 \times 10^{-15}/1 \times 10^{-15}$	$1 \times 10^{-15}/1 \times 10^{-15}$
Anizotropik Model 5	$2 \times 10^{-14}/1 \times 10^{-15}$	$1 \times 10^{-15}/1 \times 10^{-15}$	$1 \times 10^{-15}/1 \times 10^{-15}$
Anizotropik Model 6	$5 \times 10^{-14}/1 \times 10^{-15}$	$1 \times 10^{-15}/1 \times 10^{-15}$	$1 \times 10^{-15}/1 \times 10^{-15}$
Test D			
Anizotropik Model 7	$1 \times 10^{-15}/1 \times 10^{-13}$	$1 \times 10^{-15}/1 \times 10^{-15}$	$1 \times 10^{-15}/1 \times 10^{-15}$

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada Hisarcık (Kütahya) bölgesinin hidrojeofizik modeli kullanılarak üretilen test modelleri incelenerek, fayların düşey ve yatay yöndeki geçirimlilik değerlerinin, jeotermal alanın sıcaklık dağılımı ve akışkanın akış hızı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen modellerin yorumlanması sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır,

1-İzotropik ortam şartlarında fayların geçirgenlik değerleri düştükçe, akışkan hızı da düşmektedir.

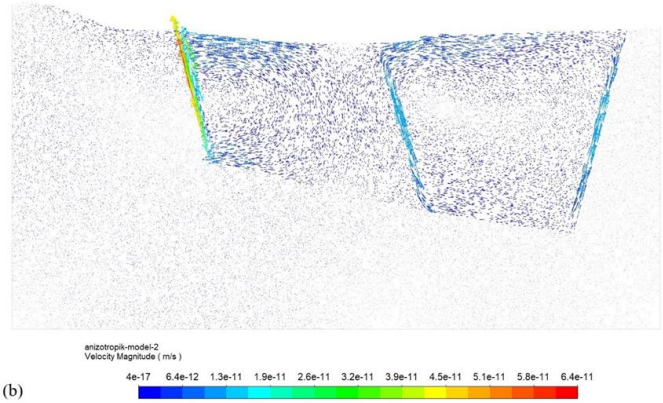
2-Bölegedeki jeotermal akışkanı deşarj etme görevini üstenen Hisarcık Fayı'nın düşey yöndeki geçirimlilik değerleri arttıkça sıvı akış hızının da artmakta olduğu tespit edilmiştir. Fayın yatay geçirimlilik değerindeki değişimler ise sıvı akış hızı üzerinde dikkat çekici bir etki bırakmamaktadır. Yalnızca akışkanın komşu sedimanlara olan girişini kontrol etmekte rol oynamaktadır.

3-Tüm faylara eşit geçirimlilik değerlerinin atandığı izotropik modellerde, fayların yüzeydeki devamlılıklarının etkilerini gözlemleme fırsatı elde edilmiştir. Gömülü haldeki diğer faylarla karşılaştırıldığında, yüzeyde devamlılık gösteren Hisarcık Fayı, jeotermal akışkanı yukarı taşımaktadır ve jeotermal akışkan yeryüzüne çıkmaktadır. Bu durum gerçek saha şartlarıyla uygundur. Hisarcık Fayı bölgedeki jeotermal akışkanı deşarj etmektedir.

4-Fayları çevreleyen jeolojik birimlerin geçirimlilik değerlerinin, akışkan davranışı üzerindeki etkileri, geçirimlilik kontrastının ortadan kalktığı izotropik modellerde ortaya çıkmıştır. Faylar ve jeolojik birimler arasındaki geçirimlilik kontrastı, akışkanın faylar boyunca kanalize olmasını sağlayan önemli bir etkendir.

5-Fayların geçirimlilik değerleri değiştirilerek üretilen sıcaklık dağılımı modellerinin nerdeyse tümü birbiriyle aynı çıkmıştır. Bu yüzden, jeotermal sahanın sıcaklık dağılımı üzerinde fayların önemli bir etkisinin olmadığı çıkarımı yapılmıştır.

6-Anizotropik Model-2 (Şekil 4.1.b), çalışma sahasındaki sıvı çıkış noktaları, hızları ve sıcaklıkları göz önünde bulundurulduğunda, elde edilen modeller arasında sahanın özelliklerine en uygun olan modeldir.



(b)

Şekil 4.1. Test B grubuna ait hız dağılımı modelleri (**b)** Anizotropik Model 2 hız dağılımı.

Teşekkür

Bu bitirme çalışmasının her aşamasında bana sabır ve ilgiyle yardımcı olan Doç. Dr. Doğa Düşünür Doğan'a, sevgilerini esirgemeden hayatım boyunca beni destekleyen aileme, İTÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümündeki hocalarıma, arkadaşlarıma ve tüm İTÜ emekçilerine sonsuz teşekkürler. Bu çalışma, projede kullanılan modeli oluşturan ve 2019 yılında aramızdan ayrılan Serkan Üner'in anısına adanmıştır.

KAYNAKLAR

Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A. ve Tekin Z. 2005. Turkey geothermal resources inventory. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Ankara, Türkiye.

Gemici, U., Tarcan, G., Çolak, M., Helvacı, C., 2004. Hydrochemical and hydrological investigations of the thermal waters in the Emet area (Kutahya, Turkey). Applied Geochemistry 19, s. 105-117.

Lopez, D.L., Smith, L., 1995. Fluid flow in fault zones: analysis of the interplay of convective circulation and topographically driven groundwater flow. Water Resources Research 31, s. 1489–1503.

Üner, S., Ağaçgözgü, G.Ö., ve Düşünür Doğan, D., 2019. Hydrogeophysical modelling of Hisarcik (Kütahya) geothermal field, western Turkey. Geophysical Prospecting. s. 2176-2195.

Giresun İli Harkköy Maden Sahası IP Yöntemi İle Bakır-Çinko-Kurşun Araması

Copper-Zinc-Lead Exploration By IP Method In Giresun Province Harkkoy Mining Area

E. Gürsoy, Ü. Avşar

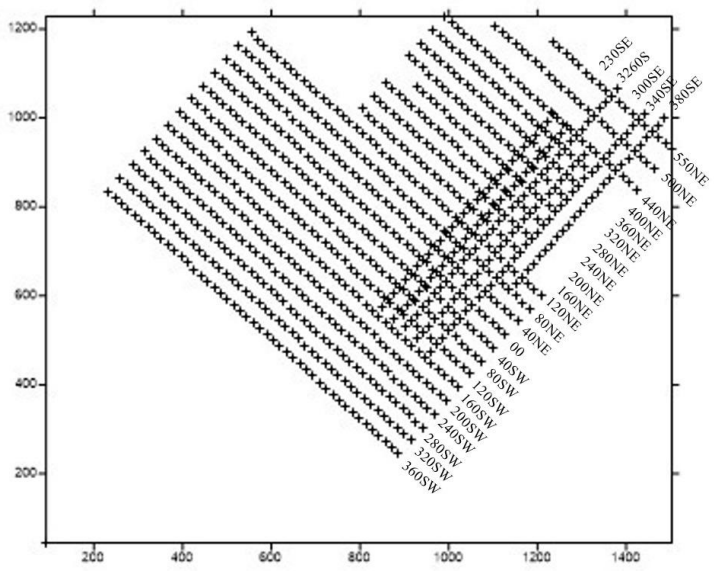
ÖZET Bu çalışmanın amacı elektrik prospeksiyon yöntemlerinden IP yöntemini kullanarak Tirebolu-Harkköy maden sahasında cevherleşmenin dağılımını tespit etmektir. Çalışma sahası Harkköy maden sahası ve çevresidir. Geniş bir bölgede cevherleşmenin ortaya konması amacıyla M.T.A enstitüsü tarafından 1976 yılında Yapay uçlaşma (Induced Polarization IP) ölçümleri alınmıştır. Çalışmada 33 profilde dipol-dipol dizilimi ile 10.226 adet ölçüm noktasında ölçüm alınmıştır ve bu veriler bitirme ödevi kapsamında sayısallaştırılarak çeşitli yöntemlerle grafiklenmiş ve yorumlanmıştır. Kat haritaları ve kesitler yorumlandığında iki adet cevher zonu saptanmıştır.

ABSTRACT The aim of this study is to determine the distribution of mineralization in the Tirebolu-Harkköy mine field by using the IP method. The study area is the Harkköy mine site and its surroundings. In order to reveal the mineralization zone distributions in the region, Induced Polarization IP measurements were taken by the M.T.A Institute in 1976. Measurements were taken at 10,226 measurement points with dipole-dipole array in 33 profiles, and these data were digitized within the scope of the thesis, graphed and interpreted with various methods. When the level maps and profile sections were interpreted, two ore zones were determined.

1.GİRİŞ

Elektrik prospeksiyon yöntemleri, jeofizik çalışmalarında yerin elektriksel yapısını ortaya çıkarmak amacıyla kullanılan yöntemlerdir. Elektrik prospeksiyon yöntemlerinden biri olan Yapay Uçlaşma (Induced Polarization -IP) yöntemi, metalik maden yatakları araştırmalarında özelliklede sülfürlü mineral yataklarının aranmasında birincil yöntem olarak kullanılır. Bu doğrultuda Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (M.T.A) tarafından Giresun ili Tirebolu ilçesi Harkköy maden sahasında yer alan sülfürlü mineralizasyon zonlarının araştırlması amacıyla 1976 yılında toplam 33 profilde 10.226 adet IP ölçümleri alınmıştır (Şekil - 1). IP metoduyla toplanan bu veriler elektronik ortama geçirilerek ve Golden Sofware – Surfer yazılımı kullanılarak tekrar değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda iki ayrı bölgede

cevherleşmeye işaret eden IP anomalisi tespit edilmiştir.



Şekil 1.1 Profiller ve konumları

1.1 Tirebolu-Harkköy Jeolojisi

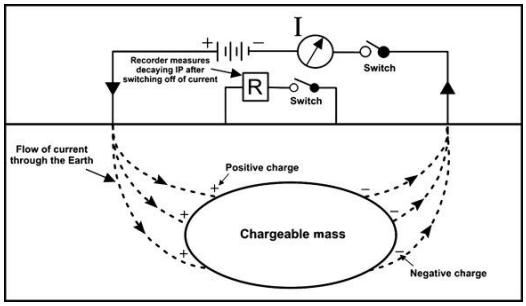
Elektrik özdirenç ölçümlerinin alındığı Tirebolu-Harkköy'de 0.8 km^2'lik saha etüt edilmiştir. Sahanın kuzey batısında bitki örtüsü sıklaşmakta ve tipik Karadeniz bitki örtüsü görülmektedir. Saha Üst Kretase yaşlı tüfitlerle kaplıdır. Tüfitlerin altında yine Üst Kretase yaşlı volkanik bir seri olan silisleşmiş, kaolenleşmis, dasit breşi gelir. En genç formasyon olarak bazalt görülür. Bir dayk halinde tüfitide kesip Harkköy Değirmeni'nin yanında yüzeye çıkmıştır. Cevherleşme üst tüfit-dasit kontağındadır. Cevherleşme üst tüfit-dasit katmanı ile bağlantılıdır. Harkköy Madeni'nde bulunan tüfitlerin normal kalınlığı 50-60 m olarak bildirilmiştir.

Bölgede görülen cevherleşme ise granitten gelen solüsyonlar dasiti değiştirmiştir ve dasit-üst tüfit teması ile dasit içinde hidrotermal olarak mineralize zonlar meydana gelmiştir.

2 YAPAY UÇLAŞMA YÖNTEMİ (IP) VE TOPLANAN VERİLER

2.1 Yapay Uçlaşma (IP)

Yapay uçlaşma (IP) kayaçların iyon içeren bölgelerinin belirlenmesinde kullanılan bir jeofizik yöntemdir. Bu özellikten dolayı sülfürlü maden yataklarının aranmasında birincil yöntem olarak kabul edilir. Bu maden yataklarının bulunduğu alanlar kullanılmasının temel nedeni, metal ve elektrolit iyonları arasındaki, akım uygulanarak uyarılmış bir elektronun geçiş reaksiyonu göstermesidir



Şekil 2.1. IP yönteminin şematize edilmiş hali

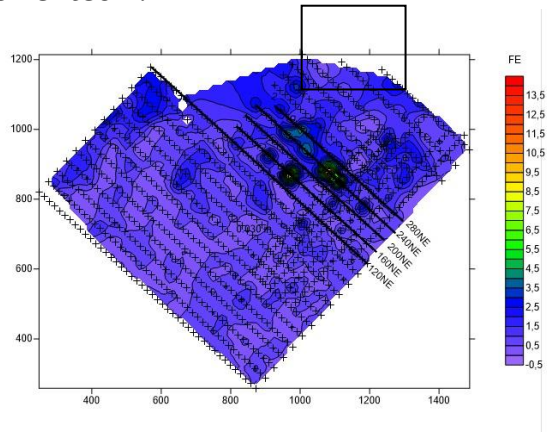
2.2 Tirebolu/Harkköy Bölgesi Için Toplanan Veriler

Sahadaki çalışmalarda 17 tane WE 5 tane SE yönünde olan ve toplam uzunluğu 18 km'ye ulaşan profiller üzerinde x = 40 m açılımla ölçüler alınmıştır (Şekil-1). Ölçümler dipol-dipol diziliminde n=1'den n=4 seviyesine kadar alınmışlardır.

2.3 Verilerin İşlenmesi

Veriler excel programına aktarıldıktan sonra Surfer programında çizdirildi (Şekil 5.1 ve Şekil 5.2). Çizilen profil kesitleri Özdirenç(ρ), Frekans Etkisi(FE) ve Metal Faktörü(MF) temsil etmektedir. Her bir profil için mavi renkten kırmızı renge uzanan renk skalası kullanıldı. Bu renk skalasında mavi renk düşük değerleri temsil

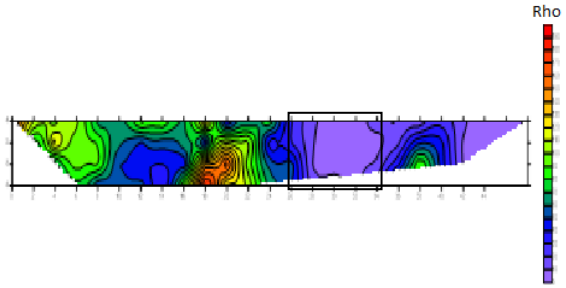
ederken kırmızı renk yüksek değerleri temsil etmektedir.



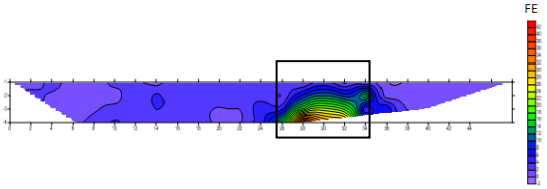
Şekil 2.2. *n=2 Seviyesi Frekans Etkisi değerleri*

3 SONUÇLAR

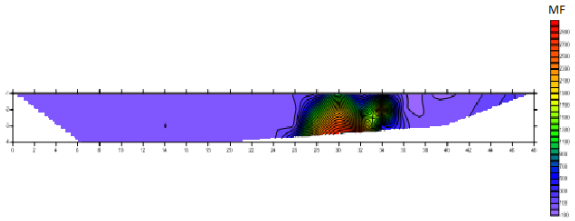
Seçilen profillerde görünür özdirenç, Metal Faktör ve Yüzde Frekans etkisi değerleri birlikte yorumlandığında cevherleşme zonlarının olabileceği düşünülen bölgelere rastlanmıştır. Özdirencin düşük olduğu frekans eetkisi ve metal faktörün yüksek olduğu yerler metal anomalisi gösteren yerler olarak yorumlanmıştır.



Şekil 3.1 *240 NE(Profil 29)Özdirenç*



Şekil 3.3 *240 NE(Profil 29)Frekans Etkisi*



Şekil 3.3 *240 NE(Profil 29)Metal Faktör*

Şekil 3'te gösterilen ve uzunluğu 600m olan bu profilde 360-4435 m'ler arası anomali bulunmaktadır. Yani şekildeki yatay düzlemde 28. ve 34. noktalar arasındadır.

Bu doğrultuda kat haritalarında da gözlemlenen 2. ve 3. kat haritalarında görünürlüğünü arttıran anomaliler gözlemlenmiş ve bu anomalilerin yerleri profillerde belirtilen potansiyel alanlarla karşılaştırılmıştır. Cevher olma olasılığı düşünülen alanları yakınlarında 1958 yılına yapılan 3 sondaj çalışmasında;

- 45-49 m
- 35-41 m
- 28-34 m

derinlikleri arasında cevherleşme zonları tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında kullandığım verilerin edinilmesini sağlayan Maden Teknik Arama (MTA) Müdürlüğü'ne ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

Evcimen, Ö., Tunçdemir, V., Tok, T., ve Metin, Y., 2020. Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi'nin jeolojisi (Ordu-Giresun), *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni* (2020) 29: 101-113

Gandhi, S. M., & Sarkar, B. C., 2016. Essentials of mineral exploration and evaluation. Elsevier.

Geophysics foundations: Physical properties: Electrical resistivity of geologic materials, (t.y.), Erişim Adresi. https://www.eoas.ubc.ca/ubcgif/iag/foundations/properties/resistivity.htm

Elektriksel Yöntemlerle Toprak Tuzluluğu Üzerine Bir Araştırma ve Deney Tasarımı

Study on Soil Salinity by Electrical Methods and Experiment Design

F. Damar, O. Toramanoğlu, A. Karaman

İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü

ÖZET Toprak tuzluluğu, tarımsal verimliliği olumsuz etkileyen ana sebeplerden biridir. Bu etki, ozmotik etkiden ve bitkilerin olağan metabolizmasını bozan iyonların varlığından kaynaklanmaktadır. Özellikle sulama olarak tuzlu su kaynağı olan tarım alanlarında olumsuz etkinin mevcut olduğu belirtilmektedir. Küresel ölçekte tarım ürünlerinin yaklaşık üçte birini sağlayan tarım alanlarının tuzlu sulardan etkilendiği tahmin edilmektedir. Mevcut bilgiler ve bilimsel yöntemlere dayalı olarak, toprak tuzluluğu ve elektrik özdirenci arasındaki ilişkiyi göstermek için bir deney tasarlanmış ve sahada uygulanmıştır. Çalışma, gelecekteki tarımsal planlama ve yönetim için saha mühendisliği eksikliğinin önemini göstermektedir.

ABSTRACT Soil salinity is one of the main reasons which negatively contributes the agricultural fertility. This effect arises from the osmotic effect and existence of ions breaking the usual metabolism of the plants. It is noted that the negative effect is present especially in the agricultural fields with a source of saline water as irrigation. It is estimated that the agricultural fields which providing approximately one third of agricultural products on the global scale is effected by saline water. Based on the existing knowledge and scientific methods an experiment has been designed and applied on field to show the correlation of soil salinity and electrical resistivity. The study shows the importance of lacking field engineering is essential for future agricultural planning and management.

1 INTRODUCTION

1.1 Effects of Saline Environment

Maintaining agricultural productivity depends on the growth of the plant regularly. Concordantly, it is quite vital for the plant to absorb water and minerals from the soil and to develop its roots and leaves. The direct contact of the plants with the soil is carried out through the roots. For this reason, the increase in the salt rate in the soil creates some negative effects on the roots.

1.2 Emerging Mechanism of Soil Salinity on Different Seasons

In particular, the problem of soil salinity, which occurs seasonally, has been revealed in many studies. Cui et al(2019) showed the increment of variated ions in the soil by the precipitation according to different seasons. Figure 2 shows the rise of groundwater level brings different minerals to shallower depths(Cui et al., 2019).

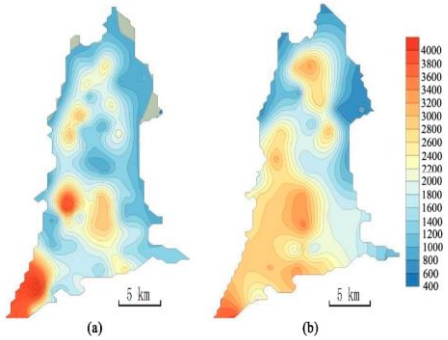


Figure 2. Seasonal salinity changes

2 STUDIES ON DETECTING OR MAPPING SOIL SALINITY

The conductivity value can be measured with different methods and used for comparing the salinity levels. This method measures simply anything in between electrodes such as salinity, saturation

percentage, water content, bulk density, organic matter, cation exchange capacity, mineralogy and clay content, an example plot of clay content and conductivity relation is shown at Figure 3.

2.1 Soil Sampling

Rhoades(1993) showed electrical conductivity is a numerical value that indicates the capability of materials to transmit electrons(Rhoades, 1993). Based on the knowledge that aqueous ionic solutions conduct electricity, moist and water-containing soil containing salt and various ions is thought to give the same reaction.

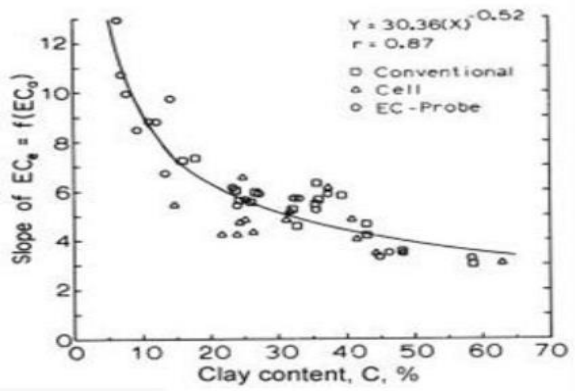


Figure 4. Clay content and salinity conductivity relation

2.3 Four Electrode Electric Method

The acquired results after using four electrode method Wenner array are plotted in isolines in the study of Rhoades. Figure 4, Figure 5, and Figure 6 are indicating the electrical conductivity values on a contour map in terms of mmhos/cm. The resulted total salinity is reported either directly in conductivity units (dS/m) or converted to TDS (total dissolved solids) concentration in ppm (parts per million) using formula: 1 dS/m = 1 mS/cm = 1 mmho/cm = 640 ppm = 640 mg/L= 0.64 g/L=0.064%

3 CONCLUSION AND DISCUSSION

The electrical conductivity shows a strong correlation with salt content seems as well as gives fast, effective and adequately reliable results. Field measurements does not require multiple complex tools and they are easy to take comparatively to the soil sampling, therefore four electrode method can be considered a reliable way for salinity mapping. The results with the complex mechanism to distinguish the bulk conductivity value of the soil and soil salinity value may be time consuming when seasonal salinity changes considered, which makes the study inoperative Air borne or space borne systems give the ability to make large field scale measurements and acquire reliable soil salinity results which is strongly helpful to evaluate the measurements before seasonal salinity changes.

ACKNOWDLEDGEMENTS

This work is guided by lecturer **Prof. Dr. Abdullah KARAMAN.** The device used in measurements is provided by geophysical engineers **Levent GENÇMAN** and **Serdar TANK**.

REFERENCES

Adam,I., Michot, D., Guero, Y., Soubega, B., Moussa, I., Dutin, G., Walter, C., 2012. Detecting soil salinity changes in irrigated Vertisols by electrical resistivity prospection during a desalinisation experiment, *Agricultural Water Management. 109*, pp. 1-10. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.01.017

Bakker, D., M., Hamilton, G., J., Hetherington, R., Spann, C., 2010. Salinity dynamics and the potential for improvement of waterlogged and saline land in a Mediterranean climate using permanent raised beds, *Soil and Tillage Research, 110*(1), pp. 8-24. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.still.2010.06.004

Binley, A., Kemna, A., 2005. DC resistivity and induced polarization methods, Hydrogeophysics, pp. 129-156. Retrieved from: https://doi.org/10.1007/1-4020-3102-5

Ege Bölgesinde Sismik Yansıma İle Elde Edilen Verilerin Veri İşlemi Sonucu Olası Kömür ve Potansiyel Fay Tespiti

Determination of Potential Fault and Coal as A Result of Data Processing of Data Obtained by Seismic Reflection Method in Aegean Region

T. Bayram, C. İmren, B. Karadöller
İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü

ÖZET Çalışma Ege Bölgesinde belli bir alanda kömür potansiyeli ve olası fay tespiti için yapılmıştır. Veri toplama aşamasında 500 kg ağırlık düşürme ile toplam 104 aktif kanal kullanılmış, verilerinin veri işlemi yapılmaya çalışılmıştır. Veri işlem sırasında veriler önce DAT formatından DSK formatına dönüştürülmüş, arazide kullanılan dizilim tekniği ve parametrelerine göre geometri düzeltmesi yapılmış, gürültü kaynaklı sismik izler silinmiş, yüzey dalgaları temizlenmiş, genlik kazanımı yapılmış, datum statik ve residüel statik düzeltmeleri uygulanmış, veri ortak derinlik noktasına taşınmış, veriye özel seçilen parametreler ile filtreleme işlemi yapılmış, ters evrişim uygulanarak, Normal kayma zamanı düzeltmesi yapılmış, hız analizi yapıldıktan sonra yığma ve sismik göç ile kesit son haline getirilmiştir. Yığma ve sismik göç işleminden sonra kesitler jeolojik yoruma hazır hale gelmiştir. Elde edilen son kesitten yoruma gidilmeye ve olası fay ve kömür tabakası tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Veri kalitesinin düşük olması yorumu zorlaştırmıştır.

ABSTRACT The study was carried out for coal potential and possible fault detection in a certain area in the Aegean Region. During the data collection phase, 104 active channels were used with a weight reduction of 500 kg and data was tried to be processed. While processing, the data were converted from DAT to DSK format, geometry correction was made according to the sequencing technique and parameters used in the field, noise-induced, seismic traces were erased, surface waves were cleaned, amplitude was made, datum static and residual static corrections were applied, data was moved to the common depth point, filtering was performed with data-specific parameters, reverse evolution was applied, normal separation time correction was performed, after speed analysis, stacking and seismic analysis the section is finalized by migration. After the accumulation and seismic migration, the sections are ready for geological interpretation. Inferences was made from the last section obtained and to for possible fault and coal layer determination.

1 GİRİŞ

Çalışma Ege Bölgesinde belli bir alanda kömür potansiyeli ve olası fay tespiti için yapılmıştır. Kömür dünyada elektrik üretiminde en fazla kullanılan kaynaktır. Kömür ile elde edilen elektriğin maliyeti diğer kaynaklara göre daha düşüktür. Bu nedenle elektrik üretiminde önemli bir yere sahiptir. Ege bölgesi kömür açısından zengin bir bölgedir. Bölgede jeofizik yöntemlerinin

kullanımına teşvik edilmesi daha düşük maliyetle, kömür potansiyelinin ve olası fayların ortaya çıkartılması konusunda yardımcı olabilir.

Ege bölgesinde jeofizik alanında birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda sığ sismik yansıma (Ocakoğlu & Altan, 2014), sismik yansıma (Kurt, Demirbağ, & Kuşçu, 1999), sismik tomografi (Canıtez & Kuleli, 1992), sismik kırılma (Zorluer & Gücek, 2019) gibi jeofizik yöntemler kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlerle bölgede bulunan körfezlerin incelenmesi (Kurt, Demirbağ, & Kuşçu, 1999), bölgenin aktif tektonizmasının araştırılması (Ocakoğlu & Demirbağ, 2005), sismik dalga hızı incelenmesi (Özer & Polat, 2017), deprem tehlike analizi (Yıldız, ve diğerleri, 2012) yapılması sağlanmıştır.

Toplanmış olan sismik yansıma verileri İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünde bulunan Nezihi Canıtez Laboratuvarında Paradigm/Echos programı ile işlenmiştir. Verileri seri bir veri işleme tabi tutulduktan sonra yoruma gidilmeye çalışılmış, verilerin kalitesinin düşük olması yorum yapılmasını ve kömür tespitinde bulunulmasını zorlaştırmıştır.

2 SİSMİK YÖNTEMLER

2.1 Sismik Yansıma Yöntemi

Sismik yansıma yönteminde yer altından yansıyarak alıcılara ulaşan dalgalar kullanılarak yer altı modeli oluşturulmaya çalışılır. Bu yöntemle 2 ve 3 boyutlu modeller oluşturulabilir. Görüntülenmek istenilen derinliğe göre alıcıların dizilimi ve ölçüm aralıklarına karar verilir. Sismik yansıma yöntemi 3 aşamada ilerler; ilk olarak arazide veri toplanır, sonrasında toplanan veriler işlenir ve son olarak işlenmiş veriler üzerinden yorum yapılır. Arazide verilerin toplanabilmesi için temel ihtiyaçlar alıcı (jeofon), sismik kaynak (dinamit, ağırlık düşürme vb.) ve kayıt cihazıdır.

2.2 Sismik Verilerin Toplanması

Sismik veriler toplam uzunluğu 2460 m olan 2 hat boyunca toplanmıştır. Hatların güzergahı bölgede daha önce yapılan kuyulardan yola çıkılarak seçilmiştir. Sismik kaynak olarak 500 kg ağırlık düşürme kullanılmıştır.

3 VERİ İŞLEM

3.1 Verilerin Dönüştürülmesi

DAT formatında olan veriler, DSK formatına dönüştürülmüştür. Dönüştürme aşamasında önce tüm verilerin konumları, veri isimleri, örnekleme aralığı, kayıt uzunluğu ve aktif kanal sayısı DAT formatında bir dosyaya yazılmış, daha sonra SEG2 modülü ile bu dosya programa çağırılıp verilerin DSK formatına dönüşümleri sağlanmıştır.

3.2 Verilerin Yüklenmesi

Her veri işlem adımında, bir önceki aşamada kaydedilen dosya DSIN modülü ile programa çağrılmıştır. Yapılacak olan veri işlem basamağı tamamlandığında DSOUT modülü ile yeni bir dosya olarak kaydedilmiştir. Bu şekilde çıkabilecek problemlerin büyümesi engellenmeye çalışılmıştır.

3.3 Geometri Tanımı

Programa geometri tanımı yapılması için ilk olarak GEOM2D modülü kullanılmıştır. Bu modülde ORIGIN komutu ile başlangıç noktasındaki istasyon (ODN), x koordinatı, y koordinatı ve yükseklik değerleri girilmiştir. Sonra XYINC komutu ile toplam ODN nokta sayısı, yatay ve düşeyde ODN noktaları arasındaki artış değeri ve başlangıç yüksekliği parametreleri girilmiştir. GEOM2D modülünde son olarak CDP

komutu ile ODN noktaları için ilk istasyon numarası, son istasyon numarası yan yana istasyonlar arasındaki ODN sayısı ve ilk ODN sıra numarası değerleri girilmiştir. Geometri tanımında PATTERN, SHOT, SOURCE, THRU komutları kullanılarak son atış, offset ve her bir her bir atış için ortak derinlik noktası değerleri girilmiştir.

3.4 Verilerin Ayıklanması

3.4.1 EDIT Modülü

Programda EDIT modülü interaktif olarak kullanılmış, problemli izler sıfır genlikli yapılarak temizlenmiştir.

3.4.2 MUTE Modülü

Bu işlem için programda MUTE modülü interaktif olarak kullanılmıştır.

3.5 Filtreleme

3.5.1 FILTER Modülü

Bu çalışmada seçilecek filtrenin frekans aralığının belirlenmesi için her verinin spektrum analizi ve zaman frekans analizi incelenmiştir. Bu inceleme sonucuna göre filtre uygulanmıştır.

3.5.2 FKFILT Modülü

Bant geçirgen filtre uygulandıktan sonra istenilen sinyal/gürültü oranına ulaşılamadığı ve veriden yüzey dalgalarını ve hava dalgalarının etkisinin kaldırılmak istendiği için F-K filtresi uygulanmaya karar verilmiştir.

İşlemi kolaylaştırmak adına veriler yüzey dalgası benzerliklerine göre IF modülü ile gruplara ayrılmıştır. Her gruba ayrı frekans aralığına sahip filtreleme işlemi yapılmıştır.

3.5.3 LFAF Modülü

Yüzey dalgaları ve hava dalgalarının etkisini azaltmak amacıyla LFAF modülü kullanmaya karar verilmiştir. Modülde azaltılacak en düşük frekans olarak 10 Hz, en yüksek frekans olarak 15 Hz tercih edilmiştir. Yüzey dalgası hızı 1200 m/s olarak girilmiştir.

LFAF modülünün yüzey dalgalarını azaltma konusunda F-K filtresine göre daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

3.6 Genlik Kazanımı

Yer altı izotropik bir yapıdadır. Tabakalar arasındaki hız değişimleri, yer altındaki yansıtıcı yüzeyler sismik kaynaktan çıkan dalgaların yer içindeki ilerlemeleri sonucu genliklerinde ve enerjilerinde azalmaya neden olur. Sismik dalgalar küresel açılım nedeni ile de genliklerinde kayıp yaşar. Bu kayıpların giderilmesi için genlik kazanımı uygulanır. Bu uygulama programın GAIN modülü ile yapılmıştır.

3.7 Datum Statik Düzeltme

Programda HMATH modülü kullanılmıştır. Her bir istasyon yüksekliğini içeren DAT dosyası HMATH modülüne göre düzenlenmiştir. Bu sayede dosya doğrudan ECHOS'da koşulabilmiştir. Statik düzeltmesi için yüksekliğin indirilecek seviyesi 600 m olarak karar verilmiştir. HMATH modülüne 10 tane atışın tabaka hızları da girilmiştir. Tabaka hızları MUTE uygulanmamış veri dosyalarından okunmuştur. Bu veri dosyalarında 1. tabaka hızları belirgin olmadığından 2.tabaka hızları programa tanıtılmıştır.

3.8 Atış Ortamından Ortak Derinlik Noktasına Geçiş

Ortak derinlik noktası ortamına geçiş işlemi programda SORT modülü ile statik düzeltmenin sonunda yapılmıştır. Modüle katlanma sayısı ve maksimum iz sayısı girişi yapılmıştır.

3.9 Ters Evrişim

Filtreleme işleminden sonra bu adım gerçekleştirilir. Dekonvolüsyon işlemi için programda DECONA modülü kullanılmıştır. Modülün içinde SPIKE komutu tercih edilmiştir.

3.10 Hız Analizi

Programda VELDEF komutu ile interaktif bir şekilde hız analizi yapılmıştır. Hız

analizi 20 artışlı CDP aralıklarına uygulanmıştır. Elde edilen hızlar ayrıca bir hız dosyasına kaydedilmiştir.

3.11 Normal Kayma Düzeltmesi

Normal kayma düzeltmesi için NMO modülü kullanılmıştır. Bu modül içinde bir önceki adımda oluşturulan hız dosyası çağrılmış ve bu dosyaya göre normal kayma düzeltmesi uygulanmıştır.

3.12 Yığma

Yığma, yansıma sinyallerinin tek bir noktaya toplanması işlemidir. Her CDP noktası için bir tane sinyal elde edilir. Bu işlem yanal süreklilik belirginleştirir ve sinyal/gürültü oranını arttırır.

3.13 Migrasyon

Programda MIGTX modülü kullanılmıştır. Modüle parametre olarak toplam CDP sayısı, dalma açısı ve CDP aralığı girilmiştir. Hız analizi adımında elde edilen hız dosyası modüle çağrılmıştır. Program bu hızlara ve parametrelere bağlı olarak kesitte sismik göç işlemini yapmıştır.

4 SONUÇLAR

Çalışma alanı kömür potansiyeli yüksek bir bölge olduğundan, kesitte sedimanter tabakalanmanın görülmesi beklenmiştir. Kesitte 0-0,4 s aralığında tabaklanma görülmemektedir. Bunun sebebi veri işlem basamaklarında filtreleme işlemi sırasında gürültülerin yeterince bastırılamamasından kaynaklanmaktadır. O,4 s de kömürlü zona giriş yapılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, bilgisiyle, fikirleriyle ve tavsiyeleriyle bana yön veren Dr. Öğrt. Üyesi Caner İmren'e ve Ar. Gör. Beril Karadöller'e çok teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca benden desteğini esirgemeyen, kendimi geliştirmem için tüm imkanlarını sunan ve bitirme çalışmamda kullandığım veriyi sağlayan H. Sedat Başar'a teşekkürü borç bilirim.

KAYNAKLAR

Can, A. Z., Ecevitoğlu, B., & Aldaş, G. U. (2009). Eği Datumda Statik Düzeltme: 2 Boyutlu Sismik Yansıma Çalışması . İstanbul Yerbilimleri Dergisi, 21-27.

Can, A. Z., Ecevitoğlu, B., & Aldaş, G. U. (2009). Eğik Datumda Statik Düzeltme: 2-Boyutlu Sismik Yansıma Çalışması. 21-27.

Canıtez, N. (1997). Jeofizikte Modelleme. İstanbul: Literatür Yayıncılık.

Canıtez, N., & Kuleli, H. S. (1992). Ege Bölgesinin sismik tomografi ile üç boyutlu modellemesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kurt, H., Demirbağ, E., & Kuşçu, İ. (1999). Investigation of the submarine active tectonism in the Gulf of Gökova, southwest Anatolia–southeast Aegean Sea, by multi-channel seismic reflection data. Tectonophysics, 477–496.

Ocakoğlu, N., & Altan, Z. (2014). İzmir, Gülbahçe Ve Sığacık Körfezleri'nin Sığ Sismik Yansıma Verileri İle Araştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ocakoğlu, N., & Demirbağ, E. (2005). İzmir körfezi ve dolaylarının aktif tektonizmasının sismik yansıma verileri ile incelenmesi. İTÜDERGİSİ, 93-104.

Okay, A. I. (2008). Geology of Turkey: A Synopsis. Der Anschnitt, 19-42.

Okay, A., & Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. Geological Society, special publications, 475-515.

Özer, Ç., & Polat, O. (2017). İzmir ve Çevresinin 1-B (Bir-Boyutlu) Sismik Hız Yapısının Belirlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 147-168.

Taymaz, T., Jackson, J., & McKenzie, D. (1991). Active tectonics of the north and central Aegean Sea. Geophysical Journal International, 433-490.

Yıldız, A., Dumlupunar, İ., Bağcı, M., Ulutürk, Y., Başaran, C., & Erdoğan, E. (2012). Afyonkarahisar ve Çevresinin Depremselliği. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1-7.

Zorluer, İ., & Gücek, S. (2019). Afyonkarahisar Uygukent Bölgesinin Sismik Kırılma Yöntemi Sonuçlarının Mikrobölgeleme Esasına Göre Değerlendirilmesi. CivilTech, 603-613.

Zemin Projelerinde Sismik Parametrelerin Kestirimi ve Depreme Dayanıklı Yapıların Kayaç Niteliği

Estimation of Seismic Parameters in Ground Projects and Rock Quality of Earthquake Resistant Structures

M. Aktaş, E. Demirbağ
İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Magmadaki konveksiyon akımları nedeniyle yer kabuğunda meydana gelen kırılma sebebiyle ani olarak ortaya çıkan doğal sismik dalgaların sonucu olan depremler, yeryüzünü sarsarak hasara neden olmakta ve zeminde hem düşey hem de yatay yönde deformasyona sebep olmaktadır. Depremlerin meydana getirdiği deformasyonların, değişik zeminler üzerinde bulunan benzer yapılarda farklı etki gösterdiği bilinmektedir. Bunun nedeni deprem dalgalarının farklı zeminlerde farklı şekilde ilerlemesi ve zemine göre oluşan dinamik yük etkisinin farklı olmasıdır. Depremin zemin yüzeyinde ve zemin içinde oluşturacağı yanal ve düşey yönlü dinamik yüklerin kestirimi ve bu parametrelere uygun yapı inşası, yapı üzerinde oluşabilecek olası etkileri minimize eder. Bu çalışma, oluşan hasarı minimize etmek amacıyla deprem, zemin ve yapı etkileşimlerinin araştırılması ve zeminin sismik dalga hızları, rezonans frekansı gibi jeofizik özelliklerinin, uygulamalı jeofizik yöntemlerden sismik kırılma yöntemi ile kestiriminden oluşmaktadır. Deprem-yapı-zemin etkileşimi tespit edilmek üzere, sismik kırılma yöntemi uygulanacak ve seçilen bölgenin jeolojik ve jeofizik özelliklerini kapsayan yer içi modeli çeşitli programlar yardımıyla oluşturulacaktır. Oluşturulan bu model; zemin parametreleri ve yeraltı tabakalarının fiziksel özellikleri (makaslama modülü, elastisite modülü, sıkışmazlık modülü, doğal salınım periyodu, sismik büyütmesi ve poisson oranı v.b.) hakkında bilgi verecektir. Elde edilecek olan bu veri seti, kayaç özellikleri ile birlikte yorumlanarak, ana kayanın deprem-yapı-zemin ilişkisindeki yerine ulaşılacaktır.
Anahtar Kelimeler: sismik kırılma, zemin parametreleri, İTÜ Ayazağa Kampüsü.

ABSTRACT Natural seismic waves arose from break in the earth’s crust caused by convection currents in magma, creates earthquakes which creates horizontal and vertical deformation in the ground by jolting it. It is known that the earthquakes have different effects on different soil types but on similar structures. The reason for this is mainly due to the distinct propogation of seismic waves in different soil types and distinct dinamic loading on different soil types. Identification of dynamic loads in vertical and horizontal directions in the ground holds a crucial role as structures built according to these parameteres can minimise the effect of earthquakes. This project aims to study interactions between earthquake, soil and structures and obtain the geophysical properties of the ground such as seismic wave velocities and resonance frequency using the seismic refraction method, which is one of the applied geophysical methods. For this, seismic refraction method will be applied and geological and geophysical properties of underground model will be formed by using different softwares. This model, is expected to give information about soil parameters and underground physical properties such as shear modulus, modulus of elasticity, incompression modulus, natural oscillation period, seismic amplification and poisson's ratio... These data along with the rock properties will be interpreted to find the effect of bedrock to the earthquake, structure and ground interactions.
Keywords: seismic refraction, ground parameters, ITU Ayazaga Campus

1 BÖLÜM 1

1.1 Giriş

Deprem dalgası çıktığı kaynaktan itibaren yayılım yolu ile hem yer kabuğuna hem de üzerindeki yapıya hasar verir. Deprem dalgasının yapıya vereceği hasar tespit edilebilirse, bu dalga üzerinde yapılan çeşitli mühendislik hesaplamaları ile yapı – hasar ilişkisi ortaya konarak olası hasar minimize edilebilir hale gelir. Bu amaçla inceleme alanında ana kayayı tespit edebilmek için, sismik kırılma çalışması yapılmış olup zemin yapısının yer altı tabakalarına ait P ve S hız değerleri belirlenmiştir.

Arazi çalışmalarından elde edilmiş sismik veri kayıtları bilgisayar ortamında SeisImager ve ekstra yazılımlar kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda arazide kaydedilen kırılma verilerinden, yer içi modeli elde edilerek bu modelin sismik P ve S hızları belirlenmiştir.

Zemin araştırmasına yönelik bu projede, jeofizik çalışmalardan P ve S dalgası hızlarını belirlemek ve jeoteknik çalışmalarla hesaplanması mümkün olmayan, yerin dinamik ve esneklik özelliklerini ortaya koymak amacıyla yapılmıştır. Projede belirlenen her bir tabaka için yoğunluk, maksimum kayma modülü, young modülü, poisson oranı, bulk modülü, sismik hız oranı ve zemin hâkim titreşim periyodu değerleri oluşturulan yer içi modeli sonucu elde edilen P ve S sismik hızları yardımıyla hesaplanmıştır. Tüm bu hesaplar deprem - yapı - zemin ilişkisinin anlaşılmasına katkı sağlayacak olan ortalama zemin büyütmesini ortaya koyar. Depremin etkilediği yapının yükü dikkate alındığında, yük arttıkça ana kayaya yakın olan zeminlerin depremi hasarsız ya da az hasarlı olarak atlattığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle bu projede jeoteknik anlamda inşa edilecek yapının hangi tabakaya yapılmasının uygun olduğu tartışılmıştır.

1.2 Projenin Hedeflenen Çıktıları

Çalışma alanı olarak seçilen İTÜ Ayazağa Kampüsü'nün yer altı zemin profili ve bu zemine ait sismik hız değerleri, dinamik parametreleri ve rezonans frekansı sismik kırılma sonucu hedeflenen çıktılardır.

2 ÇALIŞMA SAHASI

Bu projede jeomekanik ve mühendislik jeofiziği özellikleri üzerinde inceleme yapılacak olan alan, farklı zamanlarda farklı birimlerin çökelmesiyle oluşan tabakalı yapısı ve içinde bulunduğu formasyon nedeniyle aktif tektonik bir bölge olan İTÜ Ayazağa Kampüsü olarak belirlenmiştir. İTÜ Ayazağa Kampüsü Türkiye'de Marmara Bölgesi'nde, İstanbul ilinin Avrupa yakasında bulunmaktadır. İstanbul ili Kuzey Anadolu Fayı ve aktif tektonik hareketler sonucu oluşan yan faylardan dolayı çok fazla formasyona ayrılmaktadır. İTÜ Ayazağa Kampüsü geniş bir alanı kaplayan Trakya Formasyonu içerisinde yer almaktadır.

2.1 İnceleme Alanının Tektonik, Jeolojik, ve Yapısal Özellikleri

Kampüs alanı genel stratigrafik olarak incelendiğinde farklı yaşlarda oluşan farklı formasyonların ve bu formasyonlarda yer alan kayaçların ve bölgede aktif olan tektonik hareketlerin etkisi altında kaldığı gözlemlenmiştir. Bölgenin en alt tabanı Büyükada Formasyonu adıyla da bilinen ve fosfatça zengin olan doğu-batı uzanımlı normal fay ile sınırlandırılmış yumrulu kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bu birimin üzerinde sürekli olarak dokanak halinde bulunduğu ve bölge hâkim kayacı olan grovak ve grovakları kaplayan çimentolu çökellerle birlikte yapay olarak oluşturulan dolgular yer almaktadır. Yer alan bu birimler bölgedeki aktif tektonizma ve faylara bağlı olarak gelişen magmatik sokulumlar nedeniyle andezit ve dayk diyabazları ile kesilmiş ve farklı derecelerde ayrışmıştır (Yazıcı ve diğ., 1992).

İnceleme alanı yapısal olarak belirgin tabakalıdır ve çok sayıda çatlak, kıvrım ve fay içermektedir. Bu deformasyonun nedeni bölgenin sismik aktif bir bölge olmasıdır. Kıvrımlar ve fay faaliyetleri nedeniyle bölge hâkim kayacında ve yan kayaçlarda fiziksel ve kimyasal olarak değişim meydana gelmiş, üst tabakalara doğru geldikçe kayaçlarda çatlak oranının arttığı, ufalanmaların olduğu gözlemlenmiştir.

Tabakalar farklı litolojiye, eğime ve litolojiye sahip çok fazla sedimanter birimin birleşmesinden oluşmuştur. İnceleme alanının bulunduğu Trakya Formasyonu'na genel olarak silttaşı ve kumtaşı (grovak) birimleri hakimdir. İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsü'nün genellikle batı ve doğu kesimlerinde mostra veren silttaşı bol serizitten oluşan bir

fasiyestir. Çok ince tabakalardan oluşan fasiyes, ara seviyeli çamurtaşı ve kumtaşı (grovak) tabakalarını içermektedir. İnceleme alanında yer alan grovak birimleri sağlam olup, bunu sırasıyla silttaşı ve çamurtaşı takip etmektedir.

3 YÖNTEM VE KAPSAMLAR

Bu projede jeolojik ve jeofizik veriler birlikte değerlendirilerek, inceleme alanının yer içi profili ve zemin özellikleri ortaya konmuştur. Jeolojik veriler kapsamında İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsü'nün genel jeolojisi, tektonik yapısı, yapısal jeolojisi ve zemin hâkim kayacının jeomekanik özellikleri literatür çalışması ile belirlenmiştir. Jeofizik veri için uygulamalı jeofizik yöntemlerinden Sismik Prospeksiyon yöntemi kullanılmıştır. Sismik prospeksiyon sonucu elde edilen veri çeşitli programlarla yer içi modeli oluşturmak için kullanılmıştır. Oluşan yer içi modeli, bölge haritası ve bölge jeolojisi ile birlikte değerlendirilmiştir.

3.1 Sismik Yöntemler

Yer altı yapılarının sismik hız değişimlerini inceleyen ve diğer yöntemlerin aksine en derinden bilgi veren uygulamalı jeofizik yönteme sismik yöntem denir. İnilecek derinliğe göre herhangi bir enerji kaynağından (gürültü, darbe, patlatma, vibrosismik, airgun vb.) yer kabuğunu titreştirerek oluşturulan mekanik enerji sonucu üretilen sismik sinyalin yayınımından hareketle ortaya çıkan bir yöntemdir. Kullanılan bu enerji kaynakları ses dalgası üreterek, yer içinde elastik dalgalar şeklinde yayılır. Yer içerisinde ses dalgaları ile oluşturulan bu mekanik enerji sonucu sismik dalgalar, yer altında ilerlerken akustik empedans (sismik hız*kayaç yoğunluğu) farkı yaratacak ortam değişiklikleri ile karşılaştığında doğrudan, yansıyarak veya kırılarak yer yüzüne geri dönerler. Yeryüzüne döndüklerinde titreşime duyarlı olup titreşim hızının ölçüldüğü basit sarkaç mekanizmasına sahip olan karada jeofon, denizde ise hidrofon olarak adlandırılan alıcılar tarafından algılanarak bir sismik kayıt ünitesinde kaydedilirler (Şimşek, 2002). Sismik yöntemde yer içerisine gönderilerin dalgaların kullanılan alıcılara varış zamanları kullanılarak yeraltı tabakalarına ait derinlik ve hız parametreleri belirlenir. Bu çalışmada elastik dalga kaynağı olarak cisim dalgaları kullanılmıştır. Cisim dalgaları boyuna ve enine dalgalar olmak üzere ikiye ayrılır. Sıkışma veya primer olarak da bilinen boyuna dalga P dalgası iken, alıcıya ikincil olarak gelen sekonder veya kesme dalgası olarak da bilinen enine dalga S dalgasıdır.

3.1.1 Sismik kırılma prensibi

Uygun kaynak kullanılarak oluşturulan sismik dalgalar yer altı katmanlarından kırılana kadar yerde aşağı doğru yayılır. Kırılan dalgalar, istenilen derinlik penetrasyonuna bağlı olarak, 1-10 metre aralıklarla 24 veya 48 jeofon ile tespit edilir. Jeofonlar, sismograf tarafından derlenmiş olup, zaman izi olarak veri üreten alıcılardır. Jeofonlara ulaşan doğrudan ve kırılan dalgalar, sismik kayıtçı ünitesinde çeşitli programlar ile işlenip, hız tespiti yapmak üzere kaydedilir. Çeşitli programlar yardımıyla sinyalin ilk varış noktası okunduktan sonra Uzaklık – Zaman grafiği elde edilir. Elde edilen grafik üzerindeki direk gelen ve kırılan dalgaların eğimlerinin çarpma işlemine göre tersi alınarak tabakaların hız değerleri hesaplanmaktadır ve düz çözüm yapılarak yer içi modeli çizilmektedir. Sismik kırılma yönteminde yapılan değerlendirmede temel fizik kurallarından biri olan Snell yasası geçerlidir.

4 ARAZİ VE VERİ İŞLEM AŞAMALARI

4.1 Ölçüm Sahası ve Ölçüm Alanında Yapılan Jeofizik Çalışmalar

Bitirme çalışması kapsamında kullanılan veriler İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsü içerisinde bulunan Çamlık ve Lojman mevkilerine ait önceki yıllarda toplanmış sismik kırılma verileridir. Çalışmada P kayıtları için 24, S kayıtları için 12 adet jeofon kullanılmış olup her iki kayıt içinde atış aralığı ve ofset 2 m olarak uygulanmıştır. P kayıtları için profil 48 m iken, S kayıtları için profil 24 m uzunluğundadır. S atışları iki profilin kesişim noktasının solundan ve sağından olmak üzere her profil için iki kez yapılmıştır. P atışları ise yer içindeki eğimli tabakaları da daha rahat görmemiz açısından düz atış, orta atış ve ters atış olmak üzere her profil için üç kez yapılmıştır. Bu projede kaynak olarak balyoz ve hem P hem de S jeofonları kullanılmıştır. Jeofonlar ve sismik

kullanılan sismik kayıt cihazı birbirlerine sismik kablo ile bağlanmıştır. Sismik kayıt cihazı Trigger'a bağlıdır. Oluşturulan elastik dalganın yayılabilmesi için zeminle daha iyi teması sağlayan plaka kullanılarak 2 hat boyunca ölçüm yapılmıştır.

4.2 Veri İşlem Adımları

Bitirme projesi kapsamında veri işleme prosedürlerinde SeisImager programı içerisinde yer alan Picwin ve Plotrefa modülleri kullanılmıştır. Profil 1 ve 2'yi değerlendirirken P hızını değerlendirebilmek ve yer içi modelini elde edebilmek için gerekli olan ilk varış okumaları Picwin modülü ile yapılmış ve kaydedilmiştir. Picwin modülü yardımıyla ilk varış noktaları okunan P hızı değerleri kaydedilmiştir ve kaydedilen bu değerler Plotrefa modülü yardımıyla yer içi modeli oluşturmak için öncelikle Traveltime – Uzaklık grafiğine dönüştürülmüştür. Elde edilen grafik üzerinde kırılma noktalarından işaretleme yapılmıştır. Yapılan bu işaretleme, tabaka sayısı ile doğru orantılıdır. İlk varış noktalarının işaretlenmesi sonucu elde edilen Traveltime – Uzaklık grafiklerine düz çözüm yöntemi kullanılarak "inversion" işlemi yapılmış ve bölgenin yer içi modeli ve P hızı değerleri elde edilmiştir. Bölgenin birinci tabakasının P hızı değeri 632 m/s, ikinci tabakasının P hızı ise 1492.5 m/s olarak hesaplanmıştır. S hız değerlendirmesi programdaki Picwin modülü ile yapılmıştır. İlk varış noktaları okunduktan sonra hız işaretlemesi yapılmış ve hız değerleri belirlenmiştir. İnceleme yapılan alanda birinci tabakanın S hızı değeri 306 m/s iken, ikinci tabakanın S hızı değeri 506.5 m/s'dir. Elde edilen bu hızlar zemin parametrelerini hesaplamak üzere kullanılmıştır. Ortalama tabaka kalınlığı ve zeminin dinamik parametreleri Excel programında ampirik olarak hesaplanmıştır.

5 SONUÇLAR

Ölçüm sahası içerisinde oluşturulan profil boyunca elde edilen P ve S hızları Excel programı üzerinde formüller girilerek dinamik parametreleri hesaplamak üzere kullanılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda çıkan değerler aşağıdaki tablodaki gibidir.

Yapılan değerlendirme sonucunda birinci tabaka orta sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakalarından oluşan ZD zemin sınıfına dahil olurken, ikinci tabaka çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakalarından veya çok çatlaklı zayıf kayalardan oluşan ZC zemin sınıfına dahildir.

Çizelge 1. Zemin Parametreleri

DİNAMİK PARAMETRELER	**1.TABAKA**
Vp (m/s)	632
Vs (m/s)	425
Ortalama kalınlık (m)	6,85
Vp/Vs	1,49
h/Vs	0,0161
Poisson Oranı	0,09
Yoğunluk (kg/m^3)	1554
Shear Modülü (MPa)	281
Elastisite Modülü (MPa)	610
Bulk Modülü (MPa)	247
Ortalama Zemin Büyütmesi (700/Vs)	1,647
Lame Sabiti	53,66
Zemin Hakim Titreşim Periyodu (sn)	0,42

TEŞEKKÜR

Bu bitirme projesinin gerçekleştirilmesinde, iki dönem boyunca değerli bilgilerini aktararak, projenin her aşamasına katkı sunan saygıdeğer danışman hocam; **Prof. Dr. Mustafa Emin Demirbağ**'a, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen **Ar. Gör Beril Karadöller**'e, bana topoğrafya verisi hazırlayarak, haritamı hazırlamamda yardımcı olup maddi manevi desteğini hep hissettiren **Ar. Gör Nedim Gökhan Aydın**'a ve çalışma süresince hem teknik anlamda hem de veri işlem anlamında bana destek olan **Jeofizik Yüksek Mühendisi Zafer Demir**'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

Arkoç, O. (2004). Genel Jeoloji ve Jeofizik .

Aslan, Ç. (2014, Haziran). İstanbul Ömerli-Hüseyinli Arasında Kalan Bölgenin Jeolojisi, Kaya Zemin Özellikleri Ve Tektonik Modellenmesi İle Deprem Riski Açısından İncelenmesi. İstanbul, Türkiye.

Beşergil, B. (2019, Ağustos). Refraksiyon Yasası (Snell's law).

Beyhan, G. (2013). Sismik Prospeksiyon Ders Notları. Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik mühendisliği bölümü.

Bozkurtoğlu, E. (1996, Haziran 10). İTÜ Kampüs Alanındaki Kayaçların Yüzey Pürüzlülüğünün Görüntü Analiz Yöntemi ile Araştırılması . İstanbul , Türkiye: YÖK.

Church, H. K. (1981). McGrax-Hill. *Excavation Handbook.* içinde

Huygens-Fresnel ilkesi. (2012, kasım).

İmre, N. (2011, Temmuz). Gürpınar Bölgesindeki Heyelanların Jeoteknik Olarak İncelenmesi. İstanbul, Türkiye.

Karabatak, İ. (2013). Jeofizik Uygulamalar İle Yerin Sökülebilirlik Açısından İncelenmesi . *Bitirme Projesi*. İstanbul , Türkiye: İstanbul Üniversitesi.

Keçeli, A. (1990). Sismik Yöntemlerle Müsaade Edilebilir Dinamik Zemin Taşıma Kapasitesi Ve Oturmasının Saptanması. *Jeofizik*, 83-92.

Özaydın, K. (1982). Zemin Dinamiği, Deprem Mühendiliği Türk Milli Komistesi Yayınları No:1. istanbul.

Özgül, N. (2011). *İstanbul İl Alanının Jeolojisi* . istanbul: İBB.

Salem, H. S. (2000). The compressional to shear-wave velocity ratio for surface soils and shallow sediments. *European Journal of Environmental and Engineering* , 5, 3-14.

S. Dalgıç, M. Turgut, İ. Kuşku, Ç. Coşkun, T. Coşgun. (2009). İstanbul'un Avrupa Yakasındaki Zemin ve Kaya Koşullarının Bina Temellerine Etkisi . *Uygulamalı Yerbilimleri Sayı:2*, 47-70.

Şengöz, T. E. (2021). Zemin Nedir? Zemin Mühendisliği Nedir? İdeal Zemin Nasıl Olmalıdır? Bozuk Zeminler Nasıl Anlaşılır? Zemin İyileştirme Yönemleri Nelerdir? *Academia*, 35.

Şimşek, J. (2002, 08 19). Sismik Kırılma Verilerini Değerlendirme Yöntemleri ve Bunların Antalya Merkez İlçe Hisarçandır Köyü Yapılaşma Alanına Uygulnması. Isparta, Türkiye.

T. Talay, İ. Akmeşe, İ. Bostancıoğlu, P. Aksoy, A. Yeşiltaş, H. Mehmetoğlu, M. Tekin. (2017). *İstanbul İli, 1/25.000 Ölçekli Arazi Kullanımına Esas Jeolojik Etüt Raporu.* İstanbul : İstanbul Büyükşehir Belediyesi.

Toprak, M. (2020, Aralık). Deprem Sırasında Zemin Sallanması Ve Sismik Dalgaların Oluşması.

Upadhyay S.K., Wow A. (2004). Raypath, Wavefront Curvature, Normal Moveout Velocity (VNMO) and Subsurface Medium Properties. W. A. Upadhyay S.K. içinde, *Seismic Reflection Processing* (s. 207-240). Berlin: Springer.

Batı ve Orta Anadolu'da Farklı Isı Akısı Özelliklerine Sahip İki Jeotermal Alanın Kabuk Yapısının Alıcı Fonksiyonları Analizi İle İncelenmesi

Investigation of the Crust Structure of Two Geothermal Fields with Different Heat Flux Properties in Western and Central Anatolia by Analysis of Receiver Functions

Ç. Çağlar, T. Eken, D. Keleş
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü

ÖZET Bu çalışmada farklı ısı akısı değerleri gördüğümüz jeotermal bölgelerdeki çeşitliliğin nedeni araştırılmıştır. Bu amaçla, ısı akısının yüksek ve nispeten düşük olduğu alanlarla derinlikle değişen kabuk özellikleri arasında ilişki olup olmadığının araştırılması planlanmıştır. Çalışmada uzak-alan deprem kayıtları kullanılmıştır. Seçilen deprem kayıtları, 2015-2021 yılları arasında Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KOERİ) ve T.C. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)'ın deprem istasyonları tarafından gözlemlenmiştir. Bu kayıtlardan elde edilen alıcı fonksiyonlar bir boyutlu (1-B) kabuk modellemeleri için kullanılmıştır. Uygulanan ters çözüm yöntemlerinden elde edilen hız özellikleri ve kabuk kalınlığıyla ilgili fikir vermiştir. Sonuçta, Batı Anadolu'da yüksek ısı akısı anomalisi gösteren AYDN istasyonun altında kalan kabuk yapısı sığ derinliklerde daha düşük hızlarla temsil edilirken, daha düşük ısı akısı değerlerine sahip İç Anadolu'da yer alan YOZ istasyonunun ise yüksek hızlarla temsil edildiğini gördük. Bu durum AYDN istasyonu altında yer alan kırıklı-çatlaklı yapı ölçeğinin çok geniş olmasından kaynaklı olarak sıcak malzemenin yukarı çıkarak, daha sığda porozitenin de artması sonucu gelişen kayaç-içi sıvısını ısındırması ile açıklanabilir.
Anahtar Kelimeler: Alıcı Fonksiyonları, Isı akısı, Vp/Vs Oranı, 1-Boyutlu Hız Modeli, Kabuk Kalınlığı

ABSTRACT The aim of this study is to examine the changes of isotropic features in the scale of crustal part at different geothermal regions with varyingheat flux values .For this purpose, the receiver function analyses and P wave polarization method are performed to investigate whether there is a relationship between areas with high and relatively low heat flux and crustal properties. Our database consists of three-component teleseismic earthquakesrecorded by two selected broadband seismometers in Western and Central Anatolia. The dataset from selected stations are obtained from KOERİ and AFAD between 2015-2021. In this scope, the receiver functions and P-wave polarization data are jointly inverted to determine the one dimensional (1-D) isotropic crustal model. It provides to compare the two different region with high and low heat flux and to investigate their effects on the crustal structure. As a result, we found that the station selected in AYDN had lower velocities with high heat flux anamolies, while the station selected in YOZ was representedwith high velocities with low heat flux.
Keywords: Receiver Functions, Heat Flux, Vp/Vs Ratio, 1-Dimensional Velocity Model, Crustal Thickness

1 GİRİŞ

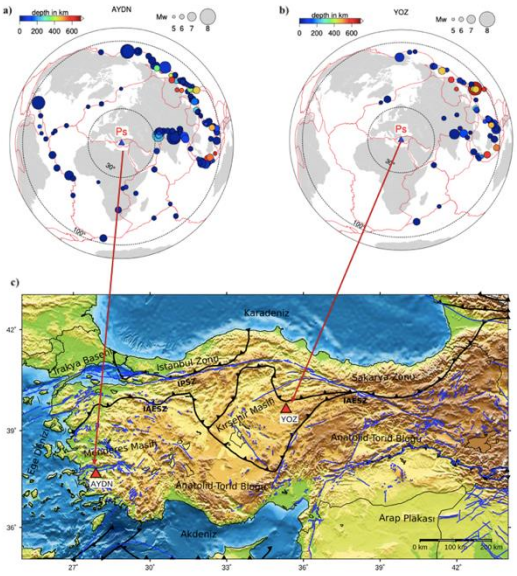
Bu çalışmada, farklı ısı akısı değerlerinin sebebi araştırılmıştır. Farklılığın sebebinin kabuk içi özellikleriyle ilişkisi olup olmadığını anlamak için bölgelerin kabuk yapısı incelenmiştir. Bu amaçla çalışmada alıcı fonksiyonları analizleri kullanılmıştır. Telesismik P-dalgalarından elde edilen alıcı fonksiyonları ve görünür Vs hızının periyot değişimlerinden yararlanarak yer içinin tabakalı hız yapısı anlaşılabilir. Böylelikle elde edilebilecek 1-B derinlikle değişen hız profilleri (V_p, V_s, ve V_p/V_s) ve buradan türetilebilecek kabuk ve çökel tabaka kalınlığı bilgileri, yer içerisinin yoğunluk-sıcaklık gibi fiziksel özellikleri hakkında fikir verebilecek sismolojik parametrelerdir. Bu araştırmada çalışma alanı olarak ısı akısının yüksek olduğu Aydın ili ve nispeten düşük olduğu Yozgat ilinden iki istasyon seçilmiştir. Bu illerin her ikisi de jeotermal aktivite açısından yoğun olan bölgelerdir.

2 BÖLGE JEOLOJİSİ

Çalışma alanlarımızdan biri olan Aydın ili Büyük Menderes Grabeni içinde yer almaktadır. Graben aktif normal faylarla sınırlı, içinden Büyük Menderes Nehri'nin de geçtiği D-B doğrultulu iki fay takımına sahip olan bir vadidir. Diğer çalışma alanımız olan Yozgat ili Çankırı Havzası'nın güney kenarında yer almaktadır. Havza dolgusunun altındaki temel kayaçlar Kırşehir Masifi'nden farklı olarak Çiçekdağ kuşağı olarak adlandırılmaktadır. Çiçekdağ kuşağı, Kırşehir Masifi'nin tipik istifini düşük açılı bir bindirme ile tektonik olarak örter. Bu bindirmeden sonra iki kuşak Yozgat magmatitleri tarafından kesilmiştir (Okay & Tüysüz, 1999).

3 VERİ

Çalışmada kullanılan jeofizik veri, seçilen istasyonlarda kaydedilen uzak depremlerin üç bileşenli dalga formlarından oluşmaktadır. Bu uzak alan deprem verileri KOERİ ile AFAD tarafından çalıştırılan iki adet genişbantlı sismik istasyondan (AYDN ve YOZ) tedarik edilmiştir. Bu istasyonlarda 2015-2021 yılları arasında kaydedilmiş; aletsel büyüklüğü 5.5'den büyük ve merkez üssü uzaklığı 30° ile 100° aralığında değişen büyük depremler seçilmiştir. Böylelikle 1127 depremden, elde edilen toplam 11794 dalga formundan, 200 depreme ait yüksek kaliteli 600 dalga formu göz ile kontrol edilerek bir sonraki aşamada alıcı fonksiyon analizleri için kullanılmıştır.



Şekil 1 a) AYDN istasyonunda kaydedilen merkez üssü uzaklığı 30° ile 100° aralığında değişen telesismik depremlerin konumu. b) YOZ istasyonunda kaydedilen merkez üssü uzaklığı 30° ile 100° aralığında değişen telesismik depremlerin konumu. Depremler odak derinliklerine göre renk kodludur. c) İstasyon dağılım haritası. Mavi renkli çizgiler aktif fayları, Siyah renkli üçgenleri içeren çizgiler ise kenet kuşaklarını ve dalma batma zonlarını gösterir. IAESZ: Izmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı, IPZ: Intra-Pontid Kenet Kuşağı.

4 YÖNTEM

4.1 Alıcı Fonksiyonlar

Alıcı fonksiyon analizleri, yer içinin kabuk ve üst manto özelliklerini görüntülemek için kullanılan güçlü bir tekniktir. Alıcı fonksiyonları (RF), uzak depremlere ait olan ve kaynak-alıcı arasındaki tüm yayılım bölgesini temsil eden dalga formu verilerinden kaynak bölgesisin etkisinin giderilmesi sonucu elde edilen zaman serileri olarak ifade edilirler ve aslında sismik istasyonların altında kalan kabuk & litosfer yapıları hakkında bilgi içerirler (Ammon, 1991).

Bu çalışma sırasında yapılan ters çözüm işleminde iki tip veri kaynağı kullanılmıştır.

Bunlar: (i) P-alıcı fonksiyonları, (ii) P-dalgası polarizasyonları. İlk veri kaynağı, P-alıcı fonksiyonları kabuk yapısına ait tepki fonksiyonunu temsil eder. İkinci veri kaynağı olan P dalgalarının polarizasyonu ise homojen bir ortam içinde sığ alt yüzeydeki S-dalgası hız dağılımı hakkında fikir verir (Rondenay, 2009). P-S (P_s) dönüşümleri de temsil eden P-alıcı fonksiyonlarını üretirken, telesismik depremlerin dalga formlarına frekans ortamında ters evrişim (dekonvolüsyon) (Ammon, 1991) işlemi uygulanır.

4.2 Görünür Vs Hızları

Alıcı fonksiyonların ters çözüm modellemelerinde tekil çözüm olmama problemi, yer içinde modellenmesi düşünülen farklı tabakaları, kalınlıkları yerine zaman gecikmeleri cinsinden parametrize ederek çözülmesi planlanır. Jacobsen ve Svenningsen (2007) tarafından başarı ile test edilerek geliştirilen prosedürü izleyerek, artan periyotlarda (T) Radyal-RF / Düşey-RF oranlarından yola çıkarak görünür S-dalgası hız dağılımını hesaplayabiliriz. Her bir alıcı fonksiyonu, farklı $V_{sapp}(T)$ eğrilerini hesaplamak için kullanılırken, bu sayede oluşturulan birden fazla görünür eğriyi temsil eden ortalama $V_{sapp}(T)$ eğrisinin kestiriminde medyan eğri kullanılır. Daha sonra farklı dalga boylarından hesaplanan bu görünür S-dalgası hızlarına ve alıcı fonksiyonlara yer içinin gerçek mutlak hız modelini oluşturmak için ortak ters çözüm işlemi uygulanmıştır.

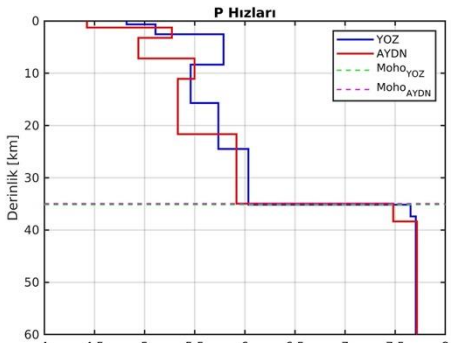
4.3 Alıcı Fonksiyonların ve Görünen S-Dalgası Eğrilerinin Ortak Ters Çözümü

Bu çalışmada, Batı ve İç Anadolu'da bulunan iki adet deprem kayıt istasyonunda gözlenen telesismik depremlere ait dalgaformlarından üretilen alıcı fonksiyonları ve görünür S-dalga hızı (V_{sapp}) eğrilerine, Schiffer vd. (2019) tarafından daha önce test edilen ters çözüm algoritması uygulandı. Bu iki veri seti birbirlerini tamamlayıcı bir özelliğe sahiptir ve bunlar üzerinde denenen birleşik ters çözüm modellemesi, sisteme çok fazla ön bilgi dahil etmeden benzersiz olmama problemini önemli ölçüde azaltabileceği için oldukça faydalı olabilir (Schiffer vd., 2019).

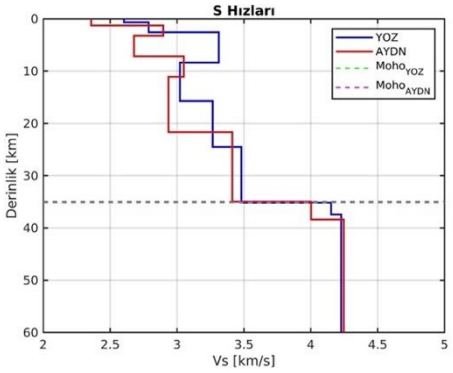
Bu çalışmada, alıcı fonksiyonlarının (RF) -0.5 ile 20 s arasındaki kısmını ve görünen S-hızını 0 ile 25 s arasında değişen periyotlar için modelledik. Bu noktada, $V_{sapp}(T)$ eğrileri için maksimum periyot olarak T=26 sn olarak seçildi. $V_{sapp}(T)$ gözlemsel eğrilerinin hata miktarı, tüm bağımsız eğrilerin medyan tipi ortalama eğri değerine en yakın olan %68 adet bağımsız eğrinin temsil ettiği sapma miktarına göre belirlenmektedir (Schiffer vd., 2019).

5 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

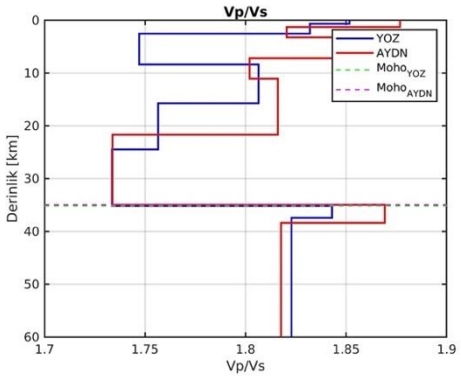
Her iki istasyon için V_p hızlarına bakıldığında üst kabuk orta kabuk ve Moho sınırı da dahil olmak üzere AYDN'deki hızların YOZ'dakilere göre düşük olduğunu söyleyebiliriz. Moho sınırında AYDN'deki V_p hızı ~7.48 km/s, YOZ'da ~7.65 km/s. Kabuk içinde Moho'ya kadar ortalama V_p hızları ise AYDN'de ~5.22 km/s YOZ'da ~5.5 km /s. V_s hızlarına baktığımızda benzer şekilde YOZ istasyonundaki hızların AYDN'ye göre yüksek olduğunu görüyoruz. Moho sınırına kadar YOZ istasyonuna ortalama V_s hızları ~3.24 km/s iken AYDN 2.88 km/s ve Moho sınırında YOZ'daki V_s hızı ~4.15 km/s ve AYDN'de ~4 km/s. V_p/V_s oranlarının ise iki istasyonda birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu oranlar Moho sınırında AYDN'de ~1.86, YOZ'da ise ~1.84 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada yüksek ısı akısı değerine sahip(AYDN) ve nispeten daha düşük (YOZ) ısı akısı değeri görülen iki jeotermal bölgede bu ısı akısı farklılıklarının kabuk kalınlıkları ve kabuk hız yapısına olan etkileri araştırılmıştır. Kabuk kalınlıkları incelendiğinde her iki bölgedeki kabuk kalınlıkları birbirine çok yakındır. Fakat hız yapıları değerlendirildiğinde, AYDN istasyonu YOZ istasyonuna göre daha düşük hızlarla temsil edilmektedir(Şekil2-Şekil 3).



Şekil 3 AYDN ve YOZ istasyonları için derinliğe bağlı değişen Vp hızları ve Moho sınırları



Şekil 2 AYDN ve YOZ istasyonları için derinliğe bağlı değişen Vs hızları ve Moho sınırları



Şekil 4 AYDN ve YOZ istasyonları için derinliğe bağlı değişen Vp/Vs oranı ve Moho sınırları

Elde edilen bu sonuçlar önceki yıllarda yapılan çalışmalarla da örtüşmektedir (e.g. Wang vd., 2020; Çubuk-Sabuncu vd., 2017). Bu tez çalışmasında analiz edilen AYDN istasyonunu da içeren Mendres Masifi'nin jeodinamik ve tektonik aktivitesi özellikleri göz önünde bulundurulduğunda depremselliğin daha sığ derinliklerde yoğunlaştığını ve yüzeye yakın kırık-çatlak sistemlerinin bulunduğu görülmektedir. Bu bölgede kırıklı-çatlaklı yapının çok geniş olmasından kaynaklı olarak porozitenin artması sonucu kayaç içindeki boşluklar sıvı barındırıyor olabilir. YOZ istasyonunun bulunduğu bölgeyi karakterize eden Kırşehir Masifi'nde ise bölgedeki deprem aktivitesinin daha az olduğu görülmektedir. Fakat ısı akısının düşük olmasına rağmen bu bölgede geçmiş dönem volkanik aktivite sonucu jeotermal potansiyelin yüksek olduğunu bilinmektedir (Akın vd., 2014). Kırşehir Masifinde yer alan Tersiyer-Kuvaterner volkanitler burada sıcak malzemenin ısınması volkanizmayla bağlantılı olduğunu göstermektedir (Erdoğan vd., 1996; Akın vd., 2014). İnceleme bölgelerinden Menderes Masifi'nde jeotermal kaynak, alt kabuktaki sıcak malzemenin yükselmesiyle boşluk içindeki suların ısınması sonucu meydana gelebilir. Öte taraftan YOZ istasyonunun bulunduğu Kırşehir Masifi'nde görülen jeotermal kaynak ise bu bölgedeki volkanik aktivite ile ilişkili olabilir.

TEŞEKKÜR

Veri analizi ve modelleme evrelerini gerçekleştirmemize yardımcı olan MATLAB tabanlı yazılımları paylaştığı için Dr. Christian Schiffer'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Akın, U., Ulugergerli, E. U., & Kutlu, S., 2014. Türkiye Jeotermal Potansiyelinin Isı Aksı Hesaplamasıyla Değerlendirilmesi. *Maden Tetkik Ve Arama Dergisi*, *149*, 205-214.

Ammon, C.J., 1991. The isolation of receiver effects from teleseismic P waveforms. *Bulletin of the Seismological Society of America* 81, 2504–2510.

Çubuk-Sabuncu, Y., Taymaz, T., & Fichtner, A., 2017. 3-D crustal velocity structure of western Turkey: Constraints from full-waveform tomography. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 270, 90– 112.

Okay, A. I., & Tüysüz, O. 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. Geological Society, London, Special Publications, 156(1), 475–515. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.156.01.22

Rondenay, S., 2009. Upper Mantle Imaging with Array Recordings of Converted and Scattered Teleseismic Waves. *Surveys Geophysics* 30, 377–405

Schiffer, C., Eken, T., Rondenay, S., & Taymaz, T., 2019. Localized crustal deformation along the central North Anatolian Fault Zone revealed by joint inversion ofP-receiver functions andP-wave polarizations. *Geophysical Journal International*, *217*(1), 682-702. doi:10.1093/gji/ggz040

Svenningsen, L., & Jacobsen, B. H. 2007. AbsoluteS-velocity estimation from receiver functions. Geophysical Journal International, 170(3), 1089–1094. doi:10.1111/j.1365-246x.2006.03505.x

Wang, H., Huang, Z., Eken, T., Keleş, D., Kaya-Eken, T., Confal, J. M., Erman, C., Yolsal-Çevikbilen, S., Zhao, D., & Taymaz, T., 2020. Isotropic and Anisotropic P Wave Velocity Structures of the Crust and Uppermost Mantle Beneath Turkey. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 125(12). https://doi.org/10.1029/2020jb019566

Manyetotellürik Verilerin Boyutluluk ve Doğrultu Analizi
Dimensionality and Directivity Analysis of Magnetotelluric Data

S. Kaplan, E. Uslusoy, Ü. Avşar
İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Manyetotellürik (MT) yöntem, elektrik (E) ve manyetik (H) alanlarının dünya yüzeyinde spesifik yönlerde ölçüldüğü pasif bir elektromanyetik (EM) yöntemdir. Birkaç on metreden yüzlerce kilometreye kadar değişen derinlik ölçülerinde yer altındaki özdirenç dağılımının belirlenmesi mümkündür. Manyetotellürik (MT) empedans tensörü, yer içinin bölgesel elektriksel özelliklerini içinde barındırır. Ancak yüzeye yakın heterojen bozucu etkiler empedans tensörünün bozulmasına neden olurlar. Buna karşın yüzeye yakın iletken kütlelerin galvanik etkilerinin bölgesel MT tepkisini bozduğu durumlarda, faz tensörü bu etkilerden etkilenmez ve bölgesel faz bilgisini korur. Söz konusu bilgi kullanılarak bölgesel boyutluluk ve elektriksel yönelim konusunda bilgiler elde edilebilir. Bu çalışmada, öncelikle farklı yer altı modelleri için üretilen sentetik veriler kullanılarak faz tensörü özellikleri test edilmiştir. Daha sonra yöntemin gerçek arazi verisi üzerindeki sonuçları irdelenmiştir.
Anahtar Kelimeler: MT yöntem, Faz tensörü

ABSTRACT The magnetotelluric (MT) method is a passive electromagnetic (EM) method in which the electric (E) and magnetic (H) fields are measured in specific directions on the Earth's surface. It is possible to determine the resistivity distribution underground at depths ranging from a few tens of meters to hundreds of kilometers. Magnetotelluric (MT) impedance tensor includes the electrical properties of the subsurface structures at the measurement site. However, localized heterogeneities in conductivity near the Earth’s surface distort the electromagnetic response (impedance tensor) produced by the regional conductivity structure under investigation. On the other hand, although the galvanic distortions affect the regional MT responses, the phase tensor obtained from the impedance tensor is not affected by these distortions and preserves the regional phase information of the measurement site. Using this property of the phase tensor, dimensionality and geoelectrical direction can be obtained. In this study, the syntetic data which were designed for different subsurface models used for testing the phase tensor properties. Then, the method were examined on the real field data.
Keywords: MT method, phase tensor

1.1 Giriş

Manyetotellürik (MT) yöntem yer altındaki yapıların elektrik özelliklerinin ortaya çıkarılması için uygulanan jeofizik yöntemlerden biridir. Bu yöntemde, atmosfer ve manyetosferdeki dalgalanmalar sebebiyle oluşan doğal kaynak alanlarının yer içinde elektromanyetik alanların oluşturmasından faydalanılarak araştırma yapılmaktadır. Bu elektromanyetik alanların frekans aralığı oldukça geniş olduğu için yer içinin elektrik özelliklerine çok geniş bir spektrumda ulaşılır. Bu sayede sığ derinliklerden oldukça büyük derinliklere kadar yer içinin elektrik özelliklerinin bilgisine ulaşılması mümkün olmaktadır.

Manyetotellürik yöntemde elektromanyetik alanların yatay bileşenleri (Ex, Ey ve Hx, Hy Hz) ölçülür. Elektrik ve manyetik alanların bileşenlerinden Ex ve Hx kuzey-güney doğrultusunda, Ey ve Hy doğu-batı doğrultusunda, Hz ise yeryüzüne dik olarak ölçülür. Zamanın fonksiyonu olarak ölçülen elektrik ve manyetik alan bileşenleri, Fourier dönüşümü uygulandıktan sonra frekans ortamında her bir frekans için empedans değerlerini içeren “Empedans Tensörü” elde edilir. Manyetotellürik (MT) empedans tensörü, yer içinin bölgesel elektriksel özelliklerini içinde barındırır. Ancak yüzeye

yakın heterojen bozucu etkiler empedans tensörünün bozulmasına neden olurlar.

Buna karşın yüzeye yakın iletken kütlelerin galvanik etkilerinin bölgesel MT tepkisini bozduğu durumlarda, faz tensörü bu etkilerden etkilenmez ve bölgesel faz bilgisini korur. Söz konusu bilgi kullanılarak bölgesel boyutluluk ve elektriksel yönelim konusunda bilgiler elde edilebilir.
Bu çalışmada, öncelikle farklı yer altı modelleri için üretilen sentetik veriler kullanılarak faz tensörü özellikleri test edilmiştir. Daha sonra yöntemin gerçek arazi verisi üzerindeki sonuçları irdelenmiştir.

1.2 Empedans Tensörü

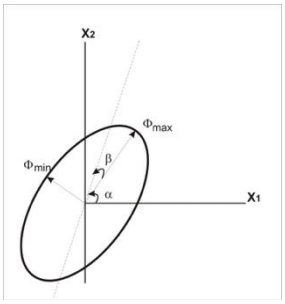
Empedans tensörü en basit anlamda homojen yarı sonsuz ortam için elektrik alanın kendisine dik yönde bulunan manyetik alana oranı olarak tanımlanan bir transfer fonksiyonudur. Empedans tensörü verinin dolayısıyla yeraltının boyutluluğu hakkında da bilgi verir. Empedans elemanlarının sayısı, yeraltının boyutluluğuna göre değişir. 1B, 2B ve 3B ortam için farklı empedans tensörü koşullarından söz etmek mümkündür.

1.3 Boyutluluk

Yer içi 1B, 2B ve 3B yapıda olabilir. Manyetotellürik verilerin 1B olması durumunda veriler 1B olarak basitçe yorumlanabilirler. Ancak veriler 2B özellikte ise MT yorumlama yapılabilmesi için manyetotellürik yöntemin temel kabullerinin geçerli olduğu TE ve TM modlarının elde edilmesi gerekmektedir. Söz konusu modları elde etmek için ölçüm doğrultumuzun yerelektrik doğrultusu yönüne döndürülmesi gereklidir. Bu durumda E_x yer elektrik doğrultuya paralel (TE) veya manyetik alanın x yönündeki bileşeni H_x yer elektrik doğrultuya paralel yönde olacaktır.

2 FAZ TENSÖRÜ

Faz tensörü yöntemi, yüzeye yakın 3B bozucu etkilerin bulunduğu durumlarda empedans tensöründen direkt olarak bölgesel faz bilgisi ile yer elektrik doğrultusunun elde edilmesine ve ortamın boyutluluk özelliklerinin doğrudan ortaya konmasına yardımcı olmasının yanısıra iki boyutlu durumda yerelektrik doğrultusunun tespitinde de kullanılmaktadır. Koordinat sisteminden bağımsız bir doğrultu ve "Trace", "Skew" ve "Determinant" olmak üzere 3 skaler birimle tanımlanmaktadır. Faz tensörü, Simetrik olmayan, rank'ı 2 olan iki boyutlu herhangi bir matris grafik olarak bir elipsle gösterilebilir (Şekil.1). Bu projede kullanılan Matlab kodu ile 1B, 2B ve 3B ortamlara ait sentetik veriler ile gerçek arazi verileri kullanılmış ve faz tensörü elipsleri modellenmiştir.

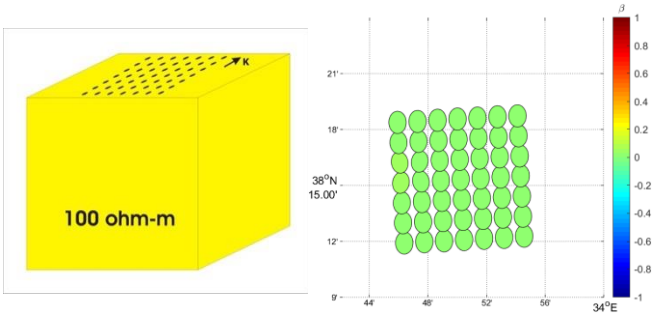


Şekil.1: Faz Tensörü Elipsi

3 FAZ TENSÖRÜ SONUÇLARI

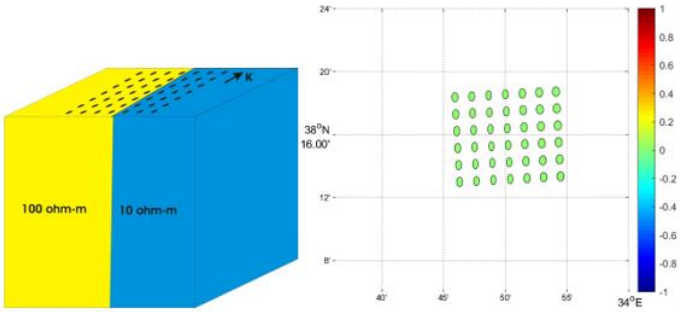
3.1 1B 2B ve 3B Modelleri

Faz tensörünü test etmek amacıyla modellerin üzerinde verilen istasyon dağılımı için farklı yer altı modelleri kullanılmıştır.
Şekil 2' de 1B 100 ohm-m özdirençli homojen ortama ait verilerin Faz tensörü sonuçları görülmektedir. Şekle göre beta değerleri sıfıra eşittir ve faz tensörü elipsleri daireseldir. Bu da ortamın homojen olduğunun ve her yerinde aynı iletkenlik değerinin görüldüğünün ispatıdır.



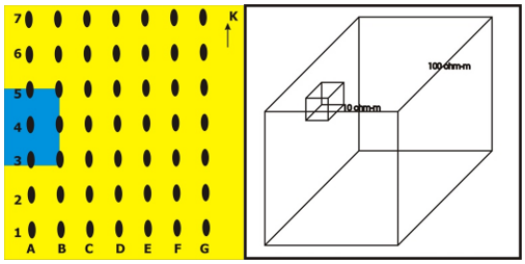
Şekil.2: 1B Ortam Modelleri

2B model olarak düşey bir süreksizlikle birbirinden ayrılan 100 ohm-m ve 10 ohm-m özdirençlerine sahip iki ortam kullanıldı. Faz tensörü sonuçlarına bakılırsa elipslerinin uzun eksenlerinin fay ile aynı doğrultuda uzandığı görülmektedir (Şekil 3). Sınırdan uzaklaştıkça ortamın 1B duruma döndüğü ve elipslerin daire şeklini aldığı görülmektedir.

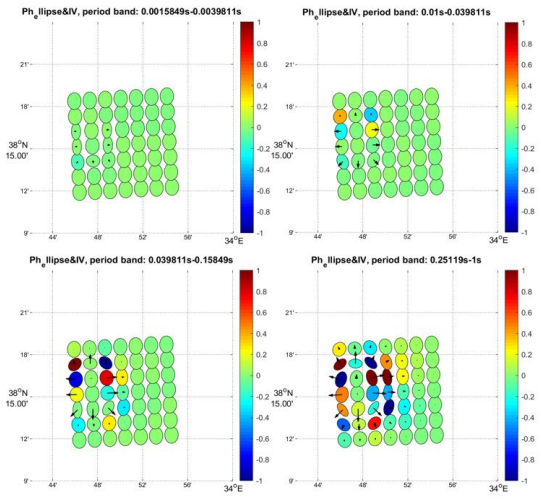


Şekil.3: 2B Ortam Modelleri

3-B ortamda faz tensörünün davranışını incelemek amacıyla yüzeyden 50m aşağıdan başlayan bir iletkenin 100 ohm-m lik bir ortam içinde bulunduğu düşünülerek sentetik modelleme yapılmıştır (Şekil 4). Periyot arttırıldıkça MT'de daha derinlerden bilgi alındığından iletken yapının etkileri faz tensörü elipsleri üzerinde oldukça açık bir şekilde görülmektedir. β değerlerinin sıfırdan farklı değerler aldığı ve büyümeye başladığı görülürken, faz tensörü elipslerinin uzun eksenlerinin de iletken kütlenin köşelerine doğru yöneldiği görülmektedir. İndüksiyon vektörleri de iletkenden dışarı yönelim göstermiştir(Şekil 5).

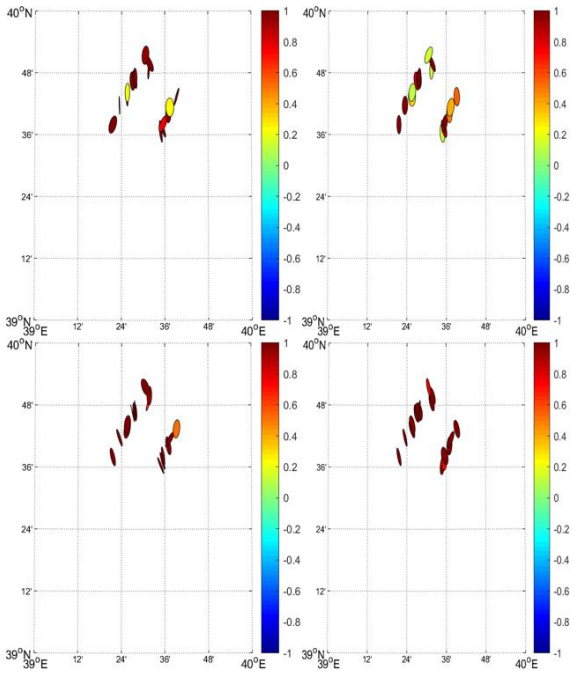


Şekil.4: 3B İletken Kütle Bulunan Ortam



Şekil.5: 3B Kütlenin Bulunduğu Ortam Modeli

Sentetik veriler haricinde 2005 yılında Erzincan Havzası'nda toplanan arazi verileri kullanılmıştır. 24 istasyonda toplanan bu MT verilerinden yararlanarak farklı periyot aralıkları için faz tensör elipsleri çizdirilmiştir (Şekil.6).



Şekil.6: Arazi Verisi Harita Modelleri

Elde edilen modellerde tensör çarpıklığı(β) değerlerinin sıfırdan farklı görülmektedir. Elipslerin uzun ekseni KAF(Kuzey Anadolu Fayı) zonunun bulunduğu kuzey yönünü işaret ederken α-β yönelimi incelendiğinde 90^0 – 120^0 derece olduğu görülmüştür. Bu durumda elde edilen sonuçlar KAF zonunun bölgedeki doğrultusu ile uyumludur.

4 SONUÇLAR

Yapılan çalışma sonucunda; 1B homojen yarı sonsuz bir ortamda, tekdüze iletkenliğe sahip bu ortama ilişkin modellerde faz tensörünü temsil eden elipslerin düzgün dairesel olduğu ve β değerlerinin sıfıra eşit olduğu görülmüştür.

Ortam 2B ise β(tensör çarpıklığı) değerleri sıfıra eşittir ve elipslerin uzun eksenleri yer elektrik doğrultuya dik ya da paraleldir. Galvanik bozunumlardan etkilenmeyen faz tensöründe, ortam 2B ise yer elektrik doğrultu (alpha – beta) açısıyla tanımlanmaktadır. 2B durumda elde edilen Harita Modelinde Tensör çarpıklığı değerlerinin sıfıra eşit olduğu (β=0) ve faz tensörü elipslerinin uzun eksenlerinin fay ile aynı doğrultuda uzandığı görülmüştür. Diğer yandan iletken bölgede faz tensörü elipslerinin ana eksen yöneliminin fay doğrultusuna dik olduğu görülmektedir.

3B iletken yapıdan bahsettiğimizde, β değerleri sıfırdan farklı değerler aldığı ve büyümeye başladığı gözlemlenirken; faz tensörü elipslerinin uzun eksenlerinin de iletken kütlenin köşelerine doğru yöneldiği gözlemlenmektedir. Aynı zamanda indüksiyon vektörlerinin de iletkenden dışarı doğru yöneldiği görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bitirme Tasarım Projesinin hazırlanması sürecinde iki dönem boyunca yardım ve desteğini esirgemeyen, bütün sorularımıza içtenlikle yanıt veren değerli danışman hocamız; Dr. Öğrt. Üyesi Ümit Avşar'a ve Matlab programı ile ilgili bilgilerini ve yardımını bizden esirgemeyen Arş. Gör. Nedim Gökhan Aydın'a sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

Avşar, Ü. 2013. "Isparta Büklümü Tektonik Yapısının Manyetotellürik Yöntem İle Araştırılması", *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 51-83.

Avşar, Ümit & Türkoğlu, Erşan & Unsworth, Martyn & Caglar, Ilyas & Kaypak, Bülent. (2012). Geophysical Images of the North Anatolian Fault Zone in the Erzincan Basin, Eastern Turkey, and their Tectonic Implications. *Pure and Applied Geophysics.* 170. 409-431. 10.1007/s00024-012-0521-5.

Başokur, A.T., 2008. *Manyetotellürik Yöntemde Temel Kavramlar,* Ankara, s. 2-12.

Bedrosian, P. A. (2007). MT+, Integrating Magnetotellurics to Determine Earth Structure, Physical State, and Processes. *Surveys in Geophysics*, *28*(2–3), 121–167. https://doi.org/10.1007/s10712-007-9019-6

Cagniard, L. (1953). Basic Theory of The Magnetotelluric Method of Geophysical Prospecting. Geophysics, 18, 605-635

Caldwell, T. G., Bibby, H. M., & Brown, C. (2004). The magnetotelluric phase tensor. *Geophysical Journal International*, *158*(2), 457–469. https://doi.org/10.1111/j.1365-246x.2004.02281.x

Castells, A. M., 2006. "A Magnetotelluric Investigation of Geoelectrical Dimensionality and Study of the Central Betic Crustal Structure", *Doktora Tezi*, Barselona Üniversitesi, Jeodinamik ve Jeofizik Bölümü, Barselona, s. 27-45.

Tikonov, (1950). *On determining electrical characteristics of the deep layers of the Earth's crust,* Doklady, 73, 295-297.

Simpson, F., & Bahr, K. (2005). *Practical Magnetotellurics*. Published. https://doi.org/10.1017/cbo9780511614095

Elektrik Topraklama İçin İletken Tabakanın Yer Tespitinin Yapılması

Locating the Conductive Layer for Electrical Grounding

B. F. Yalçın, T. İşseven
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü

ÖZET Topraklama, elektrikli cihazların ve canlıların olası elektrik kaçaklarına karşı zarar görmemesi için alınan hayati bir önlemdir. Elektriksel olarak iletken bir parçanın bir topraklama tesisi vasıtasıyla toprağa bağlanmasıdır. Başka bir deyişle kaçak elektriğin bir iletken ile toprağa verilmesini sağlayan basit bir sistemdir. İnsan hayatını ve cihazların kullanım ömrünü riske atmamak için elektrik kaçağı riskine karşı mutlaka topraklama yapılmalıdır. Topraklama ile cihazda oluşabilecek fazla elektrik yükü çok düşük dirençle zemin hattı üzerinden zemine verilecek ve cihaza dokunan kişilerin hayati tehlikesi ortadan kalkmış olacaktır. Topraklamanın amacı, bir elektrik kaçağı durumunda oluşacak kademe ve dokunma gerilimlerinin insan hayatını tehlikeye atacak seviyeye gelmesini önlemektir. Genellikle topraklama için bina çevresinde zemine yerleştirilen bakır çubuk veya levha ile topraklama kablosu bağlanarak bu işlem sağlanır. Yapımı tamamlanmış olan binalarda çalışanlar tarafından rastgele olarak belirlenen yer ve derinliklere topraklama levhasının gömülmektedir. Bu çalışma ile binanın çevresinin elektrik özdirencinin ölçülmesi ve en iletken yerin tespitinin yapılmasının ardından daha sağlıklı ve güvenli şekilde topraklama levhasının gömüleceği yer saptanmış olacaktır.

ABSTRACT Grounding is a vital measure taken against possible electrical leakage of electrical devices. It is the connection of an electrically conductive part to the ground through a grounding facility. In other words, it is a simple system that enables leakage electricity to be given to the ground with a conductor. In order not to risk human life and the useful life of the devices, grounding must be made against the risk of electrical leakage. The excessive electrical load that may occur in the device with grounding will be given to the ground through the ground line with very low resistance and the life-threatening of the people touching the device will be eliminated. The purpose of grounding is to prevent the level and touch voltages that will occur in the event of an error from reaching a level that will endanger human life. This process is achieved by connecting the ground wire with a copper bar or plate placed on the ground around the building for grounding. In the completed buildings, the grounding plate is now buried in a place randomly determined by the employees. The most conductive place is determined after measuring the electrical resistivity of the surrounding of the building with the project to be made. In this way, the place where the grounding plate will be buried is determined in a healthier and safer way.

Keywords: Elektrik Özdirenç, Topraklama, Elektrik Özdirenç Tomografi.

1 GİRİŞ

Topraklama, elektrikli cihazların olası elektrik kaçaklarına karşı alınan hayati bir önlemdir. Elektriksel olarak iletken bir parçanın bir topraklama tesisi vasıtasıyla toprağa bağlanmasıdır (Font ve diğ., 2016). Başka bir deyişle kaçak elektriğin bir iletken ile toprağa verilmesini sağlayan basit bir sistemdir. Tesisatta topraklama yoksa kaçak akım olması durumunda cihaz gövdesinden akan akım devreyi tamamlayamayacağından cihaz gövdesi kaçak akım ile enerjili kalır. Birisi bilinçsizce dokunduğunda, o kişinin vücudu kaçak akımın yere ulaşması için bir yol görevi göreceğinden şok meydana gelir (Oktay & Nurdoğan, 2019.). İnsan hayatını ve cihazların kullanım ömrünü riske atmamak için elektrik kaçağı riskine karşı mutlaka topraklama yapılmalıdır. Topraklama ile cihazda oluşabilecek fazla elektrik yükü çok düşük dirençle zemin hattı üzerinden zemine verilecek ve cihaza dokunan kişilerin hayati tehlikesi ortadan kalkmış olacaktır. Topraklamanın amacı, bir hata durumunda oluşacak kademe ve dokunma gerilimlerinin insan hayatını tehlikeye atacak seviyeye gelmesini önlemektir. Topraklama için bina çevresinde zemine yerleştirilen bakır çubuk veya levha ile topraklama kablosu bağlanarak bu işlem sağlanmaktadır.

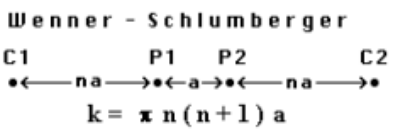
Elektrik özdirenç yöntemi kullanılarak yapımı bitmiş olan bir binanın topraklamasının yapılabilmesi için bina çevresindeki en iletken yer tespit edilerek topraklama levhası oraya yerleştirebilir. Bunun için hazır bir düzenek kurup her yerde rahatça bu düzeneği kullanabiliriz. Bu düzeneği kurabilmek için öncelikle levhanın gömülebilmesi için kepçenin açacağı çukurun maksimum derinliğini, kullanılacak aracın teknik özelliklerinden bulunarak, bulduğumuz derinlik boyunca ve o derinliklerle beraber yanal olarak da inceleme yapmamız gerekir. Bunu için doğru akım özdirenç yönteminde Wenner-Schlumberger ölçümlerini kullanmamız en doğru olur. Wenner-Schlumberger dizilimi uygulayarak kullanmamız gereken elektrot sayısı ve açıklığını hesaplayarak sabit bir düzenek oluşturup inşaatı bitmiş olan tüm yapıların etrafında kolaylıkla ölçüm alarak topraklama levhasının konulması gereken en iyi yeri bulabiliriz.

2 ARAŞTIRMA DERİNLİĞİNİN TESPİTİ

Topraklama işlemi yapılırken ekonomik anlamda yapılan işin kabul edilebilir maliyette olması beklenir. Dolayısıyla, topraklama rahatça ve kısa sürede kazılabilir bir derinlikte olması gerekir. Kazıcı-yükleyici makinalar incelendiğinde derin profilde kova ile maksimum kazma derinliği 5.97 (~6) metre olarak verilmiştir. Yani bu demek oluyor ki kazıcı-yükleyici makinalar en kısa sürede ve ekonomik olarak en fazla 6 metre derinliğe kadar kazabilirler. Hedeflenen araştırma derinliği de bu derinlik baz alınarak belirlenmelidir.

3 KURULACAK OLAN SİSTEM

A, B akımı ve M, N voltaj elektrotlarının farklı konumlarına göre farklı elektrot dizileri önerilmiştir. Aynı yer için, farklı elektrot dizisi ile ölçülen voltaj farklılıkları ve dolayısıyla görünen özdirenç değerleri farklıdır. Genellikle kullanılan dizilimler, elektrotların bir simetri merkezine göre hat boyunca hizalanmasıyla elde edilir. Bu çalışmada Wenner-Schlumberger dizilimi kullanılmıştır. Elektrik yöntemlerde ulaşılan derinlik elektrotların arasındaki mesafeye bağlıdır. Mesafenin arttırılması daha derinden görüntülenme almasını sağlamakla birlikte uzayan kablo boylarından dolayı derinlik arttıkça yöntemin zorluğu da artmaktadır.

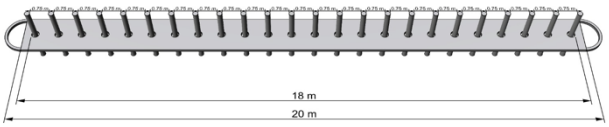


Şekil 1. Wenner-Schlumberger Elektrot Dizilimi (Zobu, 2008.)

Görmek istediğimiz derinliğin saptanması ve kullanılacak olan yönteminin belirlenmesinin ardından elde ettiğimiz bilgiler ile Wenner -

Schlumberger diziliminde kullanacağımız elektrot arası mesafelerin kaç olması gerektiği hesaplanmalı. Kazılması planlanan derinliği kazıcı-yükleyici makinalar incelendikten sonra 6 metre olarak bulduk. 6 metre derinliği, Wenner - Schlumberger dizilimi ile görmeyi planladığımız derinlik olduğunu varsayarsak kullandığımız yönteme göre akım elektrotlarımızın açıklığının görmek istediğimiz derinliğin 3-4 katı kadar olması gerektiğinden açıklığı 18 metre aldığımız zaman 6 metre derinliği rahat bir şekilde görebiliriz.

Kuracağımız düzenek uzun bir şerit üstüne aralıkları belirlenerek yerleştirilmiş elektrotları barındırır. Bu uzun şeridin her türlü arazi koşuluna dayanabilmesi için yangın hortumu olması uygun görülmüştür. Bu sistem sayesinde binanın etrafına bu şerit serilerek hazırda belirlenmiş olan deliklere elektrotların çakılıp çok elektrotlu rezistivite cihazına (METZ SAS-24SD) elektrotları bağlandıktan sonra cihaz sırayla elektrotlara bağlanmış olan kablolar vasıtasıyla otomatik olarak kaydırma yöntemini uygulaması sonucu istediğimiz derinlik olan 6 metre derinliğine kadar olan derinlikleri yataydaki elektrik özdirenç değerleri ile birlikte kolay bir şekilde ölçüp, yatayda 6 metre derinliğe kadar görünür özdirenç haritasını çıkarabiliriz. Bunu sonucunda yapımı tamamlanan binaların etrafında 0.75 metre aralıklarla açılmış olan 24 adet elektrotlu hazır sisteme elektrotların çakılması sonucunda bina çevresindeki özdirenç, kaydırma yöntemi ile kolaylıkla ölçülüp binanın çevresindeki en iletken yer tespit edilebilir. Yapılacak olan hazır sistem aşağıdaki şekildeki gibidir. Şekildeki sistem kurulduğu zaman ölçüm yapılan yerin yaklaşık 6 metre derinliğine kadar olan özdirençlerini çok elektrotlu rezistivite cihazına 24 adet elektrotu 0.75 metre aralıklarla bağladıktan sonra Wenner - Schlumberger dizilimi kullanarak kaydırma yöntemi ile yatay yöndeki özdirenç değişimlerini kolaylıkla tespit edebiliriz.



Şekil 2. Kurulacak sistem şablon hali.

4 ÖLÇÜM ALINMASI

Düzeneğin test edilmesi amacıyla kampüs içerisinde dört profil belirlenmiş ve ölçüler alınmıştır.

Tablo 1'de bu dört profilin köşe nokta koordinatları verilmiştir.

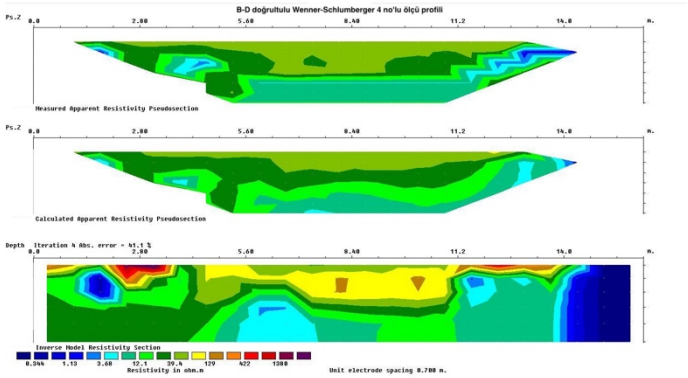
Çizelge 1. Profil köşe noktaları.

	1. Nokta	2. Nokta	3. Nokta	4. Nokta
Boy. (m)	670783	670795	670806	670801
Enl. (m)	4553055	4553026	4553034	4553059

Şekil 3. Ölçü profilinin örneği.

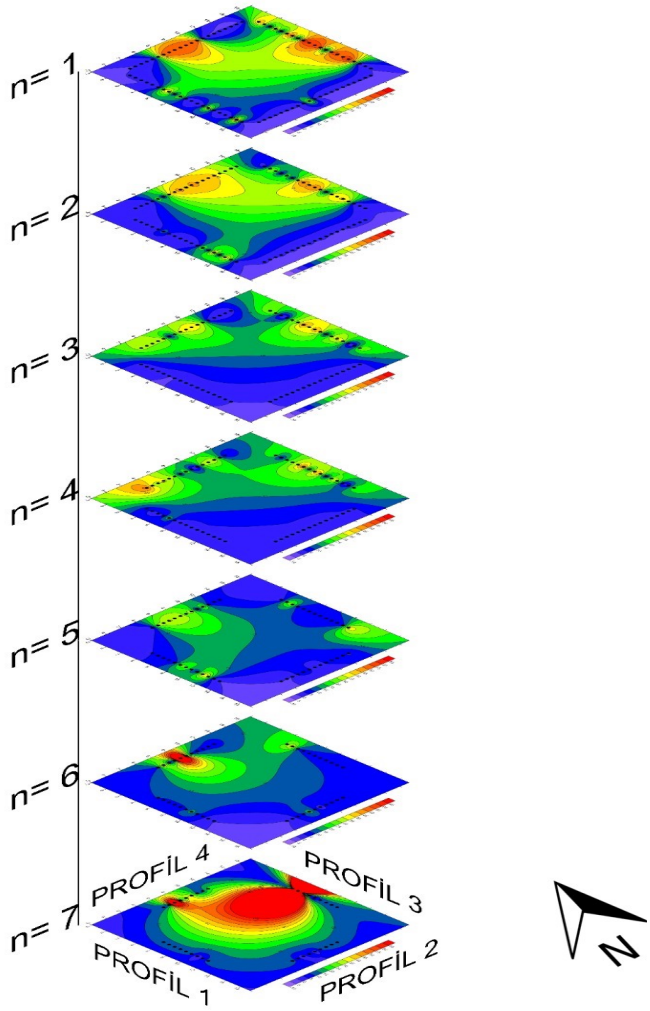
5 VERİ İŞLEM SONUÇLARI

Ölçümlerin alınmasının ardından verilerin Res2DInv programı ile değerlendirilmesine geçilmiştir.



Şekil 4. Res2DInv ile verinin işlenmesi.

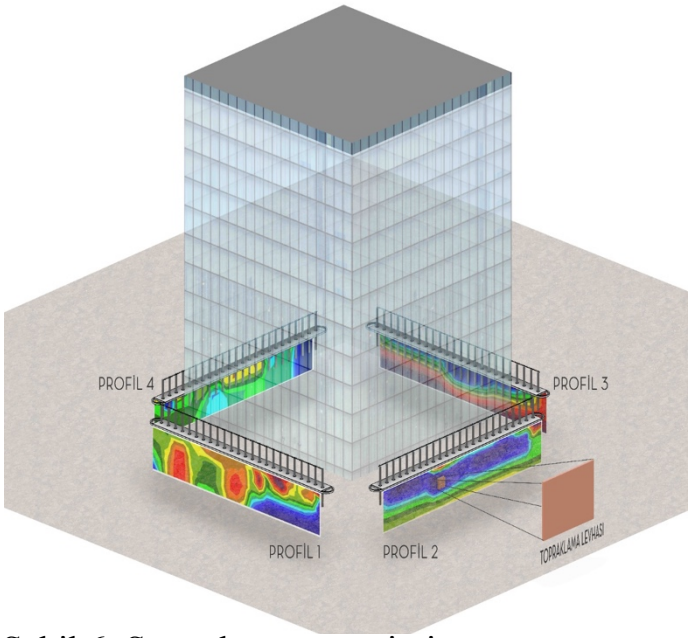
Veriler kullanılarak kat haritası da oluşturulmuştur.



Şekil 5. Elde edilen kat haritaları.

6 SONUÇLAR

Elde edilen haritalar incelendiğinde iletkenliği en yüksek profil olan Profil 2'ye topraklama levhası yerleştirilerek topraklama işlemin en güvenli ve doğru bir şekilde yapılması sağlanır. Şekil.5 incelendiği zaman Profil 2'nin en yüksek iletkenliğe n=5 seviyesinde ulaştığı belirlenmiştir. Tespit edilen bu seviyeye göre topraklama levhasının koyulması gereken derinlik n=5 seviyesinden yaklaşık 3.75 metre olarak bulunmuştur.



Şekil 6. Sonuçların gösterimi.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, zorlu pandemi süreci boyunca değerli bilgi, birikim ve tecrübelerini benimle paylaşan ve hiçbir yardımı esirgemeyen tez danışmanım sayın Doç. Dr. Turgay İşseven'e sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım. Çalışma sırasında ölçüm alınması ve veri işlem basamaklarında, bilgi ve deneyimini benimle paylaşan Ar. Gör. Nedim Gökhan Aydın'a çok teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Font, A. ve diğ., 2016. *Rüzgar Türbinleri İçin Topraklama Ağı Tasarımı.* EMO Bilimsel Dergi, 6:11, 13-19.

Oktay, T. ve Nurdoğan, İ., 2019. *Elektrik Kaynaklı İş Kazalarının Ekonomik Boyutu.* Mimar ve Mühendis Dergisi, 107, 78.

Zobu, M., 2008. *METZ SAS-24SD Cihazı Kullanım Kılavuzu*.

Karadeniz'deki Gaz Hidrat Derinlikleri Kullanılarak Isı Akısı Hesaplanması

Calculation of Heat Flow Using Gas Hydrate Depths in the Black Sea

B. Güvem,D. Düşünür Doğan
İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü

ÖZET Gaz hidratlar, su molekülleri ile düşük moleküler ağırlıklı gazların özellikle metan gazının, kafes içerisine hapsolmasıyla oluşan görünüş olarak donmuş buza benzeyen kırılgan kristalin oluşumlardır. Gaz hidratlar katı gaz hidrat fazında çok miktarda gaz depolayabilmesinden dolayı geleceğin enerji kaynağı olarak görülmektedir. Türkiye çevresindeki denizler genellikle sığ derinliklerde yüksek oranda gaz hidrat ve hidratın altında kapanlanan serbest gaz potansiyeline sahiptir (Ruppel ve Kessler, 2017; Ocakoğlu, 2009). Sismik yöntemler gaz hidrat aramalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Özelikle BSR (Tabana Benzeyen Yansıma) yansımaları gaz hidrat varlığını işaret etmektedir. Araştırma bölgemiz olan Karadeniz gaz hidrat potansiyeli sahip bir bölgedir ve çok sayıda BSR seviyesi keşfedilmiştir. Bitirme çalışması kapsamında Karadeniz'de yayınlanmış olan derinlik dönüşümlü sismik yansıma kesitlerindeki gaz hidratların derinlikleri hesaplanmıştır. Ardından BSR seviyelerinin derinlikleri kullanılarak ısı akısı değerleri hesaplanmış ve güncel ısı akısı çalışmalarından elde edilen veriler ile kıyaslanmıştır.
Anahtar kelimeler: Gaz hidrat, ısı akısı, BSR, Karadeniz

ABSTRACT Gas hydrates are brittle crystalline formations that resemble frozen ice in appearance, formed by the confinement of water molecules and low molecular weight gases, especially methane gas, into the cage. Gas hydrates are seen as the energy source of the future due to the fact that they can store large amounts of gas in the solid gas hydrate phase. The seas around Turkey usually host many gas hydrate reservoirs at shallow depths and free gas level under those gas hydrates (Ruppel and Kessler, 2017; Ocakoğlu, 2009). Seismic methods are widely used in gas hydrate exploration. In particular, BSR (Bottom-Simulating Reflections) reflections indicate the presence of gas hydrate. The Black Sea, which is our research area, is a region with gas hydrate potential and numerous BSR levels have been discovered. In this thesis, the depths of gas hydrates obtained from seismic reflection sections published in the Black Sea were calculated. Heat flow values were then calculated using the depths of BSR levels and compared with the data obtained from current heat flow studies.
Keywords: Gas hydrate, heat flow, BSR, Black Sea

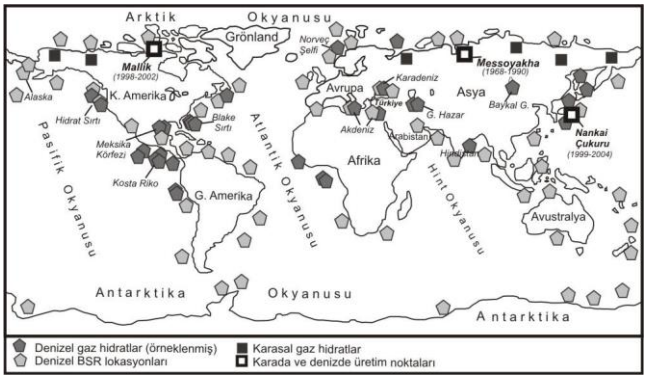
1 GAZ HİDRATLAR

1.1 Tanımı ve Özellikleri

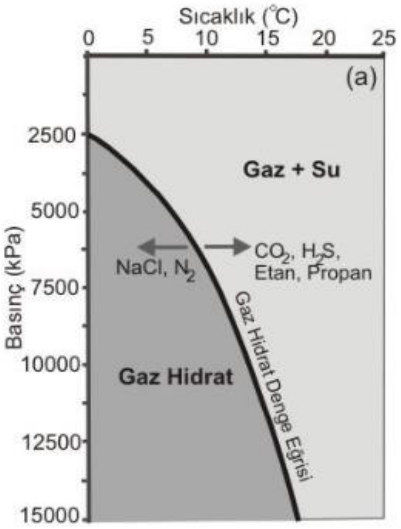
Gaz hidratlar suyun (veya buz) belirli sıcaklık ve basınç koşulları altında küçük moleküllerle temas ettiğinde oluşan kristal bileşiklerdir. Kimyasal isimleri gaz klatrat hidratlarıdır.En yaygın hidrat oluşturan gaz, metandır. Genel olarak metan hidrat oluşumu için düşük sıcaklık ve yüksek basınç kombinasyonu gereklidir.

1.2 Gaz Hidratların Oluşum ve Kararlılık Koşulları

Gaz hidratlar Dünya çapında her yerde oluşabilir ancak basınç-sıcaklık ve gaz hacmi gereksinimlerinden dolayı iki bölge ile sınırlı olarak bulunmaktadır: kutuplar ve derin okyanus bölgeleri. Kutup bölgelerinde gaz hidratlar hem karada hem de açık denizde bulunan permafrost ile ilişkilidir.



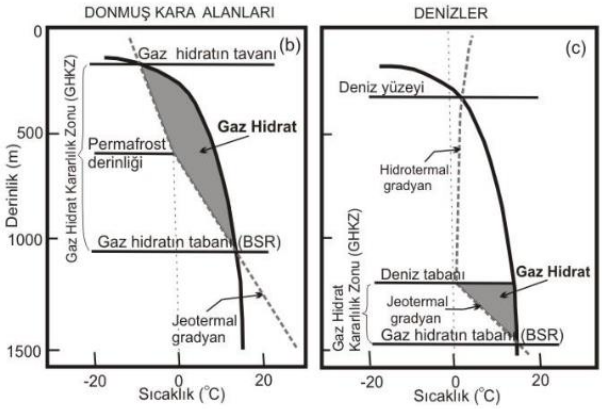
Şekil 1.1 Dünya gaz hidrat haritası (Ocakoğlu, 2009)



Şekil 1.2 Gaz hidrat denge eğrisi (Ocakoğlu, 2009; Kvenvolden 1988'den değiştirilerek)

Yeterli gaz ve su temini göz önüne alındığında gaz hidrat oluşumu ve kararlılığı için temel etkenler basınç ve sıcaklıktır. Şekil 1.2'de basınç ve sıcaklığa bağlı gaz hidrat denge eğrisine yer verilmiştir. Bu denge eğrisinde basınç, arttıkça, diğer bir söylemle derinlik arttıkça gaz hidratlar daha yüksek sıcaklıklarda oluşabilmektedir.

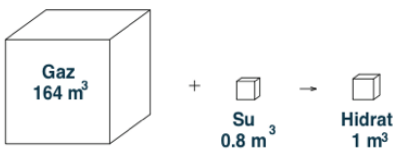
Her bir gaz hidrat alanının kendine özgü bir gaz hidrat denge eğrisi ve kararlı olduğu bir zon (GHKZ) mevcuttur. GHKZ'nun üst sınırı donmuş kara alanında -10ºC jeotermal sıcaklıkta birkaç yüz metre derinlikte, alt sınırı ise yaklaşık 15ºC jeotermal sıcaklıkta 1 km'yi aşan derinliklerde temsil edilmektedir. Denizlerde ise GHKZ'nun üst sınırı jeotermal sıcaklığın 0ºC birkaç derece üzerinde olduğu deniz tabanı, alt sınırı ise jeotermal sıcaklığın 15ºC birkaç derece daha fazla olduğu, deniz tabanının altındaki 1,5 km'lik derinliklere karşılık gelmektedir. GHKZ gaz hidrat varlığının muhtemel bulunduğu bölgedir. GHKZ'nun alt sınırı BSR seviyesi olarak isimlendirilir (Kvenvolden, 1988).



Şekil 1.3 Donmuş kara alanlarında (permafrost) ve denizlerde gaz hidratın kararlı olduğu zonların gösterimi (Ocakoğlu, 2009; Kvenvolden 1988'den değiştirilerek)

2 DÜNYA'DA GAZ HİDRATIN ÖNEMİ

Dünya üzerinde klasik fosil yakıt rezervlerinin hızla tükenmesi sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarının ve alternatif enerji kaynaklarının gelecek yüzyıllarda da öneminin daha da artacağını göstermektedir. Alternatif enerji kaynakları için yapılan hidrokarbon araştırmaları sonuçlarına göre Dünya'daki hidrat dağılımı ve rezervleri göz önüne alındığında gelecek yılların önemli enerji kaynaklarından birinin gaz hidratlar olacağını söylemek mümkündür.



Şekil 3.1. Bir metan hidratta su ve gaz arasındaki hacimsel oranlar (Giavarini ve Hester,2011'den değiştirilerek)

Standart basınç ve sıcaklık koşullarında 1 m^3 gaz hidrat yaklaşık olarak 164 m^3 gaz ve 0.8 m^3 su içermektedir. Gaz hidratların metanındaki tahmini karbon miktarı (10.000 gigaton) bilinen geleneksel gaz yataklarındaki karbon miktarının ve belirlenen ve geri kazanılabilir rezervlerde (5.000 gigaton) tahmin edilen miktarının yaklaşık olarak iki katıdır. Bu nedenle miktar bazında gaz hidratlar enerji için önemli potansiyel metan kaynağı ve geleceğin enerji kaynağı olarak görülmektedir.
Karbondioksitten çok daha güçlü bir sera gazı olan metan gazı küresel ısınma üzerindeki potansiyel etkisinden de dolayı gaz hidratlar araştırma çalışmalarında büyük ilgi görmektedir. (Kvenvolden, 1993; Zander, 2017; Ocakoğlu, 2009)

2.1 Karadeniz'de Gaz Hidrat

Karadeniz, küresel okyanuslara tek bağlantısı Marmara Denizi ve Akdeniz üzerinden olan ve bu sayede Dünya'nın en büyük anoksik (oksijensiz) su kütlesidir. Sahip olduğu hidrojen sülfürce zengin oksijensiz ortamda oluşan anoksik mikrobiyal yaşam, jeokimyasal döngü ve organik karbonca zengin sedimantasyon doğal gaz hidratların oluşumu için uygundur.

Karadeniz havzasının yaklaşık %68'inin gaz hidrat oluşumu için uygun sıcaklık ve basınç koşullarına sahip olduğu tahmin edilmektedir, ancak beklenen gaz hidrat kararlılık zonu (GHKZ) içinde BSR yansımaları şeklinde hidratların varlığı sadece birkaç alanda gözlemlenebilmiştir.

3 ISI AKISI

Isı akısı, Dünya'nın içinden iletim yoluyla ısı çıkışı enerji açısından en etkileyici karasal fenomendir. Karasal ısı akısının incelenmesi yer bilimlerinde esastır çünkü Dünya'nın termal durumunun doğrudan gözlemidir ve jeotermal süreçler, Dünya'nın kökeni, yapısı ve davranışları ile ilgili teorilerde önemli rol oynar . Isı akısı (q), termal iletkenlik katsayısı (k) ve termal gradyan (dt/dz) değerlerinin çarpımlarına eşittir.

$$q= -k(dt/dz) \qquad (1)$$

q = ısı akısı (W/m^2), k = termal iletkenlik katsayısı, dt/dz= termal gradyan

4 BSR YÖNTEMİYLE ISI AKISI HESAPLANMASI

Gaz hidratlar içlerinde bulundukları sedimanların akustik özelliklerini değiştirdiklerinden yaygın olarak sismik yöntemlerle araştırılırlar. Sismik yansıma kesitlerinde BSR (Bottom Simulating Reflector, Tabana Benzeyen Yansıtıcı) seviyesi, gaz hidrat zonunun tabanını işaret eden kuvvetli bir yansıma ile temsil etmektedir (Zander, 2017).

Sismik kesitlerde gözlemlenen BSR derinlikleri Yamona vd.(1982) tarafından geliştirilen (2) yaklaşımına dayalı olarak ısı akısı tahminlerine dönüştürülmüştür. BSR derinliklerindeki sıcaklık değerleriyse Dickens ve Quinby-Hunt (1994) tarafından geliştirilen (3) eşitliği ile hesaplanmıştır.

$$q=k(T_{BSR}-T_{DENİZ})/(Z_{BSR}-Z_{DENİZ}) \qquad (2)$$

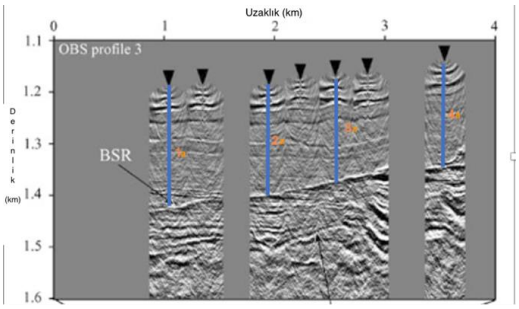
$$1/T_{BSR}=3.79x10^{-3}-2.83x10^{-4}\log(P_{BSR}) \qquad (3)$$

q = Isı akısı (mW/m^2), Z_{BSR} = BSR derinliği (m), Z_{Deniz} = BSR derinliğin hizasında deniz tabanının derinliği(m), T_{BSR} = BSR derinliğinde sıcaklık değeri (K), T_{Deniz} = Bölgenin ortalama deniz suyu sıcaklığı (K), k = Bölgenin termal iletkenlik değeri (mW/m.K), P_{BSR} = BSR derinliğinde hidrostatik basınç değeri (MPa)

5 SONUÇLAR

Bitirme çalışması kapsamında, Karadeniz'in kuzeybatısındaki Tuna ve Dinyeper derin deniz yelpaze kompleksinde yürütülmüş 5 ayrı çalışmanın sonuçları kullanılarak, 23 noktada ısı akısı hesaplaması yapılmıştır. Bildiri kapsamında örnek çalışma olarak Lübmann ve diğ, (2004) çalışmasının BSR derinlikleri ve ısı akısı değerlerine yer

verilmiştir (Şekil 5.1). Çalışma bölgesinin ortalama deniz suyu sıcaklığı 9ºC = 282,15 K, deniz suyu yoğunluk değeri 1025 kg/m^3 ve termal iletkenlik katsayısı 0,9 mW/mK olarak alınmıştır.



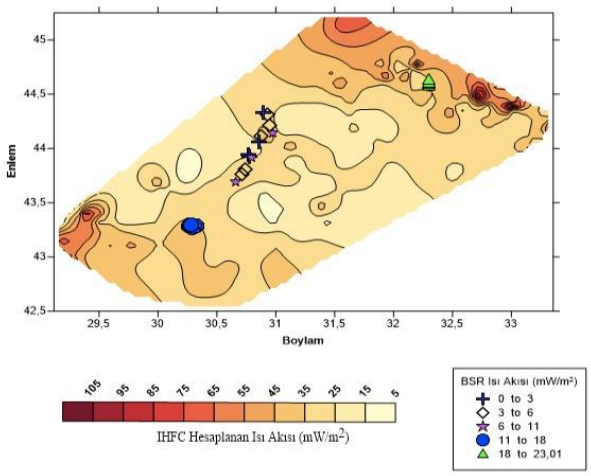
Şekil 5.1 Isı akısı hesaplaması yapılan BSR derinliklerinin gösterimi

Tablo 1.BSR derinliklerinde ısı akısı değeri

	T_{BSR} (K)	P (MPa)	Z_{BSR} (m)	Z_{Deniz} (m)	Isı akısı (mW/m^2)
1a	286,9	12,063	1440	1190	18
2a	287,02	12,053	1392	1189	22
3a	286,8	11,892	1362	1173	23
4a	286,6	11,580	1335	1142	21

P=Hidrostatik basınç

Çalışma sonuçlarımızda da görüldüğü üzere (Şekil 5.2) IHFC verilerinden hesaplanan ısı akısı değerleri, BSR derinliklerinden elde edilen ısı akısı değerlerinden daha büyüktür. Aradaki bu farkın en önemli nedenlerinden biri IHFC verilerinden hesaplatılan ısı akısı değerlerinin sadece iletim (conduction) yolu ile olan ısı akısı değerlerini yansıtmasıdır. Hatırlanacağı üzere Fourier termal iletim yasasında sadece termal iletkenlik katsayısı ile termal gradyanı terimi yer almakta ve formül taşınım (convection) kaynaklı bir bilgiyi içermemektedir. Oysa BSR derinlikleri, gaz hidratların o sıcaklık ve basınç koşullarında dengede kalabildiği derinliklerdir ve hem iletim hem de taşınım ısı transferi mekanizmasının bir sonucu olarak bulundukları bölgede kararlı halde durmaktadırlar. Özellikle deniz suyunun gözenekli ortam boyunca, sığ sedimanlardan derinlere doğru süzülmesi, taşınım yolu ile soğumaya katkı sağlamaktadır.



Şekil 5.2 Isı akısı değerleri hesaplanan noktaların kontur haritası üzerinde gösterimi

KAYNAKLAR

Dickens, G. R., & Quinby-Hunt, M. S., 1994. Methane hydrate stability in seawater.Geophysical Research Letters, 21(19), 2115-2118.

Giavarini, C., & Hester, K. 2011. *Gas hydrates: Immense energy potential and environmental challenges*. Springer Science & Business Media.

Kvenvolden, K. A.,1988. Methane hydrate-a major reservoir of carbon in the shallow geosphere? Chemical Geology, 71, 41-51.

Kvenvolden, K. A., 1993. A primer on gas hydrates. In: Howel, D.G. (Ed.), The Future of Energy Gases, U.S. Geological Survey Professional Paper, 1570, 279-291.

Lüdmann, T., Wong, H. K., Konerding, P., Zillmer, M., Petersen, J., & Flüh, E.,2004. Heat flow and quantity of methane deduced from a gas hydrate field in the vicinity of the Dnieper Canyon, northwestern Black Sea. Geo-Marine Letters, 24(3), 182-193.

Ocakoğlu, N., 2009. Gaz Hidratlar ve Önemi: Türkiye Çevresi Denizlerde Gaz Hidrat ve Sığ Gaz Aramaları. İstanbul Yerbilimleri Dergisi, 22(1), 29-47.

Ruppel, C. D., and J. D. Kessler, 2017. The interaction of climate change and methane hydrates, Rev. Geophys., 55, 126-168, doi:10.1002/2016RG000534

Yamano, M., Uyeda, S., Aoki, Y., and Shipley, T.H., 1982. Estimates of heat flow derived from gas hydrates, Geology , 10 , 339-343.

Zander, T. 2017. "Methane hydrates in Black Sea deep-sea fans: Characteristics, implications, and related geohazards",Doctoral dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel,Kiel.

Afşin-Elbistan Kömür Sahası'nda Sismik Yansıma Parametrelerinin Belirlenmesi

Determination of Data Acquisition Parameters for Seismic Reflection Study in Afşin-Elbistan Coal Field

A. Altınsoy, H. Kurt
İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü

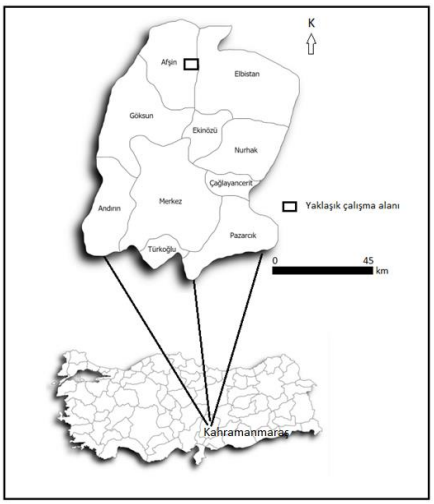
ÖZET Dünyanın önemli enerji kaynaklarından biri olan kömürün araştırılması veya bulunduğu saha içindeki dağılımının belirlenmesinde jeofizik ve özellikle sismik yöntemler önemli bir yere sahiptir. Bu tez çalışmasında kömürün enerji kaynağı olarak dünyada ve ülkemizdeki yerine ve jeofizik yöntemlerle bulunmasına dair bir araştırma yapılmıştır. Ayrıca, Afşin-Elbistan (Kahramanmaraş) ilçelerinde bulunan kömürlü neojen istifinde gelecekte yapılabilecek sismik yansıma çalışması için veri toplama parametrelerini belirlemek amaçlı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bölgede kömür damarı üzerinde 2007 yılında Maden Tetkik Arama (MTA) tarafından toplam 5 km uzunlukta üç adet çok kanallı sismik yansıma verisi toplanmış ve bu hatları kesecek şekilde 19 adet sondaj alınmıştır. Bölgede kömür damarının dağılımını daha detaylı belirlemek ve kömür damarında oluşan düşey faylanmaların saha içindeki takibini yapabilmek için bu tez çalışmasında önceki çalışmalar ve bölgenin jeolojisinden yararlanarak yeni sismik hatlar önerilmiştir. Önerilen sismik hatlarda seçilecek veri toplama parametrelerinin seçiminde kömürün bulunduğu derinlik seviyesi, kalınlığı ve faylanma ile yaptığı atım miktarı ve bulunduğu jeolojik koşullar göz önünde bulundurulmuştur. Sismik hatların uzunluk ve doğrultularının seçiminde kömürlü seviyenin takibini sağlayacak uzunlukta olması ve kömür tabakasının doğrultu ve eğim yönü dikkate alınmıştır. Atış, alıcı aralıkları ve ofsetin seçimi, kullanılacak enerji kaynağının çeşidi, gücü ve frekans aralığı kömür damarının bulunduğu derinlik, kalınlık, yatay ve düşey çözünürlüğü göz önünde bulundurularak önerilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Afşin-Elbistan, kömür, sismik veri toplama parametreleri.

ABSTRACT Geophysical and especially seismic methods have an important place in the investigation of coal, which is one of the most important energy resources of the world, or in determining its distribution in the field. In this thesis, a research has been carried out on the place of coal as an energy source in the world and in our country and its location using geophysical methods. In addition, a study was conducted to determine the data collection parameters for future seismic reflection studies in the coal-bearing neogene stack in Afşin-Elbistan (Kahramanmaraş) districts. Three multi-channel seismic reflection data with a total length of 5 km were collected by Mineral Research and Exploration (MTA) on the coal seam in the region in 2007 and 19 drillings were taken to cut these lines. In order to determine the distribution of the coal seam in the region in more detail and to follow the vertical faulting in the coal seam in the field, new seismic lines have been proposed in this thesis study by using the previous studies and the geology of the region. In the selection of the data collection parameters to be selected in the proposed seismic lines, the depth level, thickness, faulting and the amount of throwing of the coal and the geological conditions in which it is located were considered. In the selection of the length and direction of the seismic lines, their length to allow the tracking of the coal layer and the direction and slope of the coal layer were taken into account. The choice of shot, receiver spacing and offset, the type of energy source to be used, its power and frequency range are suggested considering the depth, thickness, horizontal and vertical resolution of the coal seam.
Keywords: Afşin-Elbistan, coal, seismic data collection parameters.

1 GİRİŞ

1.1 Afşin-Elbistan Çalışma Sahası Hakkında Bilgiler

Çalışma sahası, Kahramanmaraş ilinde bulunan Afşin ve Elbistan ilçeleri arasında yer almaktadır (Şekil 1.). Çalışma sahasında üç adet yüksek çözünürlüklü çok kanallı sismik yansıma verilerinin toplanmıştır bunların yanısıra bu hatları kesen sondajlar açılmıştır (Şekil 2.). Aralarında 500 m mesafe olacak şekilde birbirine paralel uzanan sismik hatlardan iki tanesi doğu-batı doğrultulu 1.5 km ve 1.75 km, diğeri ise kuzey-güney doğrultuda 1 km uzunlukta toplanmıştır. Birbirlerinden yaklaşık 250 metrelik mesafelerde açılan sondajların sayısı ise ondokuzdur. Bu bitirme projesinde çalışma sahasının jeolofik, fay, atım bilgileri göz önüne alınarak yeni sismik hatlar ve çalışma öncesinden sismik parametre seçimi üzerine çalışılmıştır.



Şekil 1. Afşin-Elbistan kömürlü neojen havzasının yer bulduru haritası.

Şekil 2. Çalışma alanında sismik hat ve kuyulara ait yer bulduru haritası.

METOD

1.2 Sismik Yöntemler

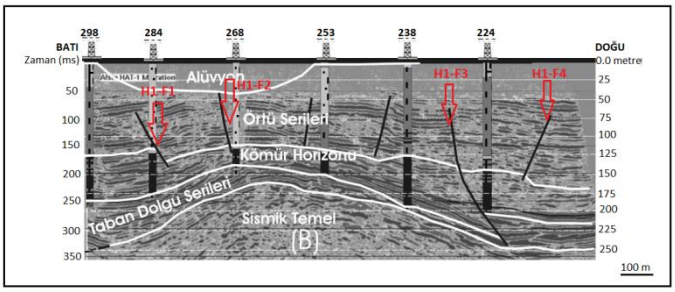
Sismik yöntemlerin temel prensibi yapay yollar ile oluşturulmuş akustik dalgalar yardımıyla yer altı yapısının araştırılmasıdır. Kullanılan akustik dalgalar yer altında bulunan tabakalı jeolofik birimlerin arayüzeylerinde oluşan kırılma ve yansımaların zaman yardımı ile kaydedilmesini ve elde edilen sismik hızlar yardımıyla tabakaların hız dağılımlarının belirlenmesi ve görüntülenebilmesi sağlamaktadır.

1.2.1 Sismik YansımaYöntemi

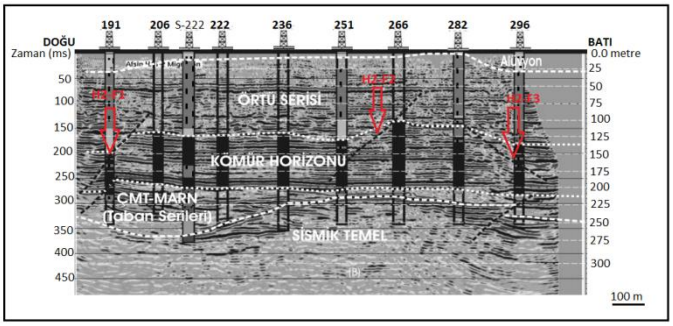
Yeraltı tabakalı bir yapıdır ve bu tabakalara farklı hız ve yoğunluklara sahiptirler. Sismik yansıma yönteminde farklı tabaklara ait bulunan hız ve yoğunluk değerleri yardımıyla yansıma katsayıları bulunmaktadır. Yansıma katsayıları yardımı ile farklı tabakaların ara yüzeyleri bulunmaktadır. Sismik yansıma katsayısı R, akustik empedans farklarının toplamına bölümü ile elde edilir.

2 SİSMİK YANSIMA SAHA PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

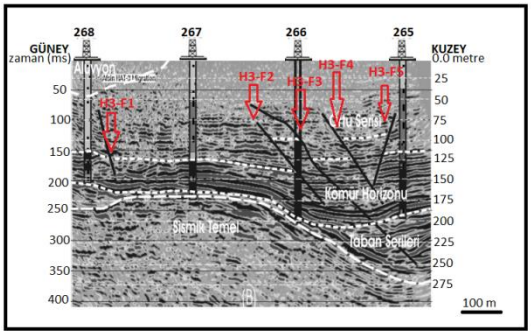
Sismik yöntemlerde saha kayıt parametrelerinin sahaya çıkılmadan önce seçimi çalışmanın başarılı sonuçlanabilmesi için en önemli etmenlerden biridir. Sahanın jeolojik açıdan iyi incelenmesi, daha önce sahada yapılan çalışmaların incelenmesi, yeni önerilecek çalışma için olacak sismik kaydı hem kalite hem de maliyet açısından olumlu yönde etkilemektedir. Saha parametrelerine karar verilmek için elimizde olan üç adet sismik hat incelenmiştir (Şekil3., 4. ve 5.)



Şekil 3. HAT-1'e ait sismik yansıma kesiti üzerinde kömür seviyesinin stratigrafik konumu ve kuyularla birlikte yanal korelasyonu (Çiftçi ve Toker, 2007).



Şekil 4. HAT-2'ye ait sismik yansıma kesiti üzerinde kömür seviyesinin stratigrafik konumu ve yanal korelasyonu (Çiftçi ve Toker, 2007).



Şekil 5. HAT-3'e ait sismik yansıma kestiti üzerinde kömür seviyesinin stratigrafik konumu ve yanal korelasyonu (Çiftçi ve Toker, 2007).

2.1. İlgilenilen Yapıların Tipi ve Özellikleri

İlgilenilen hedef seviyelerdeki jeolojik yapıların tipi ve özellikleri çözüm bekleyen problemleri ortaya koymada ve parameter seçiminde önemli bir yer tutar.

2.2. En Sığ ve En Derin Hedef Seviyeler

Daha once çalışma sahasında elde edilen sismik kesitler incelendiğinde en sığ hedef seviyenin 100 metre, en derin hedef seviyenin 230 metre civarlarında olduğu bilinmektedir. Çalışmada belirlenen metre cinsinden bu en sığ ve derin hedef derinlikler ve tabakasına kadar olan 1700 m/s'lik ortalama hız değeri kullanılarak en sığ ve en derin çift-yol alış zamanları (t0) sırasıyla 0.118 s ve 0.25 s olarak hesaplandı .

2.3. Hedef Seviyedeki Eğim

Sismik kesitler incelenerek HAT-3 üzerinde bulunan en büyük eğim 23.70° olarak hesaplandı.

2.1. Sismik Verilerde Ayrımlılık

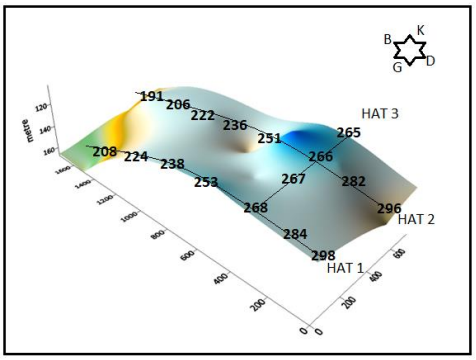
Yeraltı ile ilgili doğru bilgi edinebilmek ve yorum yapabilmek için verinin sahip olduğu ayrımlılık özelliği kullanılır. Çalışma sahası için düşey ve yatay ayrımlılık değerleri hesaplandı.

2.2. Saha Şartları, Lojistik Sorunları ve Gürültü Problemleri

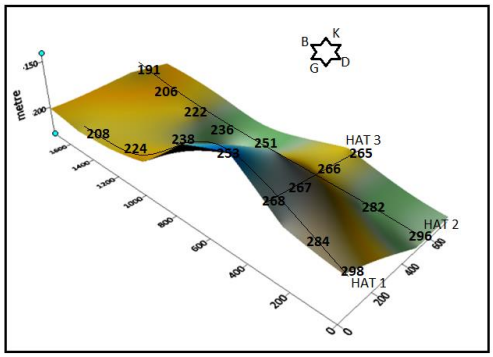
Sahanın lojistik şartları, topografya, yüzey jeolojisi saha parametrelerini etkilemektedir. Bu nedenle çalışma sahası bu yönlerden incelendi. Olası olumsuz koşullar belirlendi.

2.3. Sismik Hat Boyu ve Doğrultusunun Seçimi

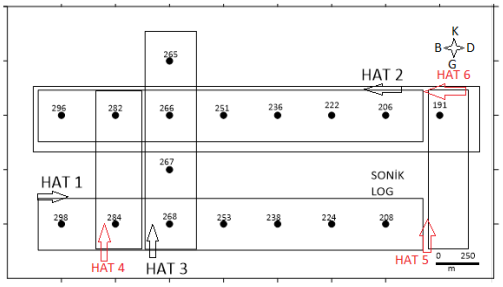
Sismik kesitler üzerinden kömür tabakası için tavan ve taban derinlikleri ölçülerek hesaplandı ve dağılımları haritalandırıldı (Şekil 6 ve 7). Çalışma alanının jeolojik konumu da değerlendirilerek HAT-4, HAT-5 VE HAT-6 olmak üzere üç adet yeni hat önerildi (Şekil 8.)



Şekil 6. Kömür damarının tavan derinlik dağılımı (Harita Surfer (v.17) programı kullanılarak hazırlanmıştır).



Şekil 7. Kömür damarının taban derinlik dağılımı (Harita Surfer (v.17) programı kullanılarak hazırlanmıştır).



Şekil 8. Çalışma alanı için var olan ve önerilen sismik serim yönleri ile havzadaki sondajların yaklaşık konumları.

2.4. Sismik Enerji Kaynağı Seçimi

Çalışma sahasındaki hedef derinliğin 250-275 metre aralığında olmasından ve bunun yanında sahanın topografik özelliklerine uygunluğu yönünden vibrosismik kullanımı önerildi.

2.5. Sweep Türünün Belirlenmesi

Bu çalışmadaki amaç kömür seviyesinin belirlenmesi olduğu ve Afşin-Elbistan kömür sahasında kömür seviyesinin derinliğinin 150 ile 200 metre arasında yer almasından dolayı bu çalışma için azalan sweep sinyalinin kullanımı tercih edildi.

2.6. Ofset Seçimi

Kaynak ve jeofonların nasıl konumlanacağına karar verilmesi için yakın ve uzak ofset değerleri hesaplandı. Yapılan değerlendirmeler sonucunda yakın ve uzak ofset değerlerinin 15 m ve 245 m olarak seçilmesi önerildi.

2.7. Grup Aralığı, Atış Aralığı, Kayıt Uzunluğu ve Örnekleme Aralığı

Alıcı istasyonlar arası mesafenin belirlenmesi amacı ile grup aralığı ve atış aralığı, İlgilenilen en derin hedef seviye ile kayıt uzunluğu ve son olarak frekans göz önüne alınarak örnekleme aralığı hesaplandı.

3.5 Zaman ve Maliyet

Önerilen sismik saha parametreleri göz önüne alınarak çalışma için Türkiye koşullarına göre zaman hesaplaması yapıldı. Sonrasında önerilen hattın boyu, enerji kaynağı atış aralık sıklığına göre maliyetin hesaplanmasında hangi kalemlerin ne kadar etkili olacağı belirlendi.

3. SONUÇLAR

Afşin-Elbistan bölgesinde yapılan bu çalışma sismik yöntemlerle kömür araştırılmasında seçilecek veri toplama parametrelerin önemini kapsamaktadır. Bu nedenle, hâlihazırda dünya üzerinde birçok şirket özellikle vibrosismik olmak üzere sismik veri toplama parametrelerinin büyük miktarlarda bütçe ayırmaktadır. Bu durum uygun parametre seçiminin önemini ortaya koyar. Bu çalışmada Afşin-Elbistan sahasında kömürlü seviyelerin detaylı takibinin yapılması için önerilen yeni sismik hatlara ait saha kayıt parametreleri belirlenirken bölgenin jeolojik, topografik ve lojistik özellikleri dikkate alınmış ve karşılaşılacak sorunlar önceden tahmin edilerek öneriler sunulmuştur. Sahada yeni yapılacak sismik çalışmada verilerin sinyal/gürültü oranını artırmak ve maliyet açısından zamandan kazanmak amacını güderek yeni saha kayıt parametreleri ile birlikte sismik hatlar önerilmiştir. Çalışma bölgesinde önceden toplanmış jeolojik ve jeofizik verilerin korelasyonu ve sahaya ait jeolojik bilgiler bu bölgede yeni sismik çalışma yapılması için gerekli saha parametrelerinin seçiminde kullanılmıştır. Tüm değerlendirmeler ışığında kuzey-güney yönlü 500 metre uzunluklu Hat-4, kuzey-güney yönlü bir diğer hat olan 500 metre uzunluklu Hat-5 ve doğu-batı yönlü 2000 metrelik Hat-6 olmak üzere üç yeni sismik hat önerilmiştir. Sismik çalışmada azalan sweep türünde sinyal üreten vibrosismik sismik kaynak tercih edilmiştir. Bu kaynağın tercih edilmesinde kontrol edilebilir bir kaynak olması, patlatma (fişek) kaynak kullanımına göre daha hızlı, düşük maliyetli olması ve çevreye daha az zarar vermesi göz önünde bulundurulmuştur. Vibratörün kontrol edilebilirliği sayesinde önerilen frekans aralığı 50-150 Hz olarak önerilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda yakın ve uzak ofset değerlerinin 15 m ve 245 m olarak seçilmesi önerilmektedir. Çalışmada ayrıca örnekleme aralığının1 ms, alıcılar arası uzaklığın 5 metre, atış aralığının 10 metre ve kayıt uzunluğunun 1000 ms olmasının uygun olacağı belirlenmiştir. Önerilen bu parametreler ile yapılacak sismik yansıma çalışmasının üç günlük bir sürede tamamlanması beklenmektedir.

TEŞEKKÜR

Araştırma sahası ile ilgili tecrübelerini benimle paylaşan ve her türlü soruma yanıt veren sayın Jeofizik Mühendisi M. Cengiz Tapırdamaz, Jeoloji Mühendisi Yahya Çiftçi ve Jeofizik Mühendisi Ceyhun Ertan Toker'e saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

Çiftçi, Y., Toker, C.E., 2007. Afşin-Elbistan (K.Maraş) kömürlü neojen istifinde deneysel sismik yansıma uygulaması ve jeolojik yorumu, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration,* 135, 45- 62.

CEVHER HAZIRLAMA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Bitirme Tasarım Projeleri Bildirileri

Düşük Tenörlü Altın Cevherlerinin Liç İşleminde HPGR ve Konvensiyonel Kırıcıların Liç Kinetiğine Etkisinin İncelenmesi

Investigation of The Effect of HPGR and Conventional Crushers on The Leach Kinetics of Low-Tenor Gold Ore

Z. Kahya
İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul)

Y. E. Pural
İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul), Araş. Gör. Yard. Danışman

F.Boylu
İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul) Prof.Dr.Tez Danışmanı

ÖZET Bu çalışma kapsamında HPGR (High pressure grinding rolls) ve konvansiyonel kırıcı ile kırılmış düşük tenörlü altın cevheri üzerinde, tane boyutu ve siyanür konsantrasyonunun liç kinetiğine etkisi araştırılmıştır. HPGR ile boyut küçültme işlemleri sonrasında cevherin yapısında oluşturulan mikro çatlaklı yapının liç kinetiğine ve yığın geçirimliliğine etkisi araştırılmak üzere "şişe çevirme testi (bottle roll test)" ve "kolon liç testi" yapılmıştır. Şişe ve kolon liçi testleri sonucunda, HPGR'ın konvensiyonel bir kırıcıdan farklı olarak cevherin yapısında oluşturduğu mikro çatlaklı yapının, özellikle iri boyut fraksiyonları için; gerek Au gerekse Ag çözündürme verimleri açısından daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Altın kazanımı, liç kinetiği, şişe çevirme testi, kolon liç testi, HPGR

ABSTRACT In this study, how the leaching kinetics of material flowing to crushing through both HPGR and concevtional crushers is effected was subjected to investigate. Following to the size reduction processes through both crushers, "bottle roll test" and "column leaching test" were carried out to investigate the effect of the micro-cracked structure formed in the structure of the ore on leach kinetics and heap permeability. As a result of the bottle and column leaching tests, it was determined that the micro-cracked structure created by HPGR in the structure of the ore, unlike a conventional crusher, is more advantageous in terms of both Au and Ag dissolution efficiencies, especially for coarse size fractions.
Keywords: Gold recovery, leaching kinetics, bottle roll test, column leaching test, HPGR

1 GİRİŞ

Altın madenciliğinin uygulanmasında bazı etkin parametreler vardır. Cevherin mineralojik bileşimi, tenörü, cevher kayacının fiziksel ve kimyasal özellikleri altın kazanımı için seçilecek yöntemi doğrudan etkilemektedir. Altın cevherlerinin zenginleştirilmesinde amalgamasyon, gravimetrik yöntemler, flotasyon ve siyanür liçi yöntemleri kullanılmaktadır. Dünya genelinde altın üretiminin %83-85'i siyanür liçi yöntemleriyle, %3-5'i gravite yöntemiyle ve %10-14'ü flotasyon yöntemiyle gerçekleşmektedir. Siyanür liçinin bu kadar tercih edilir olmasının sebebi günümüzde, dünya çapında tespit edilen altın yataklarının tenörlerinin çok yüksek olmamasından kaynaklıdır. Altın kazanım yöntemi; cevherin jeolojik, mineralojik, metalurjik özelliklerine göre belirlenmekte; çevresel ve coğrafik koşullar da göz önünde bulundurularak nihai karar verilmektedir [1].

Siyanür ile çözündürme işlemi, kolay uygulanabilirliği ve ekonomik olması nedeniyle altın endüstrisinde yüzyılı aşkın süredir altın cevherlerinin kazanımı için tercih edilen yöntem olmaya devam etmektedir. Altın cevherlerinin

liçi için oksidan ve kompleks oluşturucu reaktif gereklidir. Siyanürleme işleminde kullanılan oksidan atmosferdeki oksijendir [2].

Liç yöntemi kendi içinde farklı alt başlıklara ayrılmaktadır. İki ana başlık altında açıklamak gerekirse bunlar süzülme liçi ve karıştırma liçidir. Yığın liçi, doğrudan yığın (dump) liçi, biyo-liç ve yerinde liç gibi metodlar süzülme liçi; havalı karıştırmalı, mekanik karıştırmalı ve basınçlı liç ise karıştırma liçine örnektir.

Metal içeren cevherin, geçirimsiz bir yatak (ped) üzerinde bir yığın halinde istiflenmesi ve haftalar, aylar, yıllar süren uzun bir süre boyunca istenen metali çözmek için kimyasal bir çözelti ile ıslatılması ve metalin kazanılması işlemlerine yığın liçi denir [3].

Son yıllarda özellikle düşük tenörlü altın cevherleri için yığın liçi uygulamaları ön plana çıkmaktadır. Yığın liçi uygulamalarında, belirli tane boyutuna getirilen cevher üzerine çözücü damlatma usulu ile verilmekte ve yığın boyunca ilerleyen ve doygun hale gelen çözücü yığının alt kısmındaki geçirimsiz tabakada toplanarak, sıyırma ünitesine gönderilmektedir.

Yığın Liçi uygulamasında; yığın geçirimliliği ve tane yapısı önemli etkenlerdir. Özellikle mikro çatlaklı yapı oluşturma özelliğinden dolayı, yığın liçi uygulamasında cevherin HPGR ile boyut küçültme işlemine tabii tutulması ve bu şekilde çözündürme verimlerinin arttırılması üzerine literatürde yer almış önemli uygulamalar mevcuttur.

Bu çalışma kapsamında düşük tenörlü altın gümüş cevherinin liç kinetiği, farklı siyanür konsantrasyonlarında ve farklı boyut aralıklarında incelenmiştir. Konvensiyonel bir kırıcı ve HPGR ile boyut küçültme işlemine tabii tutulan aynı bölgeye ait cevhere, eş zamanlı testler yapılarak, HPGR'ın cevherin yapısında oluşturduğu mikro çatlaklı yapının liç verimine etkisi gözlemlenmiştir.

Söz konusu deneyler laboratuvar ortamında yaklaşık 3 aylık bir test programı ile sistemli bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Malzeme ve Yöntem

Çalışma kapsamında kullanılan cevher Kütahya bölgesine ait düşük tenörlü altın cevheridir. Cevher iki kısma ayrılmış bir kısmı HPGR, diğer kısmı ise çeneli kırıcı kullanılarak boyutu küçültülmüştür. Ardından farklı boyut fraksiyonu ve siyanür miktarlarında kırma mekanizmasının etkisini görmek amacıyla testler yapılmıştır. Boyut küçültme işlemleriyle cevher boyutu yaklaşık 8 mm altına indirilmiştir. Daha sonra konileme dörtleme yöntemi ile numuneler alınarak şişe çevirme ve kolon liç testlerinde kullanmak üzere ayrılmıştır. Her bir grup için numuneler alınarak elek analizi yapılmış ve boyut dağılım grafikleri oluşturulmuştur.

Şişe çevirme testlerinde kullanılacak cevher, numune bölücü ile homojen bir şekilde bölünmüştür. Oluşturulan test planına göre farklı boyut gruplarında yapılacak şişe çevirme testleri için elek analizi yapılmıştır.

Elek analizinde 8mm, 6.3mm, 4.75mm, 2.36mm ve 1mm'lik elek kullanılmıştır. Numune bölücü kullanarak, her bir boyut grubunu ve orijinal numuneyi temsil edecek şekilde 1000 gramlık numune paketleri hazırlanmıştır.

Kolon liç testlerinde kullanılacak cevher orijinal numuneyi temsilen tek bir boyut grubunda -8 mm olarak kullanılmıştır. Kolon liç testlerinde kullanılmak üzere cevherin peletlenmesi gerekmektedir. Her bir kolon için 40 kg cevhere, 1 kg/ton olacak şekilde kireç ilavesi yapılmıştır. Çeneli kırıcı ile kırılan cevhere, cevher ağırlığının %5'i olacak şekilde; HPGR ile kırılan cevhere ise cevher ağırlığının %6'sı olacak şekilde su ilavesi yapılmıştır. Hazırlanan karışım aglomeratore koyularak cevher peletlenmiştir. Aglomerasyon tamamlandıktan sonra kolonların dolumları gerçekleştirilmiştir. Dolum esnasında peletlerin dağılmamasına özen gösterilmiştir.

2.2 Cevherin Özellikleri

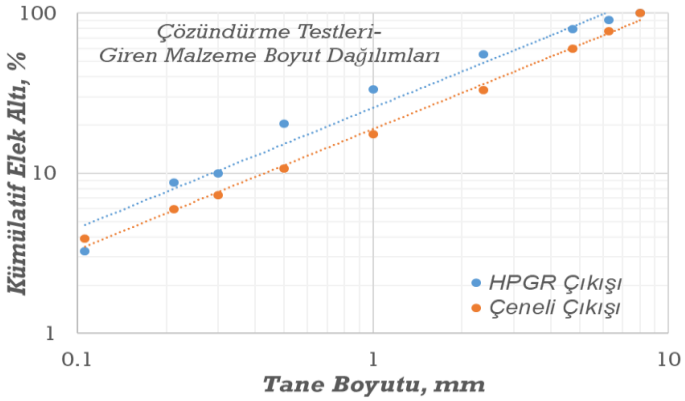
Deneylerde kullanılan cevher oksitli ve düşük sülfür içerikli bir cevherdir. Yapılan mineralojik analiz sonuçlarına göre cevher %74 kuvars, %17 kalsit, %3 muskovit, %3 K-feldspat ve %3 gang mineralleri içermektedir. Yapılan ICP analizine göre cevherin kimyasal analiz sonuçları Tablo1'deki gibidir.

Tablo 1. ICP Kimyasal Analiz Sonuçları (ppm cinsinden)

Au	**Ag**	**Al**	**As**	**Co**	**Cr**
1.87	3.5	17360	247	1.43	59
Cu	**Fe**	**Mn**	**Ni**	**Sb**	**Zn**
17	10050	50	94.5	1550	24

Cevher, şişe çevirme testi ve kolon liç testlerinde kullanılmak üzere HPGR ve Çeneli kırıcı ile yaklaşık 8.0 mm altına kırılmış ve boyutlandırılmıştır. Her iki kırıcıdan çıkan malzeme boyut dağılımları Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1'den görüldüğü üzere d_{max} boyutu 8.0 mm olan kırıcı sonrası ürünlerin, kırılma karakteristiklerinin benzer olduğu ancak HPGR'ın çeneli kırıcıya göre göreceli olarak daha ince boyut dağılımlı ürün verdiği tespit

edilmiştir. Boyut dağılım farklılığından kaynaklanabilecek etkileri elimine etmek için şişe çevirme testleri, -8.0 mm boyut grubunda ve aynı zamanda yakın boyut fraksiyonlarında gerçekleştirilmiştir.

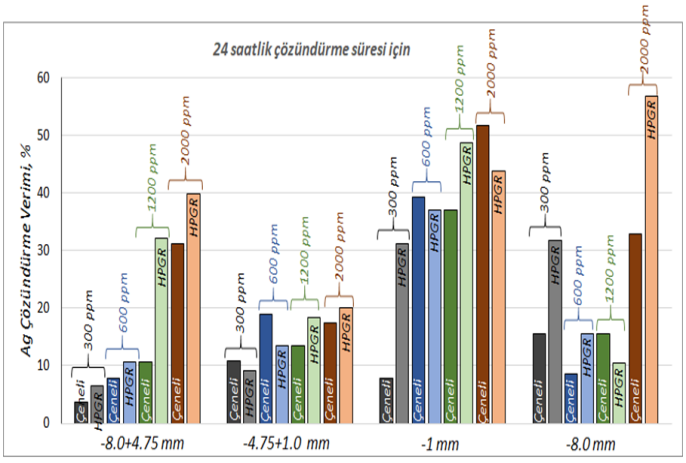


Şekil 1. -8mm'lik cevherin boyut dağılımı

3 DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

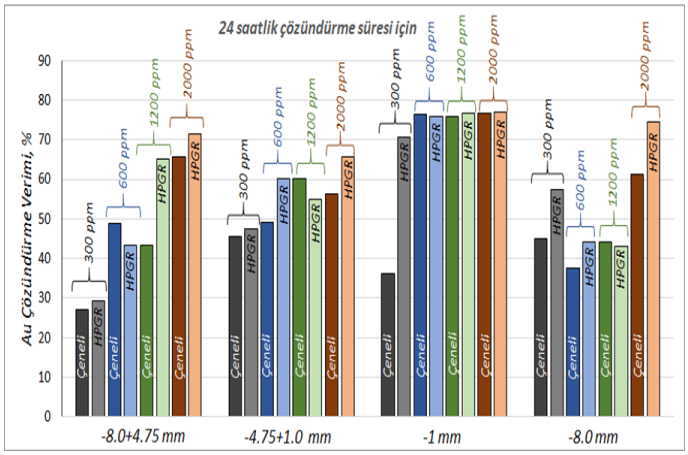
3.1 HPGR/Çeneli Kırıcı İle Kırılmış Cevherin Çözündürme Verimlerinin Karşılaştırılması

Gerek HPGR gerekse konvensiyonel kırıcı ile üretilmiş ve boyutlandırılmış ürünler üzerinde yapılan detaylı çözündürme sonuçları Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 2. HPGR/Çeneli kırıcı ile kırılmış malzemelerin şişe testleri sonuçlarının Au çözünme verimi açısından karşılaştırılması

Boyut küçüldükçe kırıcı/kırma farklılığından kaynaklanan çözündürme verimlerinde görülen avantajın kaybolduğu, özellikle -1 mm boyut grubu için her iki kırıcının birbirine üstünlük sağlamadığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi iki nedenle açıklanabilir. HPGR kırıcısı kırma esnasında malzeme yapısında mikroçatlaklar oluşturmakta, ancak boyut küçüldükçe çatlaklı yapının kaybolması, diğer neden ise boyut küçüldükçe serbestleşme boyutuna yaklaşılması ve mikro çatlaklı yapı avantajının kaybolmasıdır. Ancak, söz konusu cevher üzerinde yığın liçi uygulaması planlanmakta olup, daha iri boyutta çözündürme uygulamaları söz konusu olacaktır. Bu durumda HPGR kırıcısı ön plana çıkacaktır. HPGR ile iddia edildiği ve literatürde belirtildiği üzere malzeme yapısında gelişen çatlaklı yapı SEM ve benzeri analizlerle desteklenmeli ve HPGR uygulamasının avantajı ve malzeme yapısında yarattığı değişimlerin ortaya konması da gerekmektedir.



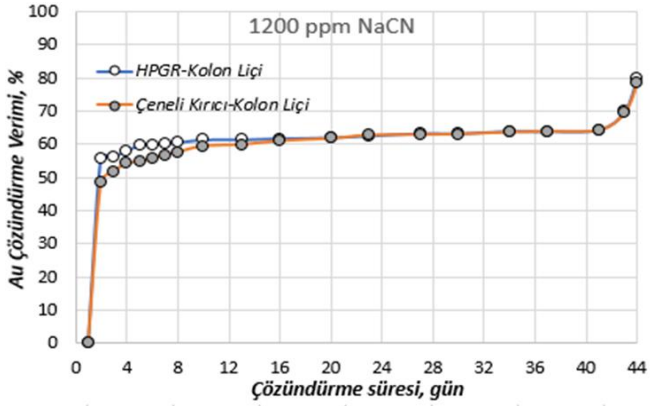
Şekil 3. HPGR/Çeneli kırıcı ile kırılmış malzemelerin şişe testleri sonuçlarının Ag çözünme verimi açısından karşılaştırılması

3.2 Kolon Liç Testleri

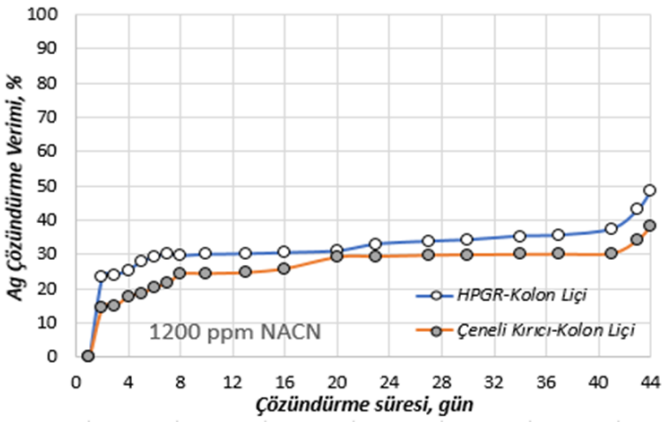
Şişe çevirme testi ön değerlendirme sonuçları baz alındığında gerek Au gerekse Ag çözündürme verimleri açısından optimum NaCN konsantrasyonu 1200 ppm olarak tespit edildiğinden, sınırlı sayıda yapılması planlanan kolon liç testleri bu siyanür konsantrasyonunda, HPGR ve Çeneli kırıcı kullanarak tamamı 8 mm altına kırılmış cevher üzerinde gerçekleştirilmiştir.

HPGR ile kırılmış malzemenin, çeneli kırıcı ile kırılmış olan malzemeye göre nispeten daha yüksek çözündürme verimleri verdiği tespit edilmiştir. Her iki malzeme ile de 40 gün sonunda ulaşılan Au çözündürme verimi yaklaşık %80 olarak tespit edilmiştir. İri boyutta bu seviyelerde Au çözündürme verimlerinin kabul edilebilir düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Ag çözündürme verimleri açısından karşılaştırıldığında, HPGR ile kırılmış malzemenin, çeneli kırıcı ile kırılmış malzemeye göre yaklaşık %10 oranında daha yüksek çözündürme verimleri verdiği tespit edilmiş ve Ag çözündürme verimleri %50 ve %40 olarak belirlenmiştir (Şekil 4-5).



Şekil 4. HPGR ve Çeneli Kırıcı ile kırılmış malzemelerin çözündürülmesinde Au çözündürme verimleri



Şekil 5. HPGR ve Çeneli Kırıcı ile kırılmış malzemelerin çözündürülmesinde Au çözündürme verimleri

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada farklı kırıcılarla boyut küçültmenin yığın liçi verimi üzerindeki etkisini görmek amacıyla, cevher HPGR ve çeneli kırıcı ile kırılmıştır. Ardından şişe çevirme testleri yapılmış daha sonra ise optimum NaCN konsantrasyonunda kolon liç deneyleri yapılmıştır.

Yapılan şişe çevirme testi sonuçlarına göre, özellikle iri boyutlarda 1200 ppm NaCN konsantrasyonunun optimum olduğu ve bu konsantrasyonlarda %80 çözündürme verimlerine ulaşıldığı, boyut küçüldükçe 300 ppm gibi düşük NaCN konsantrasyonlarında dahi %75-80 çözündürme verimlerine ulaşılabileceği tespit edilmiştir.

HPGR ve çeneli kırıcı ürünleri ile benzer boyut ve NaCN konsantrasyonlarında gerçekleştirilen şişe testleri sonuçları birbirleriyle karşılaştırıldığında, özellikle iri boyutlarda, HPGR ile boyut küçültmenin çeneli kırıcı uygulamasına göre Ag ve Au çözündürmesinde avantajlar yarattığı ve daha yüksek çözündürme verimlerine olanak sağladığı; ancak, -1 mm gibi küçük boyut gruplarında boyut küçültme ekipmanı farkının çözündürmeye önemli bir etkisinin olmadığı, bunun da, muhtemel mikro çatlak yapının kaybolduğu, makro çatlaklar sonucu -1mm boyut grubunun oluştuğu, ayrıca bu boyut grubunun serbestleşme boyutuna yakın olması dolayısıyla gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Şişe çevirme testinde elde edilen optimum konsantrasyon olan 1200 ppm NaCN ile gerek HPGR gerekse çeneli kırıcı ürünleri üzerinde 40 gün süre ile kolon testleri gerçekleştirilmiş ve gerek Au gerekse Ag çözündürme verimleri açısından HPGR kırıcısı uygulamasının avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda, HPGR uygulamasının düşük tenörlü Au cevherlerinin liç verimine olumlu etkisinin olduğu ve çözündürme farkı yarattığı düşünülen mikro çatlaklı yapının detaylı olarak araştırılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Gerek öğrencilik yıllarım gerekse çalışmam boyunca bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Feridun BOYLU' ya, çalışmam boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana her konuda destek olan Sayın Nursun ŞİRVANCI'ya ve deneysel çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Sayın Nihat TARHAN'a ve Araş. Gör. Sayın Yusuf Enes PURAL'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

KAYNAKLAR

Ünal, H. İ., Tuncel, S., Yoleri, B., & Arslan, M. (2016). *Türkiye ve Dünyada Altın.* Ankara: MTA Fizibilite Etüdleri Dairesi Başkanlığı.

Li, J., & Miller, J. D. (2006). A REVIEW OF GOLD LEACHING IN ACID. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review: An International Journal*(27), 177-214.

Manning, T. J., & Kappes, D. W. (2016). Heap Leaching of Gold and Silver Ores. In *Gold Ore Proccesing* (pp.413-428). Elsevier B.V.

The Characterization and Mechanical Separation of Metals from Printed Circuit Boards In Printers

Yazıcı Baskı Devre Kartlarının Mekanik Ayrılması ve Karakterizasyonu

G. Akça, E. Baştürkçü, N.İ. Dinç, F. Burat
İstanbul Technical University, Mineral Processing Engineering Department, İstanbul, Türkiye

ÖZET Dünya nüfusunun artması ve teknolojinin gelişmesi elektrikli ve elektronik cihazlara olan talebi artırmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ve pazarın genişlemesi, elektronik cihazların sıklıkla değiştirilmesine sebep olmaktadır. Kullanım ömrü dolan ürünler ise elektronik atık olarak hurdaya çıkmaktadır. Araştırmalara göre dünya genelinde yıllık tüketilen e-atık miktarının 2021 yılında 57,4 milyon tona ulaşacağı tahmin edilmektedir. Elektronik atıklar içerdikleri civa ve kadmiyum gibi toksik bileşenler nedeniyle çevreye ve canlılara ciddi zararlar vermektedir. Zararlı bileşenlerin yanı sıra altın, gümüş ve bakır gibi değerli metaller de içerirler. Bu değerli metallerin içerikleri doğal kaynaklardakilere kıyasla çok yüksektir ve bu durum elektronik atıklardan metal geri kazanımını karlı hale getirmektedir. Günümüzde hemen hemen her türlü elektronik ekipmanda bulunan baskılı devre kartları, elektronik atıkların önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. BDK'ları çok sayıda metal içermeleri nedeniyle son yıllarda ikincil bir malzeme kaynağı olarak ön plana çıkmıştır. Bu çalışmada yazıcılardan bulunan baskı devre kartlarının boyut küçültme işlemleri ve elde edilen ürünlerin karakterizasyonu incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Baskı devre kartları, metal, geri dönüşüm

ABSTRACT The increase in the world population and the development in technology has increased the demand for electrical and electronic devices. Technological innovation and market expansion contribute to the frequent replacement of electronic devices. Products that are expired their lifespan are scrapped as electronic waste (e-waste). It is estimated that the amount of e-waste consumed worldwide annually will reach 57.4 million tons by the year 2021. E-wastes cause serious damage to the environment and livings due to their toxic components such as mercury and cadmium. In addition to them, they contain precious metals such as gold, silver, and copper. The content of these precious metals is very high compared to natural resources and makes them very profitable. Nowadays, printed circuit boards (PCBs) are found in almost all types of electronic equipment, and they constitute an important part of e- waste. PCBs in printers (PPBCs) have been evaluated as a secondary material source due to their high metal contents. In this study, the comminution and characterization of PPCB is investigated.

Keywords: Printed Circuit Boards, Metal, Recycling

1 INTRODUCTION

In 2019, approximately 53.6 million metric tons (Mt) of e-waste was generated. It is estimated that the amount of e-waste will exceed 74Mt in 2030. Thus, the global quantity of e-waste is increasing at an alarming rate of almost 2 Mt per year (Balde et al., 2020). PCBs which are found in all forms of electronics, are of great significance since they are secondary raw materials that rich in copper and precious metals such as gold, silver, and palladium. PCBs consist of electrical components and

connectors to route electrical signals and power within and between devices connected by conductive circuits, generally copper. The precious metal content of PCBs is 10 times higher than a typical rich ore (Burat and Özer, 2017). A single cell phone, for example, can contain large levels of gold (24 mg), silver (250 mg), and palladium (9 mg) (Oguchi et al., 2011). Typically PCBs contain 40% of metals, 30% of organics and 30% ceramics (Luda, 2011). Recovery of PCBs is generally carried out by metallurgical enrichment methods. However, applying physical beneficiation processes before metallurgical processes is crucial in order to increase the value of recovery and removing reusable and hazardous components from PCBs (Tanisali et al., 2021).

2 MATERIAL AND METHOD

About 5 kg of waste printer mainboards were supplied from Exitcom Recycling Company (Fig. 1). The mainboard includes PCB consisting of composite fiberglass material on its base, and many components attached to the surface such as switch, diode, buzzer, battery, diode, transistor, inductor, capacitor, integrated circuit, etc.

Figure 1. PCB used in experiment.

Firstly, the undesirable attachments and components were manually disassembled (Fig. 2), and then comminution processes (shredding, crushing, and grinding) were successfully subjected to achieve sufficient liberation of metals from the waste matrix. The equipment's used for the comminution of PPCBs are illustrated in Fig. 3. Size reduction processes were applied in multiple stages. Net Plasmak brand shredder was used as a primary crusher. After the first stage of crushing process, the material was classified using a sieve with an opening of 2 mm.

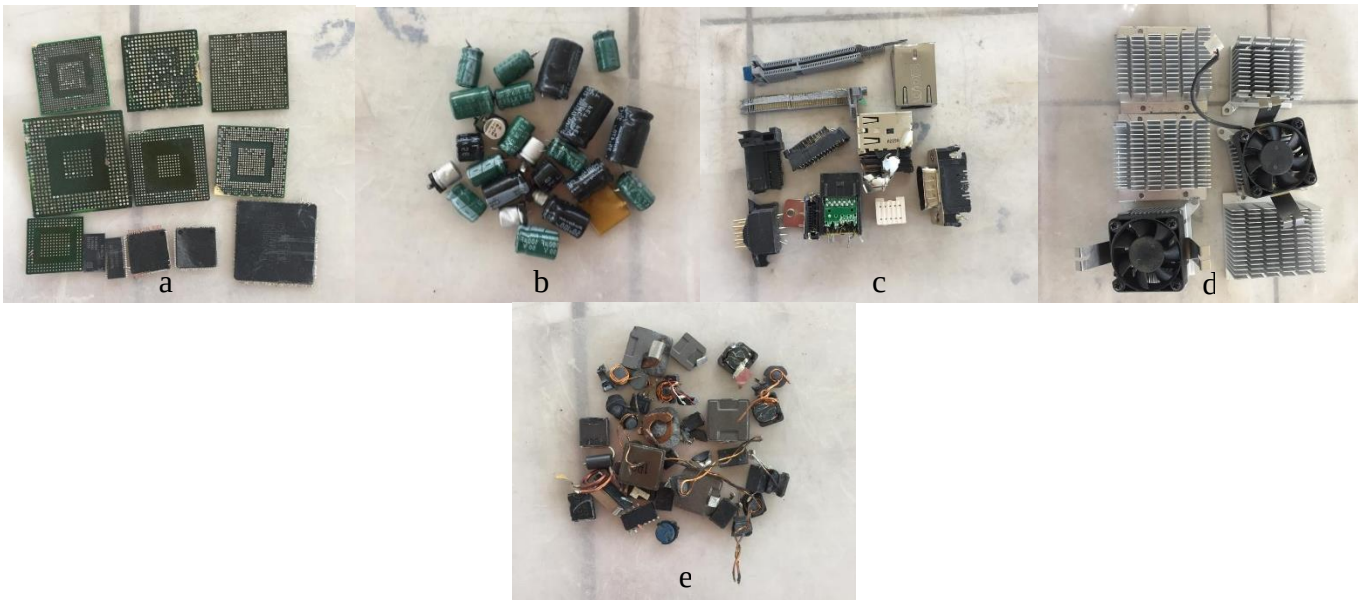


Figure 2. Components after manual disassembly: a) chips, b) capacitors, c) integrated circuits & switches, d) cooling fan, e) inductors.

Figure 3. The devices used for comminution: a) shredder, b) hammer crusher, c) ring mill.

The material over 2 mm contains a high amount of locked particles, therefore a hammer crusher was used for further liberation of particles. Again, the over screen material (+2 mm) was introduced to the milling. Retsch RS-1 model ring mill was used. After the comminution process is completed the material was classified into various fractions and sent to image analysis.

3 PHYSICAL PROPERTIES OF THE MATERIAL

3.1. The Results of Size Reduction Process

After size reduction process has been completed, the representative PPCB samples were obtained through quartering of the comminuted products and particle size analysis was conducted using an electric shaker with standard sieves. The d_{80} value of the shredded material is determined as 8 mm and the d_{50} value as 5 mm. As a result of the sieve analysis of shredded material, it was seen that the liberation of metal from waste matrix was not sufficient. Therefore, the shredded material was fed to the hammer crusher for the secondary crushing. The d_{80} value of the material after hammer crushing was determined as 3.3 mm and d_{50} value as 1.8 mm. Metal and nonmetal particles are almost dissociated from each other and soft metals take the form of plates due to the impact effect of the hammer crusher. The waste matrix and metals were substantially separated from the slot, however, there were still some unallocated baseplates. Finally, the material over 2 mm was fed to tertiary comminution process. As a result of the grinding with disc mill, small metal particles with rounded corners and spherical shapes were generated. The d_{80} was determined as 0.5 mm and d_{50} value as 0.16 mm.

3.2. Image Analysis

To provide morphological identification of crushed PPCB particles the samples were magnified and identified using two-dimensional photographs. The samples were carefully picked from the fractions and then classified after size reduction. The photographs of the material were taken with a Leica brand image analysis device. According to the results obtained from the image analysis, the grains in the size groups were categorized as free metal, free plastic, free ceramic, free board piece, locked board piece, and locked plastics (Fig. 4). The images of various fractions after comminution are shown in Figure 5.

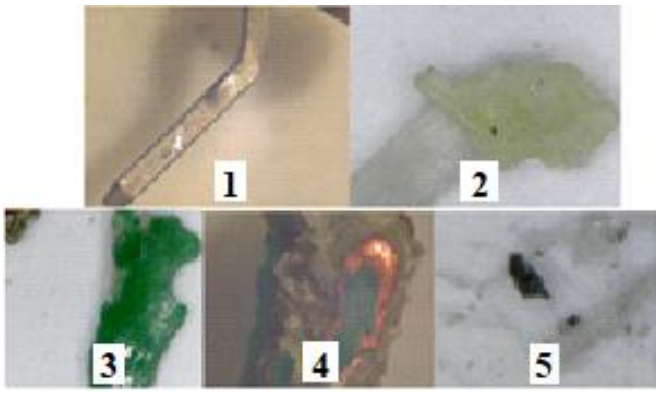


Figure 4. The particles of communited PCB: 1) free metal, 2) free plastic, 3) free board pieces, 4) locked board pieces, 5) free ceramics.

According to observations made on the images of comminuted materials, the following items were reported. In the +4.76 and -4.76+2 mm fractions, selected representative sample show that material contains copper as metal and interlocked with board particle. In the -2+1 mm fraction, locked boards, some free metals, and free plastics were observed. In the -1+0.5 mm fraction, the number of liberated particles increased. However, a large amount of locked board pieces was also observed. In the -0.5+0.212 mm and -0.212 +0.106 mm fractions, the amount of free plastics, free metals, and free boards dramatically increased. At the finest size fraction, -0.106 mm, the number of free plastic, free ceramic, and free board pieces were more than free metals.

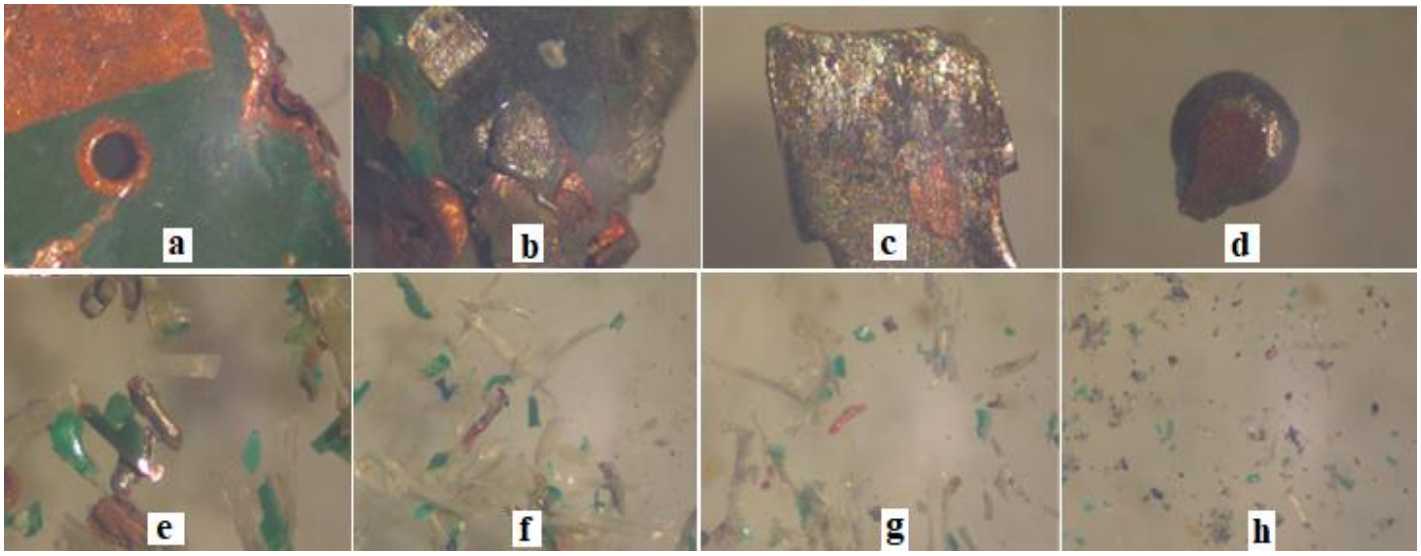


Figure 4. The images of various fractions after comminution process:
a) +4.76 mm, b) -4.76+2 mm, c) -2+1 mm, d) -1+0.5 mm,
e) -0.5+0.212 mm, f) -0.212+0.106 mm, g) -0.106+0.053 mm, h) -0.053 mm.

4 CONCLUSIONS

- In the coarse size fractions (+2 mm), the particles are mostly composed of locked particles.
- The number of liberated particles reaches a sufficient level at -1 mm and gravity-based beneficiation methods could be applied for efficient metal and non-metal separation.
- The numbers of liberated waste matrix particles are much more than free metal particles in the fine fractions. It means that liberated metal particles remain in the larger fractions since they gain plate shape and needle-like ceramic and fibers passed in small size fractions according to their shape factor.

REFERENCES

Baldé, C.P., Wang, F., Kuehr, R., Huisman, J., 2015, *The global e-waste monitor – 2014*, United Nations University, IAS – SCYCLE, Bonn, Germany

Burat, F., Özer, M., 2018. Physical separation route for printed circuit boards, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 52, 2, pp.554-556.

Luda, M. P., 2015. Recycling of Printed Circuit Boards. *Integrated Solid Waste Management.*

Oguchi, M., Murakami, S., Sakanakura, H., Kida, A., Kameya, T., 2011. A preliminary categorization of end-of-life electrical and electronic equipment as secondary metal resources. *Waste Management*, 31, 9–10, pp. 2150–2160.

Tanısalı, E., Özer, M., Burat, F., 2021. Precious metals recovery from waste printed circuit boards by gravity separation and leaching, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 42, 1, pp. 24-37.

Atık Pillerden Lityum, Kobalt, Nikel ve Grafit Gibi Değerlerin Geri Kazanımı

Recycling Lithium, Cobalt, Nickel And Graphite From Waste Batteries

S. Gürbüz, Z. Üçerler, O. Kangal
İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Çalışma prensibi açısından piller; primer (şarj edilemez) piller ve sekonder (şarj edilebilir) piller olma iki temel sınıfa ayrılmaktadır. Tek kullanımlık pillerin yoğun olarak kullanılması atık pil probleminin oluşmasındaki en önemli etkenlerdendir. Sekonder piller de içlerinde bulundurdukları minerallerden dolayı atık dönüşümü açısından önemlidirler. Primer ve sekonder pillerin bir kısmında lityum ve kobalt elementleri bulunmaktadır. Nikel mineralleri de sekonder pil üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır. Diğer yandan pek çok pil çeşidinde grafit bulunmaktadır. Bu koşullarda hem doğaya minimum hasar vermek hem de ekonomik fayda sağlamak açısından, atık pil içeriğindeki değerli mineralleri geri kazanmak amacı ile pek çok farklı geri dönüşüm yöntemi geliştirilmiştir. Bu tez kapsamında, pil çeşitleri, dünyada pil kullanımı, atık pillere dair prosesler ve pil üretiminde yoğun olarak kullanılan lityum, kobalt, nikel ve grafit elementlerinin geri kazanılması amacıyla geliştirilen yöntemlerin açıklanması amaçlanmıştır.

ABSTRACT Batteries in terms of working principle; They are divided into two basic classes, primary (non-rechargeable) batteries and secondary (rechargeable) batteries. The intensive use of disposable batteries is one of the most important factors in the formation of the waste battery problem. Secondary batteries are also important in terms of waste recycling due to the minerals they contain. Some of the primary and secondary batteries contain lithium and cobalt elements. Nickel minerals are also used as raw materials in the production of secondary batteries. On the other hand, many battery types contain graphite. In these conditions, many different recycling methods have been developed to recycle the valuable minerals in the waste battery content in order to cause both minimum damage to nature and provide economic benefit. Within the scope of this thesis, it is aimed to explain the battery types, battery usage in the world, processes related to waste batteries and methods developed for the recovery of lithium, cobalt, nickel and graphite elements that are used extensively in battery production.

1 GİRİŞ

Pillerin nihai uzaklaştırılma uygulamaları; araziye depolama, stabilizasyon, yakma ve geri kazanım olarak sıralanabilmektedir. İlk üç proses, maliyet ve çevreye olan etkileri açısından yeterince elverişli olmadıkları için geri kazanım alanında yeni yöntemler üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu sebeple atık pillerin geri kazanımı ile ilgili bazı prosesler geliştirilmiştir. Bu prosesler pirometalurjik veya hidrometalurjik prosesler olarak sınıflandırılabilir. Bu tez

çalışmasında birincil olarak piller hakkında genel bilgiler verilmiştir. Yasal düzenlemeler, pillerin kullanımından sonra tekrar hammadde durumuna gelmesinde etkili olan süreçler, pillerin kullanımı sonrası atık duruma geldikten sonra günlük hayat içinde nasıl bir akışa dahil oldukları ve sonrasında bu süreçler ardından geri kazanım yöntemleri üzerine literatürde yer alan çalışmalar incelenmiştir. Bu yöntemler çerçevesinde atık pillerden lityum, kobalt, nikel ve grafit kazanımının nasıl gerçekleştiğine dair araştırmalar, deneysel çalışmalar, mevcut endüstride trend olan ve verimliliği kabul görmüş prosesler üzerine çalışılmıştır.

2 GENEL BİLGİLER

Pil, kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren elektrokimyasal bir araçtır. Pil basit olarak bir anot (negatif elektrot), bir katot (pozitif elektrot), bir elektrolit, ayırıcılar ve dış kılıftan meydana gelmektedir (Almeida ve diğ., 2006, Öztürk, 2007). Piller iki ana başlık altında incelenebilmektedir. Bunlar:

Birincil piller: Bu tip piller elektrik enerjisi bittiği zaman tekrar şarj edilemeyen pillerdir. En çok kullanılanları, Çinko-Karbon, Alkalin-Manganez, Gümüş Oksit ve Cıva Oksit pilleridir.

İkincil piller: Bu tip piller yeniden şarj edilebilir pillerdir. En çok kullanılanları, Nikel-Kadmiyum, NiMH, Li-iyon ve Kurşun Asit pilleridir (Electrochemistry, 2010).

3 ATIK PİLLERDEN LİTYUM VE KOBALT GERİ KAZANIMI

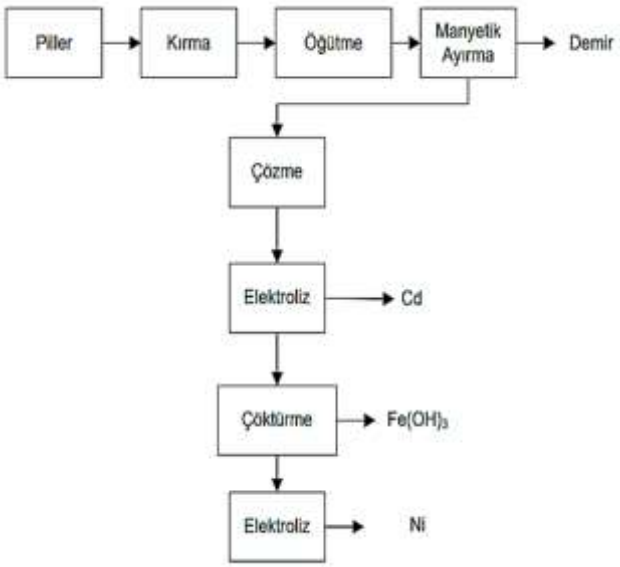
Atık pillerde geri kazanımda ön aşama olarak bazı fiziksel yöntemlere başvurulmaktadır. Sonrasında, ayrılan katot malzeme bir kimyasal süreçten geçirilip lityum, kobalt ve diğer metaller geri kazanılmaktadır. Fiziksel prosesler; mekanik ayırma, termal proses, mekanokimyasal proses ve çözündürme proseslerini içermektedir. Kimyasal prosesler içinde ise asit liçi, biyoliç, solvent ekstraksiyonu, kimyasal çöktürme ve elektrokimyasal prosesler bulunmaktadır.

Genelde atık pillerden metal türlerinin geri kazanımı amacıyla 3 çeşit geri kazanım prosesinin birlikte kullanılması gerekmektedir. Bunun nedeni parçalarına ayırma, ısıl işlem, asit liçi, çözücü ekstraksiyonu, kimyasal çöktürme ve elektrokimyasal proses gibi tek bir çeşit geri kazanım yöntemi ile atık pillerden metallerin etkili bir şekilde geri kazanılamamasıdır. Literatürde ve sektörel uygulamalarda öne çıkan bazı kombinasyonlar şunlardır;

- Kırma, asit liçi, ısıl işlem ve çöktürme kombinasyonu
-Mekanik parçalama, termal, asit liçi ve sol-jel kombinasyonu
-Mekanik parçalama, asit liçi, çöktürme ve solvent ekstraksiyonu kombinasyonu (Dorella ve Mansur, 2007)
-Mekanik parçalama, çöktürme ve solvent ekstraksiyonu kombinasyonu (Nan ve diğ., 2005)
-Çözünme, ısı ile muamele, asit liçi ve çöktürme kombinasyonu (Tong ve diğ.,2005)

4 ATIK PİLLERDEN NİKEL GERİ KAZANIMI

Atık pillerden nikel geri kazanımında genellikle kullanılan üç yöntem vardır. Bunlar; temel işlemler vasıtasıyla komponentlerine ayırma, pirometalurji ve hidrometalurjidir (Yue-quing, 2004). Sektörde uygulanan veya teorik olarak tasarlanmış prosesler bu üç yöntemin çeşitlendirilmesi ve farklı şartlar altında değerlendirilmesiyle geliştirilmektedir.
Sektörde uygulanan veya uygulanabilirliği olan proseslerden öne çıkanlar şunlardır;
-Inmetco prosesi
-Sab-Nife prosesi
-Snam-Sawam prosesi
-Batenus prosesi
-Jiunn-Ren Lin prosesi
-Hans Reinhardt prosesi
-Bartolozzi prosesi
-Ewa Rudnik prosesi (Şekil 1)
-Joost van Erkel prosesi (Espinosa ve diğ., 2004)



Şekil 1. Eva Rudnik Prosesi

5 ATIK PİLLERDEN GRAFİT GERİ KAZANIMI

Grafit malzemeler, lityum iyon pillerde baskın aktif anot malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Grafitin, cep telefonları ve dizüstü bilgisayarlar gibi birçok taşınabilir güç uygulaması için yeterli enerji yoğunluğu sağlayan güvenli ve güvenilir bir malzeme olarak performansı, bu hakimiyeti açıklamaktadır (Robert, 2010).

5.1 Atık Pillerden Grafit Kazanma Yöntemleri

5.1.1 Hidrometalurji ile grafit kazanımı, Ma Xiaotu prosesi

Bu proseste atık pillere boyut küçültme ve eleme işlemlerinin ardından liç işlemi uygulanır. Sonrasında filtrasyon işlemi ile elde edilen filtre keki re-leach (tekrar çözdürme) işlemine sokulur. Bu işlemden sonra elde edilen ürün füzyon işlemine sokulur ve geri dönüştürülen malzeme pillerde yeniden kullanılır (ACS, 2019).

5.1.2 İki aşamalı kalsinasyon ve asit liçi ile grafit eldesi (Yang & Song Prosesi)

Bu proseste atık piller parçalandıktan sonra ısıl işlemler vasıtasıyla bakır folyo ve grafit birbirinden ayrılır. Kullanılmış grafit liç işlemine tabi tutulur. İşlem sonucu elde edilen grafit kalıntısı pillerde yeniden kullanılırken liç sıvısına uygulanan safsızlaştırma ve çöktürme işlemleri sonucu $LiCO_3$ geri kazanılır (Yang ve diğ., 2019).

5.1.3 Chenxing Yi ve Yue Yang Prosesi

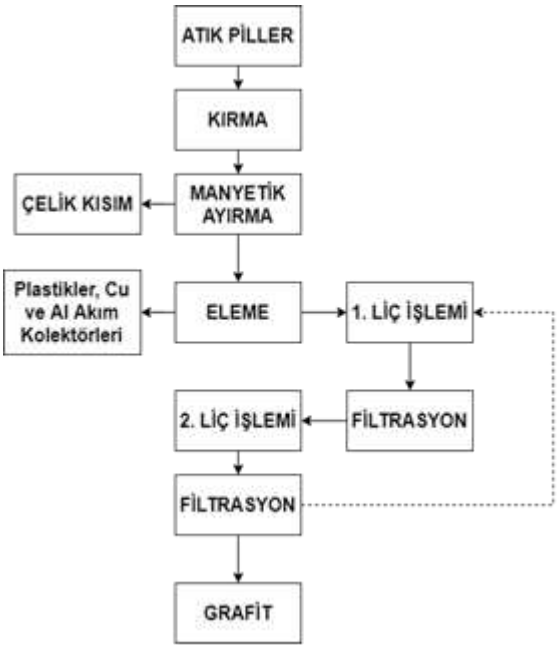
Bu proses laboratuvar ortamında uygulanmıştır. Öncelikle piller elle ayırma işlemine tabi tutulur. İşlem sonrası grafit içeren katot malzeme 1673 K sıcaklıkta ve Nitrojen atmosferinde eritilir. Sonrasında ultrasonik vibrasyon işlemi uygulanır. Ardından eleme ile bakır ve grafit ayrılarak geri kazanılır (Chenxing ve diğ., 2020).

5.1.4 Recytec prosesi

İsviçre'de uygulanan bu proseste atık pillerden döner fırında ısı vasıtasıyla Hg ve klorürler uzaklaştırılır. Sonrasında öğütme ve eleme işlemleri uygulanır. Manyetik ayırma işlemi ile çelik gövde ayrılır. Eddy akımı adı verilen uygulama ile grafit geri kazanılır. Sonrasında hidrometalurjik işlemler sonucunda Zn ve Cu geri kazanılır (Electrochemistry, 2010).

5.1.5 Süperkapasitör üretimi doğrultusunda grafit geri kazanımı

İtalya'da geliştirilen bu proseste atık piller önce kırılır ve manyetik ayırma işlemlerinden sonra çelik kısım uzaklaştırılır. Sonrasında eleme işlemleri ile plastikler, Cu ve Al akım kollektörleri uzaklaştırılır. Kalan malzemeye iki aşamalı kapalı devre liç ve filtrasyon işlemi uygulanır. İkinci filtrasyon işleminden sonra grafit elde edilir [11] (Şekil 2).



Şekil 1. Süperkapasitör Üretimi Doğrultusunda Grafit Geri Kazanımı

6 SONUÇLAR

Lityum ve kobalt geri kazanımı için geliştirilen birtakım prosesler ile % 80-100 aralığında saflığa sahip ürünler elde edilmektedir. Atık pillerden nikel geri kazanımı amacıyla geliştirilen prosesler, genellikle boyut küçültme, bileşenlerine ayırma, hidrometalurjik yöntemler ve pirometalurjik yöntemler gibi işlemlerin kombinasyonunu içermektedir. Ve yüksek saflıkta kadmiyum ile nikel alaşımlarının da geri kazanımını mümkün kılmaktadırlar. Li-iyon pillerinin üretiminde kullanılan hammaddelerden biri diğeri grafittir. Atık pillerden elde edilen grafit, genellikle boyut küçültme, eleme, manyetik ayırma, termal işlemler ve liç işlemlerinin kombinasyonu ile elde edilmektedir

Dünya genelinde pil üretim miktarına oranla geri dönüşüm miktarı hedeflenin oldukça altındadır. Pil geri dönüşümü konusunda düşük maliyetli, kolay uygulanabilir, çevre dostu teknikler geliştirilmesinin yanında, insanların dönüşüme katkı sunmaları da oldukça önemli bir diğer unsurdur.

KAYNAKLAR

ACS Sustainable Chem. Eng., 2019, 7, 24, 19732-19738 November 13, 2019 https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b05003

Almeida, M.F., Xara, S.M., Delgado, J., Carlos, A.C., 2006, Characterization of spent AA household alkaline batteries. Waste Management, 26: 466-476.

Chenxing Yi, Yue Yang, Tao Zhang, Xiqing Wu, Wei Sun, Longsheng Yi, 2020, A green and facile approach for regeneration of graphite from spent lithium ion battery, Journal of Cleaner Production, Volume 277,2020,123585, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123585.

Electrochemistry, http://www.chem1.com/acad/webtext/elchem/, alındığı tarih 13.10.2010.

Espinosa D.C.R., Bernardes A.M., Tenorio J.A.S., 2004, An overview on the current processes for the recycling batteries, Journal of Power Sources, 135, 311-319.

Öztürk, M., 2007, Pil/Akü kullanımı ve atık piller ile akülerin zararları. Çevre ve Orman Bakanlığı, www.cevreorman.gov.tr/belgeler/piller.pdf Erişim tarihi: 28.11.2020.

Robert A., 2010, Huggins Energy Storage, California, USA, 71-75.

Schiavi, P. G., Altimari, P., Zanoni, R., Pagnanelli, F., 2020, Full recycling of spent lithium ion batteries with production of core-shell nanowires//exfoliated graphite asymmetric supercapacitor, Journal of Energy Chemistry, doi:https://doi.org/10.1016/j.jechem.2020.10.025

Xu, J., Thomas, H.R., Francis, R.W., Lum, K.R., Wang, J., Liang, B., 2008. A review of processes and technologies for the recycling of lithium-ion secondary batteries. Journal of Power Sources, 177, 512–527.

Yue-qing, X., Guo-jian, L., 2004. The BATINTREC process for reclaiming used batteries. Waste Management, 24 (4), 259-363

Yang, Y., Song, S., Lei, S., Sun, W., Hou, H., Jiang, F., …& Hu, Y. (2019). A process for combination of recycling lithium and regenerating graphite from spent lithium-ion battery. Waste Management, 85, 529-537.

Bor Atıklarından Lityum Kazanımı

Lithium recovery from boron wastes

İ.İ. Koç, F. Burat

Istanbul Technical University, Faculty of Mines, Mineral Processing Department, Istanbul

ÖZET Bor, ülkemizin sahip olduğu en önemli endüstriyel hammaddelerden biridir. Türkiye bor mineralleri rezervleri, niteliği ve çeşitliliği açısından hem de işletme maliyeti ve tenör avantajları açısından dünyada birinci sırada yer almaktadır. Tüm bu rezervlerin işletilmesi sırasında yapılan kırma, yıkama, sınıflandırma, triyaj, çözündürme gibi zenginleştirme işlemleri sonrasında büyük miktarda atık meydana gelmektedir. Bu atıkların değerlendirilmesi hem çevrenin korunması, hem stoklama hem de maksimum verim elde edilmesi açısından önem arz etmektedir. Lityum minerallerinin kil mineralleri ve çözünmüş sularda yoğunlaşması nedeniyle bor minerallerinin zenginleştirilmesinden sonra ortaya çıkan kil atıkları büyük önem kazanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bor, Bor Atıkları, Lityum

ABSTRACT Boron is one of the most important industrial raw materials in our country has. Turkey ranks first in the world both in terms of boron minerals reserves, quality and diversity as well as operating costs and grade advantages. A large amount of waste material is generated after the enrichment processes such as crushing, washing, classification, triage, and leaching. Evaluation of these wastes is important in terms of environmental protection, storage and maximum efficiency. Due to the presence of lithium minerals in clay minerals and dissolved waters, boron processing tailings containing mainly clays have gained great importance.

Keywords: Boron, Boron Tailings, Lithium

1. GİRİŞ

Bor mineralleri gerek rezerv gerek kullanım alanları açısından ülkemiz için büyük önem arz etmektedir. Borun yüksek teknoloji gerektiren endüstriyel alanlarda kullanılmasının gittikçe artması, borun hammadde olarak kullanılmasını ve değerini daha da arttırmaktadır. Tüm bu taleplerin artmasıyla madencilik faaliyetleri de artmakta ve her işlem sonucu atık ortaya çıkmaktadır. Türkiye'de, bor konsantresi üretimi Kütahya (Emet), Balıkesir (Bigadiç) ve Bursa (Mustafa Kemal Paşa)'da yapılmaktadır. Aynı zamanda Eskişehir (Kırka)'da çözündürme, filtrasyon ve kristallendirme işlemleri ile bor konsantresi üretimi gerçekleştirilmektedir. Bunun dışındaki konsantre üretim tesislerinde bor konsantresi üretimi kırma-yıkama-sınıflandırma ve triyaj gibi fiziksel zenginleştirme yöntemleri ile yapılmaktadır. Bor mineralinin oluşumu esnasında borlarla birlikte bulunan ve ana safsızlığı oluşturan killer zenginleştirme işlemleri esnasında atık olarak uzaklaştırılmaktadır. Killeri ayırma esnasında kullanılan fiziksel zenginleştirme yöntemleri sonucunda atık olarak killerin yanında belli oranda bor da kaçmaktadır. Bu sebepten dolayı, bor içeriğine bağlı olarak atıklar ekonomik önem arz etmektedirler (Kayandan ve diğ. 2004).

Lityum ve bileşiklerinin üretimi için başlıca kaynaklar lityumlu pegmatitler ve tuzlu su/salamuralardır. Bundan başka

lityumlu killer büyük bir potansiyel oluşturmaktadır. Killerde yüksek derişimde lityuma rastlanabilir. Lityum montmorillonit tipi bir kil olan hectoritte (NaO.33(Mg,Li)3Si4O10(F2OH)2) % 0.3-0.6, flint killeri ve yüksek alümina içerikli killerde % 0.01 – 0.5 oranlarında bulunmaktadır. Bu tip killerden lityum üretimi için ekonomik metodlar geliştirilmektedir (Maden Tetkik Arama ve Genel Müdürlüğü, 2017).

2. BOR KÖKENLİ ENDÜSTRİ ATIKLARINDAN LİTYUM ELDESİ

2.1. Kırka Atıklarındaki Lityumun Eldesi

Mordoğan ve arkadaşları (1994), Kırka bor yataklarındaki kil atıklarında lityumun H_2SO_4 liçi ve kavurma-su liçi ile kazanılması yöntemlerini araştırmışlardır. Deney numunesi olarak Kırka üleksit zonu kil numunesi, kavurma-su liçi deneylerinde ise iri boraks kristalleri içerisindeki dolomitik kil örnekleri kullanılmıştır. Örnekler numune hazırlama yöntemlerine uygun olarak farklı düzeylerden noktasal olarak alınmış ve 2-3 kg'a düşürülerek torbalanmış, kavurma-su liçi deneylerinde %95-98'lik alçıtaşı ve kalsit kullanılmıştır. Nemli ve yaş olan numuneler 105°C'de kurutulduktan sonra 0.100 mm altındaki tane boyutuna öğütülmüştür. Tablo 1.'de kil örneklerinin kimyasal analiz sonuçları gösterilmiştir.

Kırka bor yatakları killerinin lityum tenörü yaklaşık %0.30 olup bir potansiyel kaynak oluşturmaktadır. Bu killerdeki lityum çok ince ve homojen bir dağılım gösterdiği için fiziksel yöntemlerle zenginleştirilmesi mümkün değildir. H_2SO_4 liçi ile %99 lityum çözündürme verimine ulaşmak için liç parametrelerinin %10 katı oranı, 80°C sıcaklık, 160 g/lt H_2SO_4 derişimi, 400 D/d karıştırma hızı, 120 dakika çözündürme süresi şeklinde olması gerekmektedir. Ancak bu koşullarda liç çözeltisinin kalsiyum, magnezyum, demir ve alkali metal iyonları ile aşırı şekilde kirlenmesi ve H_2SO_4 tüketiminin yüksek olması teknolojik ve ekonomik açıdan lityum kazanımını güçleştiren etkenlerdendir. Kavurma-su liçi yönteminde yukarıda da belirtilen optimum koşullar altında çözeltiye önemli miktarda alkali metal iyonları geçmesine rağmen diğer iyonlar ihmal edilecek düzeyde bulunmaktadır. Çözeltinin buharlaştırılarak deriştirilmesi sırasında kalsiyum iyonu $CaCO_3$ şeklinde çökelerek uzaklaşır. 12-14 Li/lt derişimine ulaşan çözeltiye, kaynama noktası sıcaklığında Na_2CO_3 eklenerek lityum çöktürülür. Ancak üretimin ekonomik yönü henüz istenilen düzeyde değildir (Mordoğan ve diğ., 1994).

Tablo 1. Kil Örneklerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

%İçeriği/ Örnek Adı	Kırka Üleksit Zonu Kili	Kıra iri boraks kristalleri içindeki dolomit kili
SiO_2	42,23	34,98
Fe_2O_3	3,50	7,03
Al_2O_3	0,63	1,72
CaO	14,42	15,86
MgO	11,79	11,84
Na_2O	0,94	1,62
K_2O	0,48	0,24
Li_2O	0,56	0,60

2.2. Emet Atıklarındaki Lityumun Eldesi

Ertan'ın (2019) yaptığı çalışmada Kütahya Emet bölgesinden alınan bor kiline kalsiyum klorür ve sodyum klorür eklenerek, bor kili/kalsiyum klorür/sodyum klorür, 1/0.3/0.2 kütle oranında 950 °C'de 1 saat kimyasal kavurma işlemi uygulanmıştır. Daha sonra erimiş karışım su ile 0.02 katı/sıvı kütle oranında 1 saat oda sıcaklığında liç edilmiştir. Her bir metal için %85' in üstünde ekstraksiyon gerçekleştirilmiştir. Numune özelliklerine bakıldığında maden sahasındaki çeşitli zonlardan alınan bor kili, kırılmış, bilyalı değirmende öğütülmüş, 63 mikron elekten geçirilerek analize hazır hale getirilmiştir. Tablo 2.'de atığın kimyasal bileşimi verilmiştir.

Tablo 2. Atığın Kimyasal Bileşimi(%)

Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	Li_2O	NiO
0,211	7,31	15,8	53,7	0,217	0,112	0,149	0,0182
K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	Cs_2O	Rb_2O	As_2O_3
6,75	2,14	0,722	0,104	6,74	0,183	0,13	0,0560

Liç işleminde saf su kullanılmasının sebebi suyun kolay bulunabilen, ucuz ve çevre dostu olmasıdır. Bu sayede suda çözünmeyen metaller içerisindeki kil bileşimi çözeltiye katılarak daha kolay ayrım yapılması sağlandı. Bor rezervi açısından oldukça zengin olan ülkemizde, ticari değeri yüksek unsurlar elde etmenin yanı sıra kullanılan yöntem pratik, ucuz ve en önemlisi de çevre dostu. Değerli metalleri borlu endüstriyel atıklardan ayırmak ve sonra kalan atığı bazılarında katkı maddesi olarak kullanmanın uygun olduğu çalışma ile görülmüştür (Ertan, 2019).

2.3. Dünyadaki Diğer Bor Madenlerindeki Atıklardan Lityum Eldesi

Genel olarak, en elverişli tuzlu suda bile lityumun içinde bulunduğu ortamdaki safsızlıklara rağmen oldukça düşük derişimlerde olduğundan yoğunlaşması için buharlaştırmaya ihtiyaç vardır. Güneşle buharlaştırılması, dünyanın tüm mevcut tuzlu sularından lityum bileşiklerinin geri kazanımında gerekli olan ilk adımdır. Sonrasında izlenen yol, safsızlıkların çöktürmeyle giderilmesi (kimyasal ekleme, pH ayarlaması) ve son olarak da lityum karbonatın yüksek sıcaklıktaki çözünürlüğünün düşük olması dolayısıyla yüksek sıcaklıkta kristallendirerek çöktürülmesi ve kurutulmasıdır (Garrett, 2004).

3. SONUÇLAR

Bor atıklarından lityum eldesinde literatür taraması yapılarak elde edilen çalışmalardan gözlemlenen sonuçlar şunlardır:

- Yapılan araştırmalar sonucunda bor mineralleri özellikleri, atıkların çevreye olan etkileri incelenmiş ve aynı zamanda atıkların değerlendirilmesi yönündeki yaklaşımlar ortaya konulmuştur. Teknolojinin ve taleplerin de gelişmesiyle, çevresel etkenleri göz önünde bulundurarak lityumun, bor atıklarından ekonomik olarak elde edilebileceği anlaşılmıştır. Ülkemizde ekonomik anlamda birincil kaynak olarak lityum cevheri bulunmadığı için lityumun atıklardan elde edilmesi hem ekonomimiz hem de sıfır atık çerçevesinde doğaya katkı anlamında oldukça kıymetlidir.
- Lityumun fiziksel ve kimyasal yapısı itibari ile fiziksel zenginleştirme yöntemleri ile kazanılmasındaki güçlükler, ekonomiklik açısından oldukça olumsuz bir etkendir. Fakat yapılan çalışmalarda kullanılan her yöntemin ve malzemenin en az maliyet oluşturmasının dikkate alınması ve çalışmaların sonuç vermesi de önemli bir gelişmedir.
- Kırka atıklarına uygulanan yöntemler lityum kazanımında verimli sonuçlar elde etse de ekonomiklik açısından hala geliştirilmeye ve değerlendirmeye açık bir durumdadır.
- Emet atıklarına uygulanan yöntemlerde ise biraz daha çevreci, ekonomik ürünler seçilerek işlemlerin verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.
- Genel olarak son bir değerlendirme yapılacak olursa, ülkeler her ne kadar kendi madenlerinde üretemediği mineralleri olsa da literatür ve ARGE çalışmalarına daha çok önem vererek atıklardan ürün elde etme yolunda önemli yol katabilirler. Teknolojinin ve fiyatlarının bu kadar hızlı arttığı bir çağda atıklardan değerli mineralleri kazanmak çok da zor olmayacaktır. Daha yaşanılır bir çevre için atıkların değerlendirilmesi oldukça önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

Ertan. B. (2019). Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. *Klorlama Kavurma İşlemi ile Bor Killerindeki Değerli Metallerin Ekstraksiyonu*, sayı 26 (7), 1267-1272.

Garrett, D. E. (2004). LithiumHandbook of Lithium and Natural Calcium Chloride, "*Lithium"* s. 1-235.

Kayandan, İ., Pehlevan V., Çağlayan B. Ve Türedi S. (2004). Düşük Tenörlü Kolemanit Cevherinin Kalsinasyon Yöntemi ile Zenginleştirilmesi, *Uluslararası Bor Sempozyumu*, Eskişehir.

M.T.A., (2017). *Lityum*

Mordağan, H., Helvacı, C. ve Malayoğlu, U. (1994). Bor Yatakları Killeri ve Güncel Göllerdeki Lityum Varlığı ve Değerlendirme Olanakları, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu,* İzmir.

Otojen/Yarıotojen Değirmen Dizaynında Uygulanan Laboratuar Testleri (Ağırlık Düşürme Testi)

Laboratory Tests Applied In Autogen/Semi-Autogen Mill Design(Drop Weight Test)

A.C. Cemcem, M.F. Eraslan, F. Boylu, Y.E. Pural

İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Öğütme boyut küçültme işleminin son aşamasıdır. Öğütme işleminin yapıldığı cihazlara öğütücü veya değirmen denir. Öğütme kuru veya yaş olarak yapılabilmektedir. Değirmenlerin sınıflandırılması; Aktarmalı ortamla çalışan değirmenler, karıştırmalı değirmenler, ve titreşimli değirmenler olarak 3 gruba ayrılmaktadır. Öğütücü ortam olarak cevherin iri parçalarının kullanıldığı değirmenlere otojen değirmenler (AG), öğütücü ortam olarak cevherin iri parçalarının yanında çelik bilyaların kullanıldığı değirmenler yarıotojen (SAG) değirmenler denir. Günümüzde sıklıkla kullanılmaya başlayan AG/SAG değirmenlerinin projelendirme aşamasında, cevherin yapısına bağlı olarak dizaynı ve boy/çap larının belirlenmesinde Drop Weigth Test, Sag Design test, SMC test ve alternatif testler kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında, öğütme, farklı öğütücüler, AG/SAG değirmenler hakkında genel bilgiler verilmiş olup, AG/SAG değirmen dizaynında kullanılan Drop Weigth Test uygulaması, alınan verilerin değerlendirme yöntemleri, veri bankasından seçilen 136 adet data ile detaylandırılarak çözümlemeli olarak gösterilmiştir. Çalışmanın son aşamasında Dorp Weigth test ve alternatif diğer test sonucu olan SPI (SGI) karşılaştırılması yapılmış ve bu iki testin birbirleriyle olan ilişkisi yorumlanmıştır.
Anahtar Kelimeler: Otojen Değirmen, Yarıotojen Değirmen, Ağırlık Düşürme Testi

ABSTRACT Milling is the last step of the size reduction process. The devices of grinding process are called grinders or mills. Grinding can be done dry or wet. Classification of mills; It is divided into 3 groups as mills working with transferred media, stirred mills, and vibratory mills. Mills in which coarse paticles of ore are used as grinding media are called autogenous mills (AG), and mills in which steel balls are used as grinding media are called semiautogenous (SAG) mills. Drop Weigth Test, Sag Design test, SMC test and alternative tests are used to determine the design and length/diameter depending on the structure of the ore during the projecting phase of AG/SAG mills, which are frequently used today. Within the scope of this thesis, general information about grinding, different grinders, AG/SAG mills are given, and the Drop Weigth Test application used in AG/SAG mill design, the evaluation methods of the data received, are shown in detail with 136 data selected from the database. At the last stage of the study, a comparison of the Dorp Weigth test and the SPI (SGI), which is an alternative test result, was made and the relationship between these two tests was interpreted.
Keywords: Autogenous Mill, Semiautogenous Mill, Drop Weight Test

1 GİRİŞ

Cevher hazırlamada yapılan boyut küçültme işlemleri tane serbestleşmesini sağlamak; belirli bir zenginleştirme işlemi için uygun tane boyutlu malzeme hazırlamak; nakliye işlemi sırasında kolaylık sağlamak amaçları ile yapılmaktadır. Öğütme, boyut küçültme işleminin son aşamasıdır. Öğütme işlemi fazla enerji gerektiren bir cevher hazırlama işlemidir. Cevher hazırlama tesislerinde toplam harcanan enerjinin % 40 'ı kırma-öğütme işlemleri için harcanmaktadır. Cevher hazırlamada öğütme işlemleri 2 farklı devre tipinde yapılmaktadır bu devre tertipleri açık devre ve kapalı devredir.

2 DEĞİRMENLERİN SINIFLANDIRILMASI

Değirmenlerin sınıflandırılması 3 katagori altında incelenebilmektedir; aktarılan ortamla çalışan değirmenler, karıştırmalı değirmenler ve titreşimli değirmenler. Değirmenler genel olarak öğütme için gerekli olan gücün öğütme yapacak olan ortama aktarılış şekline göre sınıflandırılmakta olup çelik bilya/çubuk, alimüna, çakıl vs gibi farklı öğütme ortamları kullanımı ile birlikte değişik şekil ve yapılarda tasarlanmaktadır.

3 AG/ SAG DEĞİRMENLERİ

Otojen ve yarıotojen değirmenlerde, öğütme ortamının yardımı olmadan bazı cevherlerin parçalanması ve boyutunun küçültülmesi mümkündür. Yardımcı öğütücü ortam malzemesi olmadan ufalamanın yapıldığı değirmenler, otojen değirmenler (AG) olarak bilinir. Bu değirmenler, öğütme ortamı olarak büyük cevher parçalarını kullanır. Otojen öğütme için uygun kırma/kırılma özelliklerine sahip olmayan cevherlerin öğütülmesi işlemlerinde, boyut küçültmeye yardımcı olmak için az miktarda (genellikle %6-15 oranında) çelik bilya kullanılır. Bunlar yarı otojen (SAG) değirmenler olarak bilinir.

3.1. AG/SAG Değirmenlerinin Avantajları

AG/SAG değirmenleri ıslak ve kuru öğütme gerçekleştirme, yüksek kapasiteye sahip olma, yüksek boyut küçültme oranı, en az bir kırma eleme devresinin azaltılması gibi önemli avantajlara sahiptir.

3.2. AG/SAG Değirmenlerinin Tasarımı

Şu anda, ticari olarak yapılan üç tip değirmen bulunmaktadır bunlar;

- Büyük D / L oranına sahip değirmenler D/ L= 1,5-3,0
- D Ve L eşit değirmenler D / L=1
- Küçük D / L oranına sahip değirmenler D / L =0,33-0,66

4 CEVHER KIRILMA KARAKTERİSTİĞİNİN BELİRLENMESİ

4.1 Ağırlık Düşürme Testi

Ağırlık Düşürme Testi, cevher özelliklerini boyut küçültme cihazları için cevherin karakterizasyonunu belirleyen bir testdir (Napier-Munn ve diğerleri, 1996). Bu test sonucunda elde edilen değerler kullanılarak otojen/yarıotojen değirmenler gibi öğütme ekipmanları boyutlandırılması ve tasarımı yapılabilmektedir. Ağırlık düşürme testi cevherin darbe, aşınma ve kırılma gibi cevher parametrelerini belirler ve yaklaşık 100 kg temsili bir numune gerektirir. Darbe kırılma parametrelerini belirlemek için**,** beş dar boyut sınıfı, cevher numunesinden elde edilir ve her bir boyut sınıfı, üç seviyeli spesifik enerji (Ecs) girdisine tabi tutulur. Her boyut sınıfı ve spesifik enerji seviyesi kombinasyonunda, hedeflenen enerjiye ulaşmak için ağırlık önceden hesaplanmış bir yüksekliğe kaldırılır ve ardından sert bir örs plakanın üzerine konulmuş cevher numunesinin üzerine düşmesi amacıyla serbest bırakılır ve numune kırılmaktadır. Her kombinasyondan tüm kırılmış ürünler birleştirilir ve kırılma tane boyut dağılımı elde etmek için tane boyutlarına göre kuru eleme yöntemi ile analiz edilmektedir. Yapılan düşürülme testleri sonucunda Ecs değerlerine karşılık elde edilen elek

analizdeki yüzde değerleri(t_{10}) bir grafik üzerine yerleştirilir. Bu grafikle elde edilen eğrinin eğimi Axb değerini vermektedir.

4.1.1 Aşındırma Testi (t_a)

Değirmenin içinde taneler darbe kuvvetinin yanı sıra aşınma kuvvetine de maruz kaldığı için tanelere aşındırma testide uygulanmaktadır. Standrt aşınma testinde -55+38 mm boyutlu numune teste tabi tutulur. Numune laboratuvar değirmeninde 10 dakika süresince öğütülür ve çıkan ürün boyutlandırılıp ta değeri belirlenir. Değirmen tasarımında darbe ve aşınma kuvvetinin beraber hesaplanması gerektiğinden dolayı t_{10} değerine ta aşınma değeri eklenerek yeni Axb değeri bulunur.

4.1.2 Mia Değerinin Saptanması

Mia iri boyutlu öğütme için kullanılan bir indistir. Mia spesifik öğütme enerjisinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Mia aşağıda verilen Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Mia=390.87 \times (Axb)^{-0,81} \quad (1)$$

4.1.3 Spesifik Öğütme Enerjisi(SE) Saptanması

Değirmenlerde ton başına düşen spesifik öğütme enerjisi aşağıda verilen Eşitlik (2) ile hesaplanmaktadır.

$$SE = S \times K \times Mi \times 4 \times (P80^{f(P80)} - F80^{f(F80)}) \quad (2)$$

$f(F80) = - (0,295 + F80/1000000)$
$f(P80) = - (0,295 + P80/1000000)$
K: sabit=1
SE: Spesifik öğütme enerjisi(kWh/t)
Mi: Morrel iş indeksi(Mia)
S: sabit=1
F80: beslenenin % 80 geçtiği elek açıklığı (um)
P80: ürünün % 80 geçtiği elek açıklığı (um)

5 AĞIRLIK DÜŞÜRME TESTİ DEĞİRMEN TASARIMI

Elde edilen spesifik enerji ile değirmene beslenen malzeme miktarı çarpılması sonucu değirmenin çektiği güç (P) hesaplanmaktadır. Daha sonra aşağıdaki Eşitlik (3) kullanılarak değirmenin çap ve boy uzunlukları elde edilmektedir.

$$D^y = P \times (D/L) \times c \quad (3)$$

c = 0,25 sabit
y = 3,70 sabit (180-1800 kW değirmen için)
y = 3,48 sabit (2000-4000 kW değirmen için)
D = değirmen çapı (m)
L = değirmen boyu (m)
P = değirmen toplam gücü (kW)

6 SONUÇLAR

Bu tez kapsamında boyut küçültme işlemi için kullanılan değirmenlerin genel özellikleri verilmiş olup AG/SAG değirmenlerinin detaylı özelliklerinden, devre tertiplerinden, tasarım özelliklerinden bahsedilmiş daha sonra AG/SAG değirmenlerinin tasarım ve boyutlandırılması için uygulanan test yöntemlerinden olan Ağırlık Düşürme Testi hakkında genel bilgiler ve işlem aşamalarından bahsedilmiştir. Yapılan Ağırlık Düşürme Testi sonucunda elde edilen değerler kullanılarak değirmen tasarımına geçmek için tasarımla alakalı formüller verilmiş olup Doll (2016) yapmış olduğu çalışmasından elde edilen data bankasın da verilen değerler ile tasarım formülleri kullanılarak 136 data için spesifik enerjiler hesaplanmıştır ve AG/SAG değirmenlerinin boyutlandırılması yapılmıştır. Ayrıca hesaplanan JKDWT SE ile SGI SE arasındaki ilişki grafik üzerinde gösterilmiştir. Grafikten yola çıkarak JKDWT ve SGI testlerinin değerlerinin birbirlerine yakın olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca; hesaplanmış olan JKDWT SE ile data bankasında verilen WİBM SE değerleri grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu grafikten yola çıkarak iki testin birbirlerine yakın sonuçlar vermediği gözlemlenmiştir. Yapılacak olan Ağırlık Düşürme Testleri sırasında testin sonucunun doğru sonuçlar verebilmesi için parçacık kütlesindeki değişmelere, t_{10}'un

belirlenmesindeki koşullara ve Ağırlık Düşürme Test cihazının kalibrasyonuna dikkat edilmesi gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü'nde bu tez çalışmamı gerçekleştirilmesine olanak sağlayan Bölüm Başkanımız Prof. Dr. Gülay Bulut başta olmak üzere,bu çalışmanın yürütülmesi sırasında desteğini esirgemeyen saygı değer danışmanımız Prof. Dr. Feridun Boylu'ya, en ufak sorularımızda bile bize vakit ayırıp sorularımızı cevaplayan Arş.Gör. Yusuf Enes Pural'a en içten teşekkürlerimizi iletmekteyiz. Ayrıca 4 yıldır bize bilgilerini sabırla ve zevkle anlatan hocalarımız; Prof. Dr. Ali Güney, Prof. Dr. Fatma Arslan, Prof. Dr. Abdullah Ekrem Yüce, Prof. Dr. Alim Gül, Prof. Dr. Ali Ayhan Sirkeci, Prof. Dr. Murat Olgaç Kangal, Doç. Dr. Birgül Benli, Doç. Dr. Fırat Burat, Dr. Öğr.Üyesi Kudret Tahsin Perek, Öğr.Gör.Dr. Şükriye Beste Aydın, Doç. Dr. Ömür Acaroğlu Ergün, Doç. Dr. Cüneyt Atilla Öztürk'e teşekkürü borç biliriz.

KAYNAKLAR

Hacıfazlıoğlu,Hasan, İnce ve Çok İnce Öğütme için Alternatif Değirmen Tiplerinin Tanıtılması, AKÜ Fen Bilimleri Dergisi 2009-01 17-30.

Kaytaz, Y., 1990. Cevher Hazırlama, İTÜ Maden Fakültesi Cevher Hazırlama ABD, Teknik Üniversite Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul, s.124.

Hacıfazlıoğlu,Hasan, Öğütme Teknolojileri Ders Notu(2016-2017)

Köse Halil, Gönen Alper, 3. Maden Makinaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İzmir, Mayıs 2011

Ashok Gupta,Denis Yan, *Mineral Processing Design and Operations (2016)*

Siddall GB. Proceedings of SAGSEM '89, SAG Milling seminar. Australasian Institute of Mining and Metal- lurgy: Perth; 1989. p. 8–22.

Faramarzi, F. (2019). *The Measurement of Variability in Ore Competence and its Impact on Process Performance.* The University of Queensland.

DAVAANYAM, Z. (July 2015). *Piston Press Test Procedures for Predicting Energy–Size Reduction of High Pressure Grinding Rolls.*

Genç, Ö. (2017). *Altın Cevherinin Tek Tane Darbe Kırılma Fonksiyonlarının Ağırlık Düşürme Tekniği İle İncelenmesi.* Muğla : Maden Tetkik ve Arama Dergisi.

Doll, A., & Becerra, M. (2017). *Power-based modelling of single-stage AG and SAG mill circuits.*

Arş.Gör. Yusuf Enes PURAL (2020) ''Cevher Kırılma Karakteristiğinin Belirlenmesi Amacıyla Uygulanan Testler'' akademik çalışma notu.

Prof. Dr. Ali GÜNEY ''*Öğütme Cihazları Tasarımı''* ders notu.

Doll, A. (2016). Database of public grindability testwork.www.sagmilling.com:https://sagmilling.com/articles adresinden alınmıştır.

Flotasyonda Köpürtücü Karışımlarının Etkisinin İncelenmesi

Investigation of the Effect of Frother Mixtures in Flotation

S. Uzun, Z. Çeliktaş, B. Tunç, G.Bulut

İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Flotasyon sürecini yapılandırabilmek ve verimi etkileyen parametreleri anlamak için mikroflotasyon işleminden yararlanılır. Mikroflotasyon genelde flotasyonun laboratuvar ölçekli öncüsü olarak kullanılır.

Bu tez kapsamında, köpürtücü karışımlarının flotasyondaki etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Köpürtücü karışımlarının ışık geçirgenlikleri ThorLabs programı ile, Feret Çapı ölçümleri ise ImageJ programı ile gerçekleştirilmiştir. Bu etkilerin incelenmesi için; köpürtücü olarak Metil iso butil karbinol (MIBC), Butil Glikol ve Çam Yağı kullanılmıştır. Bu köpürtücülerin özellikleri tekli ve birbirleriyle kombinasyonları yaptığımız deneyler sonucunda gözlemlenmiştir. Köpürtücülerin, kritik birleşme konsantrasyonu (CCC), köpük yüksekliği, ışık geçirgenliği ölçümleri gerçekleştirilmiştir. CCC noktasının daha düşük olmasından kaynaklı olarak Çam Yağı'nın diğer köpürtücülerle aynı miktardaki kullanımı daha olumlu sonuçlar vermektedir. Aynı zamanda köpürtücü karışımları kullanıldığında Çam Yağı'na göre iyi sonuçlar elde edildiği de görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Flotasyon, Köpürtücü Karışımları, CCC, Işık Geçirgenliği, Sauter Çapı

ABSTRACT

Microflotation is used to structure the flotation process and to understand the parameters that affect the yield. Microflotation is often used as a laboratory scale precursor to flotation.

In this thesis, it is aimed to investigate the effect of frother mixtures on flotation. The light transmittance of the frother mixtures was performed with the ThorLabs program, and the Feret Diameter measurements were made with the ImageJ program. To examine these effects; Methyl iso butyl carbinol (MIBC), Butyl Glycol and Pine Oil were used as frother agents. The properties of these frothers have been observed as a result of our experiments, individually and in combination with each other. Critical coalescence concentration (CCC), frother height and light transmission measurements of frothers were performed. Due to the lower CCC point, the use of Pine Oil in the same amount as other frothers is more efficient. However, it has also been observed that better results are obtained when frother mixtures are used.

Keywords: Flotation, Frother Mixtures, CCC, Light Transmittance, Sauter Diameter

1 GİRİŞ

1.1 Flotasyon

Flotasyon, ince boyutta serbestleşen cevherlerin, fiziko-kimyasal özellik farklılıklarına dayanılarak yapılan bir zenginleştirme yöntemidir.

Reaktifler, flotasyon sırasında cevhere gerekli olan özelliği kazandırmak için ilave edilen tabii ve/ya da sentetik kimyasal maddelerdir. Kullanılan üç reaktif çeşidi aşağıda belirtilmiştir (Ethem, 1974;Atak, 2017);

- Kollektörler
- Düzenleyiciler
- Köpürtücüler

1.2 Flotasyonda Köpürtücü Etkisi

Saf su köpük oluşturmadığından, flotasyon yönteminde köpürtücü kullanımı bir hayli önemli bir yer tutmaktadır. Köpürtücüler direk olarak köpük karakteristiğini ve yüzmesi istenmeyen minerallerin çöktürülmesi ile alakalı değişkenleri etkilediğinden, uygun köpürtücü seçimi flotasyon verimi için bir hayli önemlidir (Cho ve Laskowski, 2002).

1.3 Köpük Boyutu Dağılımı ve Kritik Birleşme Konsantrasyonu (CCC)

Köpük boyutu dağılımı, havanın bir sıvı (pülp) içinde ne kadar iyi dağıldığını yansıtmaktadır. CCC, sulu bir çözeltide kabarcıkların birleşmesini engellemek için gerekli olan köpürtücü konsantrasyonunu gösteren bir parametredir. Ayrıca CCC değeri, kabarcık boyutu ve konsantrasyon eğrisinden okunabilir ya da hidrofil-lipofil dengesi (HLB) ve molekül ağırlığı (MW) kullanılarak değerlendirilebilir.

1.4 Köpürtücü Karışımları

Son senelerde köpürtücülerin tek başlarına sahip oldukları özellikler diğer köpürütücüler ile kombine edilerek her ikisinin de özelliklerinden faydalanmak hedeflenmiştir. Böylece hem teknik hem de ekonomik açıdan kazanım sağlanılmaktadır. Endüstride de köpürtücü karışımlarının performansının kimi zaman tek başlarına kullanımlarından daha büyük bir etki yarattığı görülmüştür (Tan ve diğ., 2004).

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan deneysel çalışmalar farklı özellikteki köpürtücü ve karışımları incelemektedir (Çizelge 1). Farklı miktarlarda eklenen köpürtücü ve karışımlarının iki fazlı sistemde (su-hava) mikroflotasyon hücresi kullanılarak gösterdikleri değişimler test edilmiştir.

Çizelge 1 Kullanılan Köpürtücüler ve Özellikleri

Köpürtücüler	Molekül Ağırlığı (g/gmol)	HLB
Butil Glikol	**118,17**	
MIBC	**102**	**6,1**
Çam Yağı	**166**	**16**

2.1 Kullanılan Ekipmanlar ve Malzemeler

-Mikroflotasyon hücresi

-Dijital kamera

-ThorLabs Programı

-Işık Kaynağı

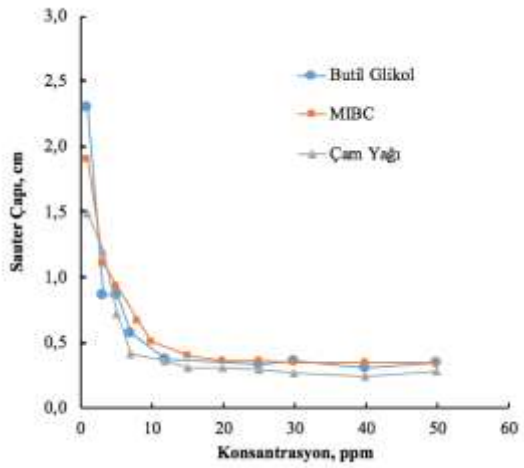
-Saf su

-Köpürtücüler (Butil Glikol, MIBC, Çam Yağı)

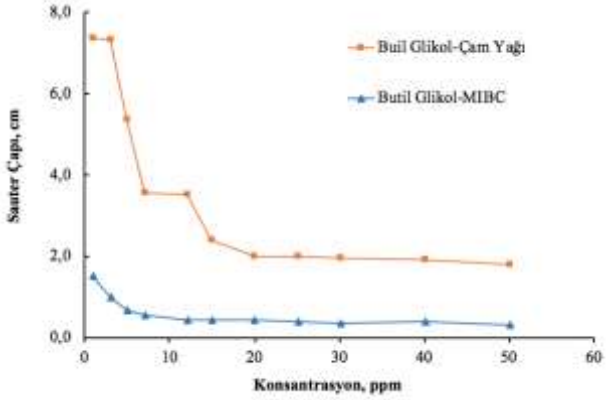
2.2 Deney Metodu

Farklı özellikteki köpürtücülerin ve bu köpürtücülerle yapılmış olan karışımların flotasyon üzerindeki etkileri kaydedilmiştir. Deneyler mikroflotasyon hücresinde gerçekleştirilmiştir. Her aşamada belli miktarda köpürtücü eklenmiştir ve oluşan köpük kalınlıklar ve çapları dijital kamera yardımıyla görüntülenip, kaydedilmiştir.

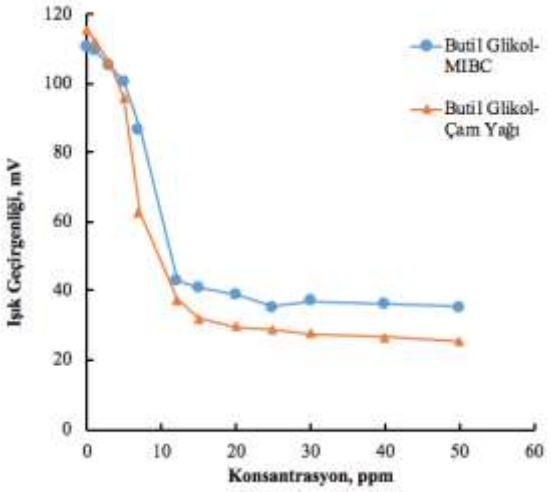
Kaydedilen köpük görüntüleri kullanılarak ImageJ programından Feret çapları ölçülmüştür. Aynı zamanda ışık kaynağı yardımıyla ThorLabs programı üzerinden ışık geçirgenlikleri kaydedilmiştir. Işık geçirgenliği sonuçları ve Feret çapları tablolar ve grafikler halinde gösterilmiştir. Bulunan değerler yardımıyla Sauter Çapı hesabı yapılmıştır. Her köpürtücü ve karışımları için yapılan ölçümlerden sonra karşılaştırmalar gerçekleştirilmiştir. Şekil 1 köpürtücülerin tekli kullanımları sonucu oluşan Sauter Çapları'nın grafiksel gösterimini, Şekil 2 köpürtücü karışımlarının Sauter Çapı sonuçlarının grafiksel gösterimini, Şekil 3 köpürtücü karışımlarının ışık geçirgenliği sonuçlarının grafiksel gösterimini vermektedir.



Şekil 1 Köpürtücülerin Tekli Kullanımları Sonucu Oluşan Sauter Çapları'nın Grafiksel Gösterimi



Şekil 2 Köpürtücü Karışımlarının Sauter Çapı Sonuçlarının Grafiksel Gösterimi



Şekil 3 Köpürtücü Karışımlarının Işık Geçirgenliği Sonuçlarının Grafiksel Gösterimi

3 SONUÇLAR

Bu tez kapsamındaki çalışmada, köpürtücülerin ve köpürtücü karışımlarının ışık geçirgenliği ve kritik birleşme konsantrasyonu (CCC) ve açısından gösterdikleri davranışlar incelenmiştir. Deneyler mikroflotasyon hücresinde gerçekleştirilmiştir.

Deneyler sabit koşullarda; MIBC, Butil Glikol ve Çam Yağı köpürtücülerinin artan konsantrasyonlardaki tekli ve ikili karışımları kullanılarak yapılmıştır.

Köpük çapı ölçüm deneylerinin tümünde artan konsantrasyon değişimlerinde köpürtücüler aynı davranışı sergilemiştir. Köpük çapları önce hızla azalmış ve belli bir konsantrasyona ulaştıklarında neredeyse sabitlenmiştir ve köpürtücü konsantrasyonundan etkilenmemiştir.

Köpürtücülerin tekli kullanımında en düşük CCC noktasına sahip köpürtücü Çam Yağı olmuştur. En büyük CCC noktasına sahip köpürtücü ise MIBC olmuştur.

Gerçekleştirilen deneylerde, köpürtücülerin ikili kombinasyonlarında ise en düşük CCC noktasına sahip karışım Butil Glikol-Çam Yağı karışımı olmuştur.

Köpük kalınlığı ölçüm deneylerinde en yüksek köpük zonu kalınlığı veren köpürtücü

Butil Glikol olmuştur. En düşük köpük zonu kalınlığı ise MIBC'de gerçekleşmiştir.

Köpürtücülerin ikili karışımlarında ise en yüksek köpük zonu kalınlığı veren karışım Butil Glikol- Çam Yağı karışımı olurken en düşük köpük zonu kalınlığı veren karışım Butil Glikol-MIBC karışımı olarak bulunmuştur.

Işık geçirgenliği deneylerinde, köpürtücülerin tekli kullanımı göz önüne alındığında en iyi sonuç veren köpürtücü türü Çam Yağı olurken, en kötü sonuca sahip köpürtücü Butil Glikol olmuştur.

Köpürtücü karışımlarının ışık geçirgenliği değerlerine bakıldığında en iyi sonucu Butil Glikol-Çam Yağı karışımı verirken, en kötü değeri veren karışım Butil Glikol-MIBC olarak belirlenmiştir..

Işık geçirgenliği deneylerinde, köpürtücülerin tekli kullanımı göz önüne alındığında en iyi sonuç veren köpürtücü türü Çam Yağı olurken, en kötü sonuca sahip köpürtücü Butil Glikol olmuştur.

Köpürtücü karışımlarının ışık geçirgenliği değerlerine bakıldığında en iyi sonucu Butil Glikol-Çam Yağı karışımı verirken en kötü değeri veren karışım Butil Glikol-MIBC olmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu tez "Flotasyonda Köpürtücü Karışımlarının Sinerjik Etkilerinin Belirlenmesi" isimli, 42787 İTÜ, Bilimsel Araştırmalar Birimi tarafından desteklenen bir projeden maddi olarak desteklenmiştir. İTÜ, BAP Birimine destekleri için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Atak, S. (2017). *Flotasyon Cevher Hazırlamada 100 Yıl.* İstanbul: İTÜ Vakfı Yayınları.

Cho, Y. S., & Laskowski, J. S. (2002). Effect of flotation frothers on bubble size and foam stability. International Journal of Min. Proc., 64, 69-80.

Ethem, M. Y., (1974). Reaktifler Üzerine Temel Bilgiler, Maden Yüksek Mühendisi, Karadeniz Bakır işletmeleri, Ankara, s. 20-34.

Tan, S. N., Fornasiero, D., Sedev, R., & Ralston, J. (2004). The interfacial conformation of polypropylene glycols and foam behaviour. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Vol. 250, No. 1-3, 307-315.

Milas Feldspat Cevherinin İnce Boyutlardaki Davranışının İncelenmesi

Investigation of the Behavior of Milas Feldspar Ore in Fine Particles

H. Keçibaş, T. Berivan, G. Bulut
İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET
Feldspatlar yerkabuğunun %60-65'ini oluşturan sodyum, potasyum, kalsiyum, lityum ve bazen de baryum ve sezyum ve bu elementin izomorf birleşimi ile oluşmuş susuz alümina silikatlardır. Feldspat cevheri içerisindeki renk verici içeriklerin (mika, titan ve metal oksitler) uzaklaştırılmasında ya manyetik ayırma ya da flotasyon yöntemi kullanılır.

Bu çalışma, Muğla-Milas bölgesi yüksek sodyum içerikli feldspat cevheri (albit) ile yürütülmüştür. 300 mikro altına öğütülmüş tüvenan feldspat cevherine farklı boyut gruplarında flotasyon deneyleri yapılması planlanmış olup şlam boyutunun flotasyona olan negatif etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Deneylerde anyonik bir kollektör olan DerNa-7 ve katyonik kollektör olan A4 kullanılmıştır. Deneyler Denver flotasyon hücresinde, iki kademeli gerçekleşmiştir. Şlam atıldıktan sonra yağılan flotasyondan sonra elde edilen sonuçlar %68.43 SiO_2, %0.05 Fe_2O_3, %0.15 TiO_2, %10.30 Na_2O, %0.31 K_2O ve %19.45 Al_2O_3 şeklindedir. Tüm boyut gruplarında yapılan flotasyon ile zenginleştirme çalışmaları sonucunda elde edilen feldspat konsantrelerinin seramik ve cam sanayiinin gereksinimini karşılayabilecek özellikte olduğu belirlenmiştir.
Anahtar Kelimeler: Feldspat, Flotasyon, Şlam, Demir

ABSTRACT
Feldspars are anhydrous alumina silicates formed by the isomorphic combination of sodium, potassium, calcium, lithium and sometimes barium and cesium, which constitute 60-65% of the earth's crust. Either magnetic separation or flotation method is used to remove the coloring contents (mica, titanium and metal oxides) in the feldspar ore.

This study was carried out with feldspar ore (albite) with high sodium content from Muğla-Milas region. Flotation experiments were planned to be done in different size groups on raw feldspar ore ground under 300 microns and the negative effects of slime size on flotation were investigated. DerNa-7, an anionic collector and A4, a cationic collector, were used in the experiments. The experiments were carried out in two stages in a Denver flotation cell. The results obtained after the slime is discarded are 68.43%SiO_2, 0.05% Fe_2O_3, 0.15% TiO_2, 10.30% Na_2O, 0.31% K_2O and 19.45% Al_2O_3. It has been determined that the feldspar concentrates obtained as a result of flotation and enrichment studies in all size groups are capable of meeting the needs of the ceramic and glass industry.
Keywords: Feldspar, Flotation, Iron, Slime

1 GİRİŞ

1.1 Feldspat Özellikleri

Feldspatlar içermiş oldukları Na, K veya Ca oranına göre albit ($NaAlSi_3O_8$), ortoklaz/mikroklin ($KAlSi_3O_8$), ve anortit ($CaAlSi_3O_8$) olarak isimlendirilmektedir. Na-feldspat minerali olan albit, alümina kaynağı olarak cam üretiminde, K-feldispat minerali olan mikroklin ve ortoklaz ise, daha çok porselen ve seramik üretiminde kullanılmaktadır. Feldspatların satılabilirliğini etkileyen başlıca kimyasal bileşenlerin başında sodyum (Na_2O), silisyum (SiO_2), demir (Fe_2O_3) ve titan (TiO_2) içerikleri gelmektedir. Feldspatın seramik ve cam sektöründe kullanılabilmesi için demir ve titan içeriklerinin çok düşük olması istenmektedir (Burat, 2017). Çizelge 1'de seramik ve cam sektöründe kullanılan sodyum feldspatın bazı kimyasal bileşimleri verilmektedir.

Çizelge 1. Seramik ve Cam Sektöründe Kullanılan Sodyum Feldspatın Bazı Kimyasal Bileşimleri (Burat, 2017).

K.A	Na_2O	SiO_2	TiO_2+Fe_2O_3
S	%7-11	%65-70	< %0,1
C	> %8	%63-70	< %0,2

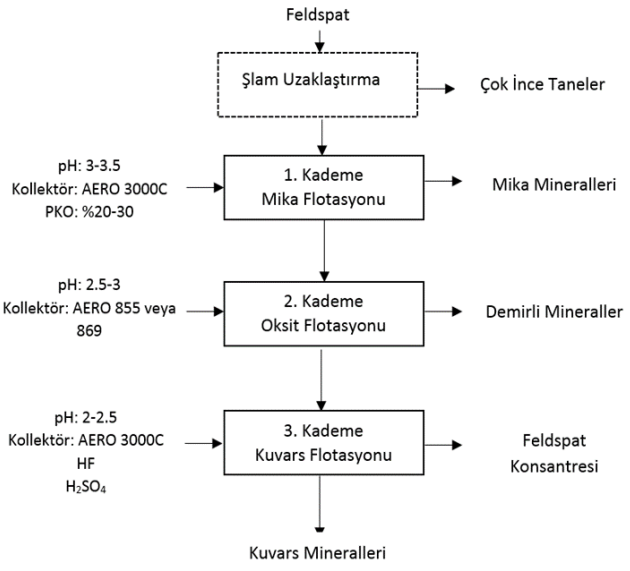
K.A: Kullanım Alanı, S: Seramik, C: Cam,

1.2 Feldspat Zenginleştirme Yöntemleri

Zenginleştirme işlemleri, cevheri oluşturan feldspat ve diğer minerallerin fiziksel ve kimyasal özellikleri göre çeşitli yöntemler uygulanarak yapılmaktadır. Bu yöntemler, elle ayıklama, boyuta göre sınıflandırma, manyetik ayırma, elektrostatik ayırma ve flotasyon yöntemidir. Serbestleşme boyutu çok küçük olan feldspat cevherlerinin zenginleştirilmesinde flotasyon ile zenginleştirmenin olumlu sonuçlar verdiği yapılan çeşitli araştırmalarla gösterilmiştir. (Özgen, 2008).

1.2.1 Flotasyon ile Zenginleştirme

Feldspatın yaklaşık olarak %70-75'i bu yöntemle zenginleştirilmektedir. Feldspat ve kuvars diğer minerallerden (mika, turmalin ve ağır mineraller) ekonomik olarak ayrılabilir. Flotasyon işleminde toplayıcı reaktiflerin mineral yüzeyleri arasında ilişki için bazen ön işlemler gerekebilir. Pülpün ısıtılması, şlamın uzaklaştırılması gibi bu işlemler flotasyon kontrolü için yapılan yöntemlerdir (Atak ve Tolun, 1994). Birinci aşama feldspat cevherinde bulunan mika minerallerinin düsük pH'larda (2,5-3,5) az miktarda amin tipi toplayıcılar kullanılarak yüzdürülmesidir. İkinci aşamada demir içeren mineraller pH 3-3,5 arasına getirilerek, anyonik kollektör yani yağ asitleri veya petrol sülfonatları gibi toplayıcılar eklenerek yüzdürülür. Son aşama kuvarsın flotasyonla ayırımıdır. Feldspat kuvars ayırımında geleneksel olarak HF (hidroflorik asit) kullanılan amin flotasyonu uygulanmaktadır. Bu amaçla, ortam pH'sı 2,5-3'e ayarlandıktan sonra HF varlığında feldspat, uzun zincirli bir amin ve köpürtücü ile yüzdürülerek kuvarstan ayrılmaktadır. Bu işlemin en olumsuz tarafı çevresel açıdan sorunlu olan HF kullanımıdır (Gence, 1997). Şekil 1'de feldspat flotasyonunun genel akım şeması verilmektedir.



Şekil 1. Feldspat Flotasyonu Genel Akım Şeması (Cytec Handbook, 2002)

Bu çalışma kapsamında, Muğla-Milas bölgesinden temin edilen ve esas olarak albit (sodyum feldspat) içeren cevherin flotasyon ile zenginleştirilmesinde tane iriliğinin etkisi araştırılmıştır. İki aşamalı flotasyon deneylerinde oksit minerallerini yüzdürmek amacıyla yağ asiti türünde DerNa-7 ve mika

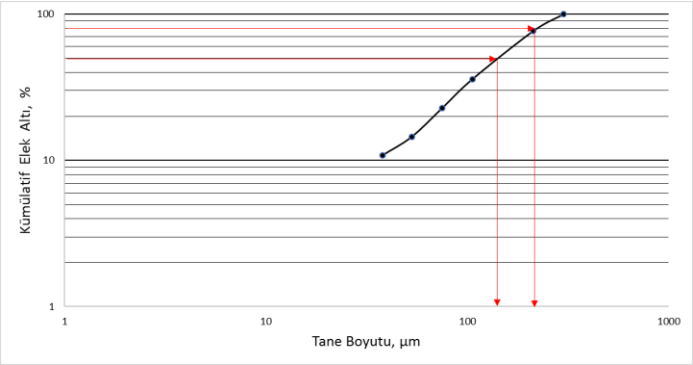
minerallerini yüzdürmek için amin tipi bir kollektör olan A4 kullanılmıştır.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Esan-Eczacıbaşı şirketine ait Milas feldspat ocağından temin edilen yaklaşık 300 mikron altı feldspat numunesine ilk aşamada karakterizasyon çalışmalarının yapılması planlanmıştır. Flotasyon deneylerinde, şlam olarak ayrılan boyutun etkisini gözlemlemek üzere, farklı boyutlardan ince boyutun ayrılarak flotasyon deneylerinin yapılması planlanmıştır. Böylece farklı boyut gruplarında feldspat flotasyonu gerçekleştirilecektir.

2.1 Malzeme ve Flotasyon Çalışmaları

Deneysel çalışmalarda Muğla-Milas bölgesi yüksek sodyum içerikli, 300 mikron altına öğütülmüş feldspat numunesi kullanılmıştır. Numuneye öncelikle yaş eleme yapılmıştır. Yaş elemede kullanılan elekler; 300, 212, 106, 74, 53 ve 38 mikronluk eleklerdir. 6 farklı elek ile yapılan boyut analiz çalışmalarından gelen sonuçlara göre elek analiz eğrisi Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Numenenin Toplam Elek Altı Grafiği

Boyut dağılım eğrisine göre numenenin d_{80} boyutu 235 µm ve d_{50} boyutu ise 150 µm olarak bulunmuştur. Kimyasal analiz sonuçlarına göre; cevher %67,0 SiO_2, %0,50 Fe_2O_3, %0,25 TiO_2, %9,44 Na_2O, %0,92 K_2O ve %19,18 Al_2O_3 içermektedir.

38 mikron altı malzemenin kimyasal analizi ise; %2,08 SiO_2, %0,09 Fe_2O_3, %1,04 TiO_2, %7,11 Na_2O, %0,07 K_2O ve %0,08 Al_2O_3 şeklindedir.

Flotasyon deneyleri, Denver tipi kendinden havalandırmalı laboratuvar ölçekli bir flotasyon makinesinde ve 1500 devir/dadika karıştırma hızında iki litrelik bir flotasyon hücresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yağ asiti türünde anyonik DerNa-7 ve amin tipinde katyonik A4 kollektörleri kullanılarak deneyler sürdürülmüştür. Deneyler boyunca pH 7.5'ta çalışılmıştır. Dört kademe, her kademede 250 g/t DerNa-7 ve iki kademe, her kademede 50 g/t olacak şekilde A4 kollektörleri eklenerek 5 dakikalık kondisyon süresi ardından 1 dakika flotasyon yapılarak deneyler tamamlanmıştır. İkinci flotasyon deneyi yine 300 mikron altı feldspat numunesi ile gerçekleştirilmiştir. DerNa-7 reaktifi bu deneyde farklı olarak, öncesinde miksere alınıp homojen şekilde dağılması sağlanmıştır ve iki kademe 500g/t olacak şekilde eklenmiştir. Üçüncü deney 300 ve 38 mikron arasındaki malzemede yapılmıştır.

3 DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

3.1 Birinci Flotasyon Deneyi

300 mikron altına öğütülmüş feldspat cevherine, dört kademe DerNa-7 ve 2 kademe A4 reaktifinin kullanıldığı ilk deney sonucuna göre oksit flotasyonu sonrası demirli safsızlıkların yüksek olduğu görülmüştür. DerNa-7 anyonik kollektörü sayesinde mika flotasyonu kademesinden sonra, daha da temiz içerikli feldspat alınmıştır. Çizelge 2'de -300+38 µm boyut grubunda dört kademe DerNa-7 ve 2 kademe A4 reaktifinin kullanıldığı deneyin analiz sonucu verilmektedir.

Çizelge 2. Dört Kademe DerNa-7 ve İki Kademe A4 Reaktifi ile Yapılan Deneyin Sonuçları

Boyut	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	SiO_2
-300 µm	%9,92	%0,09	%0,23	%68,9

3.2 İkinci Flotasyon Deneyi

İlk flotasyon deneyinden farklı olarak mikserle karıştırılarak hazırlanmış ve iki kademe olacak şekilde eklenen DerNa-7 ile

yapılmış deneyin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3'te verilmektedir.

Çizelge 3. Mikserle Karıştırılan İki Kademe DerNa-7 ve İki Kademe A4 Reaktifinin Kullanıldığı Deneyin Sonuçları

Boyut	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	SiO_2
-300 µm	%10,19	%0,07	%0,08	%68,35

3.3 Üçüncü Flotasyon Deneyi

300 mikron altı ve 38 mikron üstü boyut grubundaki feldspat numunesine yapılan deney sonucunda mika devresinde renk verici safsızlıkların oksit devresine göre arttığı görülmüştür. Şlam uzaklaştırıldıktan sonra yapılan bu deney sonucunda demir verimi mika flotasyonunda %67.25 ile önceki deneylere kıyasla büyük oranda artmıştır. Çizelge 4'te -300+38 µm deneyin analiz sonuçları verilmektedir.

Çizelge 4. -300 +38 µm Deneyin Sonuçları

Boyut	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	SiO_2
-300+38µm	%10,3	%0,05	%0,15	%68,4

4 SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Muğla-Milas bölgesinden temin edilen yüksek sodyum içerikli feldspat mineralinin flotasyon ile zenginleştirilmesinde şlam boyutu denilen 38 mikron altı tanelerin etkisinin araştırıldığı deneyler yapılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Oksit devresinde anyonik toplayıcı olan DerNa-7 kullanılmıştır. Bu deneylerde demir ve titan safsızlıkları yüksek içeriklerle ayrılmıştır.

Mika devresinde katyonik bir toplayıcı olan A4 kullanılmıştır. Oksit devresine göre demir ve titan içerikleri bu devrelerde daha düşük olmaktadır.

Şlam uzaklaştırılarak yapılan deneyde, batan üründeki demir içeriğinin (%0,05) düştüğü görülmektedir.

Analiz sonuçlarına göre Fe_2O_3 içeriği %0,05 ile %0,1 arasında değişmektedir. Tüm boyut gruplarında yapılan flotasyon ile zenginleştirme çalışmaları sonucunda elde edilen feldspat konsantrelerinin seramik ve cam sanayiinin gereksinimini karşılayabilecek özellikte olduğu belirlenmiştir.

Ne yazık ki salgın hastalık nedeniyle deneysel çalışmalar tamamlanamamıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma için kullanılan feldspat numunesinin temin edildiği ve bütün analizlerinin yapıldığı ESAN- ECZACIBAŞI A.Ş'ye teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

Atak, S. ve Tolun, R. (1994). Flotasyon. Cevher Hazırlama El Kitabı s. 185–236. İstanbul.

Burat F., 2017. Feldspat Cevherinin Flotasyon ile Zenginleştirilmesinde Tane Boyutu Değişiminin Etkisi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, s.205, 208

Cytec, (2002). "Feldspar", Mining Chemical Handbook, pp. 175-176.

Gence N., 1997. Feldspat Flotasyonu, Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, C.X, S. 2, s. 5-8

Özgen S., 2008. Silikatların Flotasyonunda Mineral Özelliklerinin Flotasyon Başarısına Etkisi, (Yüksek Lisans Tezi Maden Mühendisliği Ana bilimdalı Isparta), s. 20-21, 87.

Tesis Tasarımında Devre Tertip Seçeneklerinin Tesis Karlılığı Açısından İncelenmesi

Investigation of Enrichment Circuit Arrangement Options in Plant Design in terms of Profitability

A. Köle, A. Güney, Z. Üçerler

İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Günümüzde artan hammadde talepleri doğrultusunda, daha düşük tenörlü cevher yataklarının işletilmesi gündeme gelmeye başlanmıştır. Bu düşük tenörlü cevherlerin daha yüksek verimlerle elde edilebilmesi için birtakım ek işlemlere tabi tutulması gerekebilmektedir. Düşük tenörlü cevherlerin ekonomik olarak zenginleştirilmesi için, işletme maliyetlerini düşürücü bir takım ön zenginleştirme veya kademeli zenginleştirme işlemlerine tabi tutulmaları gerekmektedir. Bu işlemler sayesinde ton başına üretim maliyetleri düşmekte, tesis daha karlı hale gelebilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında, ESAN Yeniköy tesisine ait feldspat numunesi üzerinde ön zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır. Yapılan ön zenginleştirme işlemlerinin sonuçları değerlendirilerek tesiste uygulanabilirliği ve karlılığı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ön zenginleştirme, kademeli zenginleştirme, feldspat.

ABSTRACT Nowadays, the operation of lower grade ore deposits has started to come to more related to the increase of demands for raw materials in market. These low grade ores can be exposed to some additional processes in order to be obtained with higher yields. In meantime, they need to be exposed to pre-enrichment processes for reducing operating costs in order to beneficiate economically. In this way, in the step of final beneficiation, the capital and operating costs get lower. Accordingly, this situation reduces the costs for the production per ton and the plant can become more profitable. Within the scope of this thesis, preliminary enrichment studies were carried out on the feldspar sample belonging to the ESAN Yeniköy Plant. The results of the pre-enrichment processes were evaluated and the applicability and profitability of the plant were examined.

Keywords: Pre-enrichment, gradual enrichment, feldspar.

1 ÖN ZENGİNLEŞTİRME VE KADEMELİ ZENGİNLEŞTİRME

1.1 Ön Zenginleştirme

Ön zenginleştirme işlemlerinin amacı; tuvenan cevher içindeki değerli mineral miktarını mümkün olduğunca koruyarak, değersiz minerallerin uzaklaştırılması işlemidir. Ön zenginleştirme sonucu iri artık ve kaba konsantre elde edilmektedir. Elde edilen kaba konsantre, daha yüksek tenöre sahip ve empüritelerinden uzak bir şekilde nihai zenginleştirme işlemine tabi tutulmaktadır. Bir cevherin zenginleştirilmesinde kullanılacak yöntem seçilirken mineralin içeriğine ve serbestleşme derecesine çok dikkat edilmesi gerekmektedir. Serbestleşme derecesi mineralin ekonomik serbestleşme boyutunu saptamamızı sağlamaktadır. İri boyutta serbestleşmenin görüldüğü cevher tiplerinde ana zenginleştirme işleminden önce ön zenginleştirme mümkün olmaktadır. Fakat ön zenginleştirme işlemi yaparken ekonomik ve teknolojik etkenler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu sebepten dolayı ön zenginleştirme işleminin mümkün oldukça iri boyutta yapılması gerekmektedir.

1.2 Kademeli Zenginleştirme

Kademeli zenginleştirme de aynı ön zenginleştirme gibi tane serbestleşme boyutuna bağlı olarak, mümkün oldukça iri boyutta zenginleştirme yapılarak tesis verimini arttırıp, maliyetleri düşürmeyi amaçlar. Kademeli zenginleştirme işlemi sonucunda bir iri konsantre elde edilir. İlk kademeden çıkan iri artık ise süpürme işlemine tabi tutularak ikinci kademe konsantre eldesi sağlanır. Kademeli zenginleştirme sürecinde uygulanan iri boyutta konsantre üretme prosesi, genel olarak daha basit ve daha ekonomik bir prosestir. Daha düşük yatırım ve işletme maliyetine sahiptir. İnce boyutta yapılan zenginleştirme daha pahalıdır. Eğer cevherin özellikleri uygun ise, kademeli zenginleştirme işlemi uygulanarak, tesisin daha karlı hale getirilmesi söz konusu olabilir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

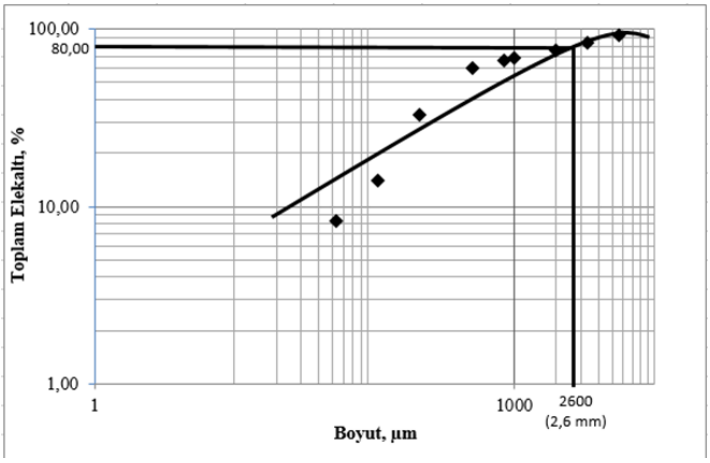
Bu tez kapsamında, ESAN Yeniköy feldspat tesisine ait numune ile ön zenginleştirme deneyleri yapılmıştır. Sarsıntılı masa ve spiral ile yapılan bu deneylerde feldspat minerali, nihai zenginleştirme işlemleri öncesinde ön zenginleştirme işlemlerine tabi tutulmuştur. Böylece feldspat mineralinin nihai zenginleştirme öncesi safsızlıklarının bir kısmından ayrılması sağlanmıştır. Bu işlemler sonucu tesiste öğütme ve flotasyon reaktif maliyetlerinden tasarruf sağlanması amaçlanmıştır.

2.1 Boyut Analizleri

Yapılan deneyler öncesinde, değirmen girişi tuvenan numuneye boyut analizi yapılmıştır. Yapılan boyut analizlerinin sonuçları çizelge 2.1'de verilmiştir. Ayrıca yapılan analizler sonucu hazırlanan elek altı eğrisi şekil 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Değirmen girişi tuvenan numunenin elek analizi

Boyut, mm	Miktar (%)	Toplam Elek Altı, %	Toplam Elek Üstü, %
+5,60	7,6	100,0	7,6
-5,60+3,35	8,2	92,5	15,7
-3,35+2	8,3	84,3	24,0
-2+1	7,4	76,0	31,4
-1+0,85	2,2	68,6	33,6
-0,85+0,50	6,3	66,5	39,9
-0,50+0,212	27,1	60,2	66,9
-0,212+0,106	19,1	33,1	86,0
-0,106+0,053	5,7	14,1	91,7
-0,053	8,4	8,3	100,0
Toplam	100,0		



Şekil 2.1. Değirmen girişi tuvenan numuneye yapılan analizlrin elek altı eğrisi

Elek analiz sonuçlarına bakıldığında malzemenin yarısından fazlasının 500 mikron altında olduğu görülmüştür. Bu durum, yapılacak ön zenginleştirme işlemlerinin, düşük boyut küçültme maliyetleriyle yapılabileceğini göstermektedir

2.2. Ön Zenginleştirmeye Tabi Tutulacak Cevherin Kimyasal Özellikleri

Deneyde kullanılacak numunenin içeriği çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Tuvenan numuneye yapılan analiz sonuçları

SiO_2, %	Al_2O_3, %	Fe_2O_3, %	TiO_2,%
66,1	19,70	0,40	0,46
CaO, %	**MgO, %**	**Na_2O, %**	**K_2O, %**
1,43	0,69	9,71	0,68

2 SONUÇLAR

Sarsıntılı masa deneyleri;

-2+1 mm boyut aralığında alınan hafif ve ağır ürünlerin analiz sonuçları incelendiğinde, elde edilen hafif ürünün içerisindeki Na_2O miktarının fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca feldspat bünyesinden uzaklaştırılmak istenen empüriteler de ağır ürün içerisinde yüksek miktarda bulunmaktadır. Bu sonuçlardan yola çıkılarak -2+1 mm boyut aralığında sarsıntılı masa ile etkin bir zenginleştirme yapılamadığı sonucuna varılmaktadır.

-1+0,5 mm aralığında yapılan sarsıntılı masa deneyinde, masanın ağır ürün içeriğinde bir miktar titan grubu minerallere rastlanmıştır. Fakat ara ürün ve hafif ürünlerin sodyum oksit içeriklerine ve dağılımlarına bakıldığında, hafif üründen sodyum oksit kaçağının fazla olduğu saptanmıştır. Zenginleştirmenin -2+1 mm boyut aralığında yapılan deneye göre bir miktar daha yüksek olmasına rağmen yeterli olmadığı görülmektedir.

-0,5+0,1 mm aralığında, diğer boyut gruplarına göre ayırmanın daha fazla olduğu görülmektedir. Titan grubu mineraller ağır kısımdan daha yüksek içerik ve verimle kazanılırken, biyotit ve muskovit de hafif ürün olarak daha yüksek içerik ve verimle kazanılabilmiştir. Üç farklı boyut grubuyla yapılan deneylerde; en yüksek zenginleştirme oranına -0,5+0,1 mm boyut aralığında ulaşılabildiği yorumu yapılabilmektedir.

Spiral Deneyleri;

Spiral deneyleri yalnızca -0,5+0,1 mm boyut aralığında yapılabilmiştir. Bu boyut aralığında bıçak açıları değiştirilerek dört adet test yapılmıştır. Yapılan testlerin analiz sonuçları incelendiğinde;

Birinci test sonucunda iç (ağır) kısımdan bir miktar titan uzaklaştırılması sağlanmıştır. Dış (hafif) kısımdan ise muskovit ve biyotit, minimum feldspat kaçağıyla uzaklaştırılabilmiştir. Orta kısımdaki ara ürünün içerik ve dağılımları incelendiğinde; kısmen empüritelerinden temizlenmiş ve nihai zenginleştirmeye uygun olduğu görülmektedir.

İkinci test esnasında ayırma bıçakları orta kısma doğru konumlandırılmıştır. Bu testte orta kısımdan satılabilir bir ürün elde edilmesi amaçlanmıştır. Fakat analiz sonuçları incelendiğinde, ara ürün içerisinde yüksek oranda demirli mineraller olduğu saptanmıştır. Bu sebepten dolayı satılabilir bir ürünün elde edilememiştir.

Üçüncü testte de bıçak açıları yine orta kısma getirilmiş olup, ikinci teste göre bıçaklar arasındaki mesafe daraltılmıştır. Bu test sonucunda, yüksek demir içerikli ara ürün elde edilmesinden dolayı istenilen sonuca ulaşılamamıştır.

Dördüncü testte bıçak açıları, dış kısımdan biyotit ve muskovitin uzaklaştırılıp temiz ara ürün elde edilecek şekilde ayarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, dış (hafif) kısımdan yüksek miktarda biyotit ve muskovit uzaklaştırılmıştır. Bu test sonucunda elde edilen ağır ürüne sarsıntılı masa deneyi yapılmıştır. Bu deney sonucunda, titan grubu minerallerin minimum feldspat kaçağıyla ağır ürün olarak uzaklaştırılabileceği gözlemlenmiştir. Fakat ağır ürün ve ara ürünün içeriklerine bakıldığında, yeterli düzeyde bir ayırmanın gerçekleşmediği görülmüştür.

Ön zenginleştirmeye yönelik en uygun değerler Spiral Test-4 deneylerinden elde edilmiştir. Nihai zenginleştirmeye gönderilecek olan ara ürünün TiO_2 içeriğinin % 0,11, Fe_2O_3 içeriğinin % 0,2, Na_2O içeriğinin %10,20 olduğu ve %71,3 verimle elde edildiği tespit edilmiştir. ESAN Yeniköy feldspat tesisi değirmen girişi tuvenan cevherin yaklaşık %60'ının 0,5 mm altında olduğu saptanmıştır. Bu boyut grubundaki cevherin değirmene beslenmesi yerine, 0,5+0,1 mm boyut grubunda spiral ile ön zenginleştirme yapılarak, bir kaba konsantre elde edilmesi ve bu ürünün de nihai zenginleştirmeye gönderilmesi durumunda,

tesiste hem değirmen hem de nihai zenginleştirme kapasitesi artırılabilecektir.

TEŞEKKÜR

Başta bölüm başkanımız Prof. Dr. Gülay Bulut'a, tezimle olan çalışma sürecim boyunca her türlü desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Ali GÜNEY'e, ve Araş. Gör. Zeynep ÜÇERLER'e saygı ve şükranlarımı sunarım. Aynı zamanda maddi ve manevi açıdan hep arkamda duran canım ailem ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürler.

REFERANSLAR

Acarkan, N. (1984). Bolkardağ Madenine Ait Altın - Gümüş - Kurşun Cevherini Zenginleştirme Olanakları. İstanbul.

Adair, R. M. (1951). A new method for recovery of flake mica. Mining Engineering, 252-254.

Atak, S. (1974). Oksitlerin Flotasyonu. İstanbul.

Bayraktar, İ., & Yarar, B. (1985). Altın Cevherlerinin Zenginleştirilmesi ve Altının Ekstraksiyonu. Ankara: Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 9. Kongresi, Bildiriler Kitabı.

Çilingir, Y. (1996). Metalik cevherler ve zenginleştirme yöntemleri (2.Baskı). Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İzmir.

TMMOB Maden Mühendisleri Odası (2010). Feldspat Raporu. İstanbul.

Gül, A. (2001). Küre Disemine Bakır Cevherinin Ön Zenginleştirilme Olanaklarının Araştırılması. İstanbul.

Gülcan, E., & Gülsoy, Ö. (2013). Sensör Temelli Ayırma Sistemleri. Optik Ayırma,Madencilik-Türkiye, 84-92.

Haldar, S. K. (2018). Mineral Exploration (Second Edition). Kolkata: Formerly Hindustan Zinc Limited, Hindustan Copper Limited, IMX Resources Limited, Perth.

İlknur Bayraktar, S. E. (1999). Temel Seramik ve Cam Hammaddelerimizdeki (Feldispat, Kuvars ve Kaolin) Kalite Sorunlan ve Çözüm Önerileri. Ankara.

Iverson, H. G. (1932). Separation of feldspar from quartz. Engineering and Mining Journal, 227-229.

Kangal, M. O., Özer, M., Burat, F., & Akın, S. (2018). Trakya Bölgesi ince boyutlu atık kömürlerin değerlendirilmesi. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 0(157), 219 - 227.

MTA Genel Müdürlüğü. (2021). https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/feldispat adresinden alındı

Okyay, V. (2013). Cevher Zenginleştirmede Liç Yöntemi. Madencilik Türkiye Dergisi.

Önal, G., Ateşok, G., & Perek, K. T. (2021). Cevher Hazırlama El Kitabı. İstanbul: Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayınları.

Özgen, S. (2008). Silikatların Flotasyonunda Mineral Özelliklerinin Flotasyon Başarısına Etkisi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi.

Parekh, B., & Abdel-Khalekh, M. A. (2002). Using Falcon concentrator, as a new technology, for removal of environmental pollutants of Egyptian coal. Journal Ore Dressing, 20-8.

Rao, V., Patel, S., & Lele, A. (2017). Mineral Processing : Including Mineral Dressing, Experiments and Numerical Problems. New Delhi: I K International Publishing House Pvt. Ltd.

Sayın, E., Batar, T., Kaya, E., & Tufan, B. (2010). Altın Üretiminde Siyanür Tüketiminin Azaltılması İçin Farklı Bir Yöntem: Gravite Zenginleştirme ve Liç Kombinasyonu. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü. doi:10.5053/ekoloji.2010.7710

Şahin, C. (2008). Aydın/Çine Yöresi Gözlü Gnayslarının Zenginleşebilirliğinin Araştırılması. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi.

Tolun, R., Yarari, B., & Gundiler, İ. (1972). Kolemanit Cevherlerinin Dekrepitasyon Yolu ile Zenginleştirilmesi. Bilimsel Madencilik Dergisi, 1-6.

Kütahya Antimonit Cevherinin Yüzey Özelliklerine Bağlı Zenginleştirilmesi

Enrichment of Kütahya Antimony Ore Based on Surface Properties

C. Kaya, O. Kangal, Y. E. Pural
İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET

Doğada sülfürlü ve oksitli olmak üzere 120'den fazla mineral çeşidi bulunan antimuan elementinin geçmişten günümüze antimuan üretim miktarları ve antimuan fiyatlarındaki değişimler incelenmiştir. Antimuan cevherinin zenginleştirilmesini etkileyen en önemli faktörler cevher yatağının yapısı, cevherin mineralojisi ve antimuanın cevher içindeki dağılımıdır. Optimum koşullar altında antimuan zenginleştirmesi için birden fazla yöntem uygulanabilmektedir. Bu yöntemler gravite ile zenginleştirme, flotasyon ile zenginleştirme, selektif küresel aglomerasyon ve izabe olup bu çalışmada antimuan zenginleştirmesi için uygunlukları incelenmiştir. Yapılan bu araştırmada tuvenan antimuan cevherinin yüzey kimyası yani; yapısında bulunan değerli ve değersiz minerallerin kimyasal yapısına bağlı olarak hidrofobik/hidrofilik olma özellikleri, adsorpsiyon özellikleri ve en uygun pH değerleri incelenmiş olup bunlara bağlı olarak kollektör, depresant gibi reaktifler belirtilmiştir.

ABSTRACT

Antimony production amounts and changes in antimony prices from past to present of the antimony element, which has more than 120 types of minerals, including sulfur and oxide in nature, have been examined. The most important factors affecting the enrichment of antimony ore are the structure of the deposit, the minerology of the ore and the distribution of the antimony in the ore. More than one method can be applied for antimony enrichment under optimum conditions. These are gravity enrichment, flotation enrichment, selective spherical agglomeration and smelting. In this study, their suitability for antimony enrichment was examined. In this research, the surface chemistry of the run-of-mine antimony ore, namely; the hydrophobic / hydrophilic properties depending on the chemical structure of the valuable and valueless minerals in its structure, adsorption properties and optimum pH values have been investigated. Depending on these, reagents such as collector and depressant have been specified.

1 GİRİŞ

Periyodik tabloda Sb sembolüyle gösterilen antimuan elementi metalik özellikli olup nitrojen (VA) grubu elementidir. Atom numarası 51, atom ağırlığı 121,75 ve özgül ağırlığı 6,6 g/cm3 tür. Ergime noktası 630,5 oC olan antimuan elementinin kaynama noktası 1.380 oC'dir. Metalik olarak tanımlanan antimuan, metal ve metal olmayan özellikleri aynı bünyede sahip olması nedeniyle yarı metal veya metaloid olarak tanımlanır [1]. Korozyona karşı dirençli olan antimuan, zayıf elektrik ve ısı iletkenliğine sahiptir.

Doğada en çok rastlanılan mineralleri stibnit (Sb_2S_3), senarmontit (Sb_2O_3), valentinit (Sb_2O_3), servantit (Sb_2O_4) ve

kermezit (Sb_2S_2O) olarak sayılabilir. Bu çalışmada antimuan minerallerinin genel özellikleri, dünyadaki ve Türkiye'deki rezerv durumu, kullanım alanları, güncel antimuan fiyatları, zenginleştirme yöntemleri ve yüzey özellikleri sırasıyla sunulmaktadır ve 05.01.2021-01.06.2021 tarihleri arasında bu çalışma yapılmıştır.

Çalışma literatür araştırmasına dayalı olup deneysel araştırmalar pandemi nedeniyle kısıtlı olarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada bilyalı değirmen, flotasyon cihazı ve XRF cihazı kullanılarak 3 ayrı pH'ta antimuan zenginleştirme analizi yapılmış olup deneyin detayları kısım 4'te verilmiştir.

2 GENEL BİLGİLER

2.1 Antimuan Mineralleri

Periyodik tabloda Sb sembolüyle gösterilen antimuan elementi metalik özellikli olup nitrojen (VA) grubu elementidir. Çok kırılgan ve tabakalı bir yapıya sahip olan antimuan, parlak, gümüş ve mavimsi beyaz renginde bir katıdır. Korozyona karşı dirençli olan antimuan, zayıf elektrik ve ısı iletkenliğine sahiptir. Antimuan, metal olarak kolayca kırılabilmesine rağmen alaşımlara sağlamlık, sertlik ve korozyona karşı dirençli olma özellikleri katmaktadır [1] .

Doğada sülfürlü ve oksitli olmak üzere 120'nin üzerinde antimuan minerali bulunduğu bilinmekte olup ekonomik açıdan en büyük öneme sahip olan antimuan minerali doğada en çok rastlanılan stibnit (Sb_2S_3)'tir. Metal antimuan bünyesinde bulunan ve istenmeyen empüriteler As, Pb, Fe, Se, Sn ve Hg'dir [2].

2.2 Dünyadaki ve Türkiye'deki Durum

Yer kabuğunda 0,2 ile 0,5 ppm arasında değişen miktarlarda bulunan antimuan, kalkofil bir element olduğu gibi, kükürt dışındaki bakır, kurşun ve gümüş gibi ağır metallerle de birlikte oluşabilmektedir. MTA'nın belirttiği üzere, antimuan cevherleşmeleri genellikle magmatik faaliyetlerle alakalı olup, granit, diyorit ve monzonit gibi intrüziflerle yakın jenetik bağa sahiptir. Damarların mineralojisine ve derinliği az olan yerlerde bulunmasına bağlı olarak yüzeye yakın konumlarda bulunması ve düşük sıcaklıklara sahip olması Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda ifade edilmiştir [3].

Kompleks antimuan yatakları stibnitle birlikte bulunan pirit, arsenopirit, zinober veya şelitten oluşabilmektedir. Ayrıca değişen miktarlarda bakır, kurşun ve gümüş içeren antimuan sülfotuzları ile birlikte bu metallerin ve çinkonun bilinen sülfitlerinden oluşmaktadır [4].

En önemli stibnit yatakları Çin, Bolivya, Kanada, Rusya ve Güney Afrika'da bulunmaktadır En büyük antimuan yatağı Çin'de bulunmaktadır ve Çin'i Rusya ve Bolivya takip etmektedir [1].

Türkiye'de bulunan en eski antimuan yatakları Batı Anadolu'dadır ve burada antimuan yataklarının yoğunluklu olarak bulunmasının sebebi bu bölgenin aktif tektonik yapısı ve yoğun volkanik faaliyetlerdir. Antimuan yatakları yoğunluklu olarak dört bölgede bulunmaktadır. Bu bölgeler Kütahya, Balıkesir, Bilecik, İzmir illeridir. Arslan C. ve Arslan F.'nın yaptıkları araştırmaya göre Turhal antimuan yatakları As, Pb, Fe, Se, Sn ve Hg empüriteleri açısından dünyadaki birkaç temiz cevher yatakları arasındadır [2].

2.3 Kullanım Alanları

Günümüzde birçok kullanım alanına sahip olan antimuan mineralinin başlıca kullanım alanları kurşun-asit akümülatörleri, kimyasallar, seramikler, camlar, ısı stabilazatörleri ve plastiklerdir. Metal antimuan, genellikle otomobil akümülatörlerinde, lehimcilik, matbaa harfi imali, askeri amaçlı malzemeler ve metal yatak imalinde, kurşun ve diğer metaller ile alaşım halinde yaygın olarak kullanılır.

Roskill'in yayınladığı 2014 verilerine göre, antimuanın %50'lik kısmı alev geciktiricilerde, %30'u bataryalarda, %7'si plastiklerde, %6'sı diğer metalürjik işlemlerde ve geriye kalan %7'si seramik, cam ve diğer sektörlerde kullanılmaktadır [5].

2.4 Antimuan Zenginleştirme Yöntemleri

Zenginleştirme yönteminin seçiminde cevherin mineralojik bileşimini, serbestleşme boyutu, tane iriliği, manyetik özelliği, elektrik iletkenliği gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri etkin rol oynamaktadır. Mineral içeriğinin belirlenmesi, mineralin içerisinde bulunan değerli minerallerin ve gang minerallerinin oranlarının tespiti zenginleştirme yönteminin belirlenmesi için büyük önem arz etmektedir. Antimuan cevherinin yapısında bulunan en önemli safsızlık kuvars (SiO_2) olmuştur. Kuvars dışında karşılaşılan diğer safsızlıklar ise pirit formunda bulunan demir ve arsenoprittir.
Antimonitin boyutu optimum şartlar içerisinde serbestleşme boyutuna kadar küçültüldükten sonra uygulanabilecek zenginleştirme yöntemleri şu şekildedir:

1. Gravite ile zenginleştirme
2. Flotasyon ile zenginleştirme
3. Selektif küresel agelomerasyon

Antimuan zenginleştirilmesinde kullanılan gravite ve flotasyon teknikleri için boyut ve içerik önemlidir. Oksitli ve iri taneli cevherler için gravite ile zenginleştirme yöntemi tercih edilirken, sülfürlü ve ince taneli cevherler için flotasyon yöntemi tercih edilmektedir.

3 YÜZEY KİMYASI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Gökmen'in yaptığı araştırmaya göre, tuvenan antimuan cevherinin zenginleştirilmesi için flotasyon koşullarını belirlemede antimuan ve arsenik tenörü en önemli kriterler olup bununla birlikte gang minerallerinin cevher içindeki oranları belirleyici özellik taşımaktadır [8].

Tuvenan antimuan cevherinin içerisinde bulunan gang minerallerinden birisi şisttir. Şist şlam oluşturmaya yatkınlığı nedeniyle stibnit üzerine yapışarak flotasyon işlemini zorlaştırmaktadır [6].

Yapılan deneylere göre arsenopirit yüksek pH değerlerinde (pH:8) yüzmesi nedeniyle olabildiğince düşük pH değerleri ile çalışılarak arsenopiritin yüzmesi engellenebilir. Bu nedenle stibnitin yüzdürülürken, arsenopirit ve piritin bastırılması için optimum pH değeri 7,4 – 7,9 arasındadır [7].

Salazar ve Parada'nın yaptığı araştırmada, farklı kaynaklardan elde edilen verilerin ortak olarak değerlendirilerek stibnitin optimum koşullarda zenginleştirilme koşulları incelenmiştir [9]. Yapılan bu araştırmada stibnit'in yüzebilirlik davranışları cevherin tipi, reaktifler ve flotasyon süresi, temas açısı, zeta potansiyeli ölçümü konu başlıkları altında pH'ın bir fonksiyonu olarak incelenmiştir.

Araştırmaya göre;

- Son derece asidik veya alkali pH aralıkları (sırasıyla <3 veya> 10) stibnit geri kazanımı için uygun değildir ve asidik pH aralığında (~3-5,5) kollektör olarak ksantat, aktivatör olarak kurşun nitrar kullanıldığı zaman optimum geri kazanım elde edilmektedir;
- Stibnitin yüzdürülebilirlik aralığının genişletilmesi mümkündür. Aktivatör olarak kurşun asetat, toplayıcı olarak dietil ditiokarbamat kullanıldığı takdirde stibnit <10 pH'ta yüzebilmektedir;
- pH arttıkça temas açısı artmaktadır. Temas açısı, asidik pH'ta (1 < pH <7) 30^o ile 44^o arasındaki bir aralıkta nispeten sabit kalır, ancak pH alkali hale geldikçe temas açısı azalma eğilimi göstermektedir. Kollektör ve aktivatörün eklenmesi, stibnitin temas açısını keskin bir şekilde arttırarak yaklaşık 86^o'ye kadar çıkmasını sağlamıştır;
- Stibnitin zeta potansiyel ölçümleri, yüzeyinin geniş bir pH aralığında negatif yüklü olduğunu bu sayeded çözeltideki pozitif yüklü iyonların yüzeyine çekilmesine izin verdiğini göstermiştir [9].

4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez kapsamında; B&S Yatırım A.Ş'ye ait Kütahya Antimuan cevherinin flotasyon yöntemi ile zenginleştirilmesi ve arsenikten arındırılmış kabul edilebilir bir antimonit konsantresinin elde edilmesi için alınan numuneler üzerinde boyut küçültme deneyleri ve onu izleyen aşamada flotasyon ile zenginleştirme deneyleri ve X-Ray Fluorescence (XRF) analizleri yapılarak mevcut koşullara göre daha iyi flotasyon koşulları araştırılmıştır.

4.1 Boyut Küçültme ve Flotasyon Deneyleri

Boyut küçültme deneylerin kapsamında alınan 1 kg'lık numune laboratuvar ölçekli bilyalı değirmende yaş olarak öğütülmüştür. Öğütülen numune 200 mikronluk elekten elenerek elde edilen numune flotasyon işlemi için çökelmeye bırakılmıştır.

Analizler sonucunda %4,63 Sb ve %0,32 As içerdiği saptanmış olan tuvenan cevher üzerinde flotaston deneyleri yapılmıştır. Yapılan flotasyon deneylerinde farklı pH değerlerine bağlı olarak antimuan zenginleştirmesi ve optimum pH değerinin saptanması amaçlanmış olup belirlenen optimum pH değerine bağlı olarak antimuan zenginleştirilmesi için için en uygun kollektör araştırmasının yapılması amaçlanmıştır.

Bu anlamda yürütülen deneysel çalışmalarda pH değerinin sırasıyla 7,0; 6,5; 6,0 olduğu deneyler yapılmıştır.

pH'nın flotasyona olan etkisinin belirlenmesinde ilk kademede malzemenin doğal pH'sı olan 7,0'da deney yapılmış ve 16,92 Sb, % 0,84 As içerikli antimonit konsantre-1 elde edilmiştir. Ancak bu değerin ve pH 7,0'daki diğer değerlerin düşük olması nedeniyle doğal pH'nın altında yürütülen deneysel çalışmalarda sırasıyla pH 6,5'da % 20,6 Sb, % 1,02 As içeriğinde, pH 6,0'da % 5,72 Sb, % 0,53 As içeriğinde, içeriğinde konsantreler elde edilmiştir. Bu çalışmaların sonucunda gerek konsantrenin antimuan ve arsenik içeriği gerekse artığa karışan antimuan kaybı miktarı hesaba katılarak optimum pH değeri 6,5 olarak belirlenmiştir.

5 SONUÇ

B&S Yatırım A.Ş. Kütahya bölgesi işletmesinden alınan cevher numunesi üzerinde 212 mikron boyutunda ve farklı pH'larda flotasyon ile zenginleştirme yöntemi ile düşük içerikli antimuan konsantresi elde etmek için gerekli koşullar gerçekleştirilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1) Tuvenan cevherin kimyasal analizine göre %4,63 Sb, %0,32 As içeriği saptanmıştır.

2) pH'ın flotasyona etkisini ölçmek için yapılan deneyler sonucunda 212 mikron boyutunda optimum pH 6,5 olarak saptanmıştır.

6 KAYNAKLAR

[1] **Yücel, M. B. (2019).** Dünya'da ve Türkiye'de Antimuan. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. 9-10.

[2] **Arslan C., Arslan F.**, Antimuan, n.d. ss.1-5. İstanbul Teknik Üniversitesi. https://madencilikrehberi.wordpress.com/

[3] **Devlet Planlama Teşkilatı. (2001).** VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı ÖİK Antimuan, Tungsten, Nikel, Vanadyum, Molibden, Kalay ve Manganez Çalışma Grubu Raporu"

[4] **MTA, 2020**, https://www.mta.gov.tr/v3.0/metalik-madenler/antimuan

[5] **i2a (International Antimony Asssociation), 2020.** https://www.antimony.com/antimony-2/

[6] **Anderson C.G. (2012).** The metallurgy of antimony. Elsevier, 8 p., Colorado, USA

[7] **Gökmen, N. (2014).** İstatistiksel proses kontrolü ve bir flotasyon tesisine uygulanması. Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi

[8] **Akar, A. (1981).** Ödemiş – Halıköy – Emirli Arsenikli Antimonit Cevherinin Zenginleştirilmesi ve Arsenikten Arındırılması. *Madencilik Dergisi*. Cilt. 10.

[9] **Segura-Salazar, J., ve Brito-Parada, P. R. (2021).** Stibnite froth flotation: A critical review. *Minerals Engineering*, 163, 106713.

K-Feldspat Cevherlerinden Muskovit Elde Edilme Yöntemleri
Methods of Obtaining Muscovite from K-Feldspar Ores

İ. Oran, O. Kangal,
İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET

Muskovit, mika ailesinin en yaygın ve en çok kullanılan mineralidir. Magmatik, metamorfik ve tortul kayaçlarda bulunan önemli bir mineraldir. Feldspat ve muskovitin genel özellikleri, muskovit madenciliği ve aynı zaman da Türkiye'deki ve dünyadaki farklı bölgelerde yapılan çalışmalar bu tezde incelenmiştir. Feldspattan muskovit ayırma işlemlerinde flotasyon, manyetik/elektrostatik ayırma, yoğunluğa dayalı zenginleştirme yöntemleri geçmiş çalışmalarda uygulanmıştır. Endüstriyel hammadde olarak değerlendirilen muskovitin, gelişen teknolojiyle birlikte kullanım alanları artmıştır. Bu alanlarda kullanılması için magmatik ve metamorfik kayaçlardan olan feldspattan ekonomik yöntemlerle muskovitin eldesi için genellikle zenginleştirme yöntemi olarak flotasyon kullanılmıştır. Bu çalışma, K-feldspatlardan muskovitin nasıl ayrılacağına ilişkin yapılan çalışmalar üzerinden, uygulanabilecek yöntemlere önerilerde bulunmak amacıyla yürütülmüştür.

ABSTRACT

Muscovite is the most common and widely used mineral of the mica family. It is an essential mineral found in igneous, metamorphic and sedimentary rocks. The general properties of feldspar and muscovite, the mining of muscovite as well as the studies carried out in different regions of Turkey and the world are examined in this thesis. Flotation, magnetic / electrostatic separation, density enrichment methods have been applied in previous studies in separating muscovite from feldspar. The usage of muscovite, which is used as an industrial raw material, has increased. Flotation was generally used as an enrichment method to obtain muscovite from feldspar, which is one of the magmatic and metamorphic rocks for this environment. This study was prepared to make suggestions on the methods that can be applied in examples of how to separate muscovite from K-feldspars.

1 GİRİŞ

Muskovit, endüstriyel alanda en çok kullanılan mika minerallerinden biridir. Genellikle feldspat madenciliğinde önem taşıyan pegmatitik yataklarında, ikincil ürün olarak levha muskovit üretimi yapılmaktadır. Muskovit mükemmel bir yalıtıcıdır ve bu özelliği onu elektrikli ekipman için özel parçalar üretmeye uygun hale getirir. Aynı zamanda muskovit, çeşitli boyalarda, yüzey işlemlerinde ve imal edilen ürünlerde dolgu maddesi ve genişletici olarak kullanılır. Muskovitin sedefli parlaklığı, boyalara, seramik sırlara ve kozmetiklere "ışıltı" katan önemli bir bileşen haline getirmektedir. Türkiye'de mika yataklarının geniş bir rezervi mevcut olmasına rağmen, mika minerallerinin endüstriyel hammadde olarak değerlendirilmesi yönünde çalışmalar oldukça yetersizdir. Yapılan bu çalışma sayesinde de

farklı sektörler için kullanılan muskovitin K-feldspatlardan nasıl elde edilebileceği incelenmeye çalışılmıştır ve 05.01.2021-01.06.2021 tarihleri arasında bu çalışma yapılmıştır.

Çalışma literatür araştırmasına dayalı olup deneysel araştırmalar pandemi nedeniyle gerçekleştirilememiştir.

2 GENEL BİLGİLER

2.1 Feldspat Mineralleri

Feldspatlar yerkabuğunun %60-65'ini oluştururlar. Feldspatlar genellikle sodyum, potasyum ve kalsiyumdan oluşan susuz alümina silikatlardır. Bu minerallerin magma kütlesinde değişik şekillerde bulunmasıyla ve bu elementlerin soğuyup kristalleşmesi ile de feldspat zonları oluşmaktadır.

Feldspatların parlak bir görünümü vardır, renkleri beyaz, krem, kahverengi, pembe, kırmızı, gri, yeşil ve mavimsi olmakta, renksiz veya sütümsü de olabilmektedir. Yapıları düzgün değildir. Mohs sertlik değerine göre 6-6,5 sertlik derecesine sahiptirler. Yoğunlukları 2,5-2,76 g/cm^3 arasında değişmektedir. (TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 2010).

Feldspatlar; plajiyoklaz feldspatlar ve K-feldspatlar olarak iki ana gruba ayrılmaktadır.

2.2 Mika Mineralleri

Endüstriyel hammaddeler dünyasında mika minerallerinin önemi giderek artmıştır. Endüstriyel alanlarda kullanılan mika mineralleri genellikle muskovit ve flogopitdir. Türkiye'de, genellikle pegmatitik oluşumlara bağlı mika oluşumları dikkat edilmektedir, mikaşist gibi metamorfik kökenli kayaçlar da endüstriyel hammadde olarak kullanılabilir olarak düşünülmemektedir. Dolayısıyla daha çok feldspat madenciliğinde önem taşıyan pegmatitik yataklardan ikincil ürün olarak levha muskovit üretimi tercih edilmektedir. Levha muskovite olan endüstriyel ilginin azalmasına rağmen, daha ince tane boyut aralığındaki toz muskovitin endüstriyel anlamda kullanımı ise giderek artış göstermektedir. Pegmatitik oluşumlarına ek olarak muskovit şist yatakları da toz muskovitin ana kaynağını oluşturmaktadır. Mika başlıca granit bileşimli magmatik kayaçlarda ve aynı zamanda şist ve gnays gibi metamorfik kayaçlar da bol olarak bulunan bir mineraldir (MTA, 2020).

Transparency Market Research (TMR), küresel pazarı üç farklı sınıfa ayırır: öğütülmüş mika, tabaka mika ve yerleşik mika. Bu raporda netlik ve tutarlılık için kullanılan ana terimler ham mika, levha mika ve hurda mika'dır. Temel olarak ham mika, levha mika ve hurda mika olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Hurda mika, birçok farklı endüstride kullanılabilen mika pulları, mika tozu ve mika kağıdının temelini oluşturmaktadır. Levha mika, kapasitörler (kondansatörler), mika bölmeleri ve fabrikasyon mika dahil olmak üzere elektrik ve elektronik sektörlerinde kullanılan mikadır (Schipper ve Cowan, 2018).

2.3 Mika Rezervi ve Üretim Miktarları

2020'de dünyanın en büyük mika üreticisi, yaklaşık 95.000 ton mika üreten Çin'dir. Çin'i, 2020 yılında 65.000 ton mika üreterek Finlandiya izlemiştir.

Mika'nın piyasa değeri için ise 2024 yılına kadar doğal mika pazar hacminin 1,06 milyon tona ulaşması beklenmektedir. 2024 yılında, mikanın toplam küresel pazar büyüklüğünün 669,3 milyon ABD dolarına ulaşacağı ve bu miktarın 591 milyon ABD dolarını doğal mikanın oluşturması beklenmektedir (Schipper ve Cowan, 2018).

2.4 Zenginleştirme Yöntemleri

Cevherin kalitesine, tenörüne ve özelliklerine bağlı olarak zenginleştirme yöntemlerinin (flotasyon, manyetik/elektrostatik ayırma, yoğunluğa dayalı zenginleştirme, vb.) uygulanması değişebilmektedir (Bayraktar, Gülsoy, Can, ve Orhan, 2001).

Feldspat cevherlerinin zenginleştirilmesi için son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya

başlayan manyetik ayırma işleminde, yüksek gradyanlı, sabit mıknatıslı rulo tipi kuru manyetik ayırıcılar (REMS) başarıyla kullanılmaktadır.Kuru manyetik ayırmada en önemli nokta ince boyutlarda (genelde -75 μm) çok iyi ayrım olmasıdır. Aksı takdirde ince taneler statik elektriklenme yoluyla iri tanelere yapışabilir ve ayırma işleminin başarısını olumsuz etkileyebilmektedir.

Diğer bir olumsuz nokta da tane boyu küçüldükçe ayırma kapasitesi önemli oranda düşmektedir. Yaş REMS'lerin geliştirilerek kullanılması şlam atmayı ve kurutmayı ortadan kaldırarak bu alanda yeni bir ufuk açacaktır.

Feldspatların %70'i flotasyon yöntemi ile zenginleştirilmektedir. Bu zenginleştirme sırasında ise mika mineralleri (muskovit, biyotit) elde edilir. Genel olarak feldspat flotasyonu 3 kademeden oluşur. Bunlardan birincisi mika flotasyonu, ikincisi demir oksitler, titanyum mineralleri gibi renk verici minerallerin uzaklaştırıldığı ağır mineral flotasyonu ve son olarak da feldspat-kuvars ayrımıdır.

Feldspat cevherlerinin flotasyon ile zenginleştirilmesinde kapalı devre öğütmenin ardından ilk aşama, özellikle mika flotasyonunu olumsuz etkileyen yaklaşık -25 μm'luk, belirli oranda kil içeren fraksiyonun şlam olarak atılmasıdır. Bu yapılmadığı takdirde üretilecek konsantrenin Fe_2O_3 ve MgO içeriğinde bir yükselme ve yüksek amin tüketimi kaçınılmazdır. Şlam atıldıktan sonra pH 2,5-3,5'da (H_2S0_4) mika mineralleri (muskovit, biyotit) yüzdürülür. Bu aşamada genellikle alkil zincirinde 12-18 karbon içeren alifatik aminler kullanılır. Kullanılan aminin alkil zinciri uzadıkça toplayıcı özelliği de artar. Ancak buna bağlı olarak yüzen üründe feldspat kaçağı da artar. Amin dozajı, kullanılan aminin türüne, cevherin mineralojik bileşimine ve tane boyu dağılımına bağlı olarak ayarlanır ve genellikle 50- 150 g/t arasında değişir (Bayraktar, Gülsoy, Can, ve Orhan, 2001).

3 YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu tez kapsamında; K-feldspatlardan muskovit cevherinin elde edilme yöntemlerinin araştırılması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalar araştırılarak, optimum flotasyon koşullarıyla yada diğer yöntemler ile K-feldspatlardan muskovitin ayrıştırılabilmesi aranmıştır.

3.1 Kırşehir Masifi Altere Granitoyitleri Üzerinde Yapılan Çalışma

Bu çalışmalarda amaç, sadece renk verici içeriklerin flotasyonla ayrılması dışında, aynı zamanda K2O içeriği açısından da daha yüksek tenörlü bir konsantre elde edebilmektir. Buna göre +5,6 mm fraksiyonu hiçbir ön zenginleştirme işlemine tabi tutulmadan -0,3 mm'ye öğütülmüş ve hem metal oksit, hem de ortoklaz/plajiyoklaz flotasyonu ile nihai konsantreler üretilmiştir. Konsantre oldukça yüksek potasyum (% 12,48) içeriğine sahip olup beslemenin ağırlıkça % 42,3'ü kadardır. Bu miktar, sadece manyetik ayırma uygulanarak elde edilen konsantre ile hemen hemen aynıdır. Miktarı arttırmak amacıyla daha fazla ürün yüzdürülmeye çalışıldığında, yüzen ürünün tenörü düşmekte ve ürün kalitesi göreceli olarak bozulmaktadır. Flotasyon yöntemiyle elde edilen konsantre, manyetik ayırma yöntemiyle elde edilen konsantreye göre potasyumca daha zengin aynı zamanda daha düşük demir ve titan içermektedir (Gülsoy ve diğ., 2004).

3.2 Manisa Alaşehir Pegmatitleri Üzerinde Yapılan Çalışma

Cevher numunesi, çeneli ve konik kırıcı kombinasyonu ile 10-15 cm'den 1 cm'ye kadar kırılmış ve merdaneli kırıcı ile boyutu -2 mm'ye düşürülmüştür. Manyetik ayırma numunesi -600+75 μm boyut aralığında eleme yapılarak hazırlanmıştır. Flotasyon testi için bir numune, bir seramik değirmeninde -230 μm tane boyutuna öğütülmüştür. Manyetik ayırma testleri, bir yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcı (permroll) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Safsızlıkların daha iyi ayrılmasını sağlamak için test numuneleri permrollden aynı koşullarda iki aşamada geçirilmiştir. Cevherin demir içeriğini istenilen düzeye indirmek için numunelere flotasyon da uygulanmıştır. Deneyler mika ve oksit flotasyonu olarak ayrı ayrı yapılmıştır. Mika için amin tipi toplayıcı (donyağı amin asetat) kullanılmıştır. Flotasyon deneylerinden önce, şlam (-25 μm) dört aşamalı bir dekantasyonla atılmıştır ve toplam miktarı ağırlıkça %17-20 civarındadır (Saklar ve diğ., 2003).

3.3 Bosna Hersek'teki Kaolinleştiriliş Granitler Üzerinde Yapılan Çalışma

Flotasyon ile elde edilen mika konsantresinin kimyasal analiz sonuçları, yüksek oranda SiO2, Al2O3, K2O ve Fe2O3 içeriği ortaya çıkarmış ve konsantredeki baskın minerallerin mika olduğuna işaret etmiştir.
Yarı niceliksel mineralojik XRPD analizi şu şekildedir: mika ≈ %55, kloritler/kaolinit (kombine) ≈ %35, kuvars ≈ %5, feldspatlar (plajiyoklaz ve K-feldspatlar bir arada) ≈ %5
Sunulan sonuçlara göre, flotasyon ile bu yataktan kaolinleştirilmiş granitten mika konsantresi elde etmek mümkündür. Ancak yapılması gereken boyutlandırmadır, böylece yüzdürülebilen tatmin edici bir cevher boyut aralığı sağlanır. Bu durumda -0,630+0,043 mm ince taneli mika, -0,043 mm killer (kaolinit) içerir. Mika konsantresinin ayrılmasından sonra, kuvars ve feldspatlar zenginleştirilir. Yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen mika konsantresinin ticari olarak kullanılabilir olabileceği doğrulanmıştır(Sekulić ve diğ., 2019).

3.4 Feldspattan Mikanın Spiral Zenginleştirici ile Uzaklaştırma Çalışması

Deney örnekleri, çeneli kırıcı ile kırılarak -2 cm'ye kadar indirilmiş daha sonra ince boyutların elde edilebilmesi için kademeli bir şekilde merdaneli kırıcıdan geçirilmiştir. Deneylerde kullanılmak üzere hazırlanan örneklerde spiral zenginleştirici için uygun olmayan -74 µm fraksiyon kuru eleme yapılarak ayırımı etkilememesi için uzaklaştırılmıştır. Daha önceden belirlenen tane boyutu fraksiyonlarına uygun olacak şekildeki -850 µm + 74 µm, -600 µm + 74 µm, -425 µm + 74 µm, -300 µm + 74 µm ve -212 µm tane boyutlarında beş ayrı boyut fraksiyonu hazırlanmıştır.
İri tane boyutlarında, mika minerallerinin ince pulsu yapısının ortaya çıkmaması şekil farklılığının oluşmasına engel olmaktadır. Dolayısıyla, iri tane boyutlarında şekil farklılığına dayalı bir ayırım gerçekleşmemiştir. İnce boyutlarda uygun sonuçları vermektedir (Kademli ve Gülsoy, 2004).

4 SONUÇ

Feldspattan muskovit ayırma işlemlerinde flotasyon, manyetik/elektrostatik ayırma, yoğunluğa dayalı zenginleştirme yöntemlerinin yapılan çalışmalarda uygulandığı görülmektedir. En yaygın kullanılan yöntem olan flotasyondan yüksek verim alınabilmesi için muskovit flotasyonunu olumsuz etkileyen yaklaşık -25 µm'luk, belirli oranda kil içeren fraksiyonun şlam olarak atılmasıdır. En yüksek konsantre eldesine; pH seviyesinin genellikle 2,5-3,5 olduğu, toplayıcı olarak aminlerin miktar olarak 50-150 g/t kullanıldığı ve köpürtücü olarak da MIBC kullanıldığında ulaşıldığı yapılan araştırmalar sonucunda görülmüştür.

5 KAYNAKLAR

Bayraktar, İ., Gülsoy, Ö., Can, N., ve Orhan, E. (2001). Feldispatların Zenginleştirilmesi. *4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu,* (s. 97-105). İzmir.

Gülsoy, Ö. Y., Orhan, E. C., ve Can, N. M. (2004). Manyetik ayırma ve flotasyonla magmatik ve metamorfik kayaçlardan feldispat üretimi. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, s. 49-61.

Kademli, M., ve Gülsoy, Ö. Y. (2004). Feldispat cevherinden mikanın spiral zenginleştirici ile uzaklaştırılması. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, s. 81-90.

MTA. (2020). *Feldispat (Feldspat)*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü: https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/feldispat adresinden alındı

MTA. (2020). *Mika*. Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü: http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/mika adresinden alındı

Schipper, I., ve Cowan, R. (2018). Country Profiles of Major Mica-Producing Countries. *Stichting Onderzoek Multinationale Ondernemingen (SOMO)*, 5-68.

Schipper, I., ve Cowan, R. (2018). *Global Mica Mining.* Amsterdam: Stichting Onderzoek Multinationale Ondernemingen (SOMO).

Sekulić, Ž. T., Mihajlović, S. R., Stojanović, J. N., Ivošević, B. B., Kašić, V. D., ve Ignjatović, M. R. (2019). Potentiality of Obtaining Mica Flotation Concantrate From Kaolinised Granite. *Committee of Mining PAS*, s. 499-508.

TMMOB Maden Mühendisleri Odası. (2010). *Feldspat Raporu.* TMMOB Maden Mühendisleri Odası.

Cevher ve göllerden lityum kazanımı: Teknolojiler ve tesisler

Lithium recovery from ores and lakes: Technologies and facilities

M.YILMAZ, Z.ÜÇERLER, A. GÜNEY
İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

ÖZET Bu bitirme tezi çalışmasında, günümüzün ve geleceğin önemli bir teknolojik hammaddesi olan lityumun; önemi, hangi kaynaklardan nasıl elde edildiğine ilişkin bilgilerin derlenmesi amaçlanmıştır. Bu anlamda geliştirilen teknolojiler, yöntemler ve bazı tesis örneklerine de yer verilerek bir literatür çalışması yapılmıştır. Bu tezde öncelikle lityum minerali hakkında genel bilgiler verilmektedir. Daha sonra cevherden ve göllerden kazanılan lityumun hangi ürünlerde kullanılabileceği gösterilmektedir. Bu malzemeler incelendiğinde lityumun neden önemli bir mineral olduğu ve neden daha fazla araştırma yapılması gerektiği de anlaşılmaktadır. Bunlarla birlikte üretim ve tüketim miktarları, yıllara göre fiyatlarınada değinilerek, ekonomik açıdan değerlendirilecektir. Daha sonra göllerden ve kayaçlardan çok çeşitli lityum kazanım yöntemleri incelenmektedir. Ayrıca Türkiye'deki lityum kaynaklarının yönelik bilgilere de bu çalışmada yer verilmiştir. Bunlara ek olarak Türkiye'de Kırka ve Bigadiç bölgesinde killerden lityum kazanımına yönelik yapılan bir araştırma da kullanılan metodlar açısından incelenmektedir.

ABSTRACT In this thesis study, lithium, which is an important technological raw material of today and the future; It is aimed to compile information about its importance, from which sources and how. In this sense, a literature study was conducted by including the technologies, methods and some facility examples. In this thesis, first of all, general information about the lithium mineral is given. Then, it is shown in which products the lithium recovered from the ore and lakes can be used. When these materials are examined, it is understood why lithium is an important mineral and why more research is needed. Along with these, production and consumption amounts will be evaluated economically by referring to their prices over the years. A wide variety of lithium recovery methods from lakes and rocks are then examined. In addition, information on lithium resources in Turkey is also included in this study. In addition to these, a study on the recovery of lithium from clays in Kırka and Bigadiç regions in Turkey is also examined in terms of the methods used.

Keywords: Lithium recovery, recovery from rocks, brines

1. GİRİŞ

Son zamanlarda teknolojinin gelişmesi ile birlikte lityum önemli bir hammadde haline gelmiştir. Doğada 150'den fazla lityum içeren mineral vardır ancak bunların çok azı ekonomik olarak kazanıma uygundur. Spodümen, lepidolit, petalit, ambligonit en bilinen lityum mineralleridir. Tıptan, enerji sektörüne kadar çok çeşitli alanlarda gerekli bir hammaddedir. Son zamanlarda elektrikli araçların yaygınlaşması ile birlikte pil üretiminde yüksek kullanım alanı bulmuştur. Bunun sonucunca kritik bir hammadde halini almıştır. Lityum metal formunda, konsantre halde, lityum hidroksit, lityum klorür ve lityum karbonat bileşikleri şeklinde farklı sektörlerde kullanılmaktadır.

Mevcut rezervler; salamuralar, pegmatitler ve sedimanter tip yataklardan oluşmaktadır (Çelebi vd., 2018). Salamuradan üretim Güney Amerika'da yaygın durumdadır (Üçerler, 2020). Bir diğer yandan pegmatit tip yataklardan üretim, Avustralya 'da yaygındır, bununla birlikte Sedimanter tip yataklardan üretimin ABD'de yaygın olduğu görülmektedir (Üçerler, 2020). Ülkemizdeki bazı göllerde yapılan çalışmalarda, lityum içeriğinin 40 ppm'i aşmadığı görülmüş olup, Tuz Gölü'nde 325 ppm lityum tespit edilmiştir. Ancak Tuz Gölü'nün magnezyum içeriği 38.000 ppm'dir. Yine yapılan çeşitli araştırmalar bor sahalarında killer içerisinde 2000 ppm'e yaklaşan lityum içeriğini göstermiştir.

Lityum fiyatlarının artan doğrultuda ilerlediği görülmektedir. Talep ve arzında aynı şekilde pozitif yönlü artışta olduğu görülmektedir.

Farklı kaynaklardan üretilen lityum için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Özellikle salamuralardan yapılan üretimin maliyetleri çok düşük ve basit akım şemalarına sahiptir. Bunun yanı sıra pegmatite ve sedimanter yataklardan üretim daha maliyetli ve daha karmaşık olduğu bilinmektedir.

2. GENEL BİLGİLER

Lityum düşük yoğunluklu bir mineraldir ayrıca periyodik tabloda hidrojen ve helyumdan sonra gelmektedir. En hafif metal olduğu bilinmektedir. Atom numarası 3 ve atom ağırlığı 6,941 olduğu bilinmektedir.

Pirit (800 gr) numunesi saf ve az miktarda olduğu için çekiçle 2mm altına kırıldı. Yine numunenin saf olması ve kirlenmemesi için öğütücü olarak agat havanı kullanıldı. Numune öğütüldükten sonra 0,1 mm'lik elekten elendi.

2.1. Lityum Rezervleri ve Madenciliği

Lityum cevherleri üç ana yatak tipinde bulunmaktadır. Bunları sıralamak gerekirse tipleri tuzlu su rezervuarları, pegmatitler ve sedimanter kayaçlar olarak sıralanabilmektedir (Çelebi ve Dönmez, 2018). Yüksek reaktiviteye sahip olan lityumu, cevherden üretmek zor olmaktadır. Doğada 150'den fazla lityum minerali olmasına rağmen küçük bir kısmı ekonomik olarak lityum üretimine müsaittir. Ekonomik olarak en çok lityum üretilebilen mineraller spodümen ($LiAlSi_2O_6$), lepidolit ($K_2Li_3Al_4Si_7O_{21}(OH,F)_3$), ambligonit ($LiAl(F,OH)PO_4$), petalit ($LiAlSi_4O_{10}$) olarak bilinmektedir.

Günümüzde en yaygın lityum elde edilme yöntemi salamura işlemiyle gerçekleşmektedir. Bu kadar yaygın olmasının sebebi maliyetinin ve zahmetinin az olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca salamuradan lityum kazanımı için gerekli olan lityum içeriği minerallere ve killere oranla daha düşüktür. Bu alanda en önemli parametre ise Mg/Li oranıdır, bu oranın en fazla 6/1 olması beklenmektedir. Bu oranın artması işletme maliyetlerine dezavantaj olarak yansımaktadır.

Küresel açıdan kıyaslandığında dünya lityum rezervlerinin %66'sını tuzlu sular oluşturmaktadır. Salar de Atacama bölgesi dünyanın en büyük lityum tuz havzası olarak bilinmektedir. Bolivya en büyük lityum rezervlerine sahip ülke olarak öne çıkmaktadır. Dünya rezervlerinin neredeyse %50'si burada bulunmaktadır. Salar de Uyuni yatağı da bu bölgede bulunmaktadır. Bu yataktaki Mg/Li oranı Atacama yatağının 3 katı olması sebebi ile buharlaşmayı ve maliyeti doğrudan etkilemektedir.

Dünya lityum rezervlerinin %26'sını ise pegmatit yatakları oluşturmaktadır. Tuzlu sudan lityum kazanımına göre pegmatit yataklarından lityum kazanımı oldukça masraflı olmaktadır. Bu masraf kalay ve tantalin pegmatitlerinde yan ürün olarak elde edilmesi halinde düşmektedir. Lityum içeriği pegmatit yataklarında daha yüksektir. Avustralya, Greenbushes' de 560.000 ton rezerv ile dünyanın en büyük pegmatit rezervi bulunmaktadır.

Killerin içerisinde ise dünya lityum rezervlerinin %8'i bulunmaktadır. Killerde daha yaygın olarak smektit minerali olarak görülmektedir. Türkiye' de ise yaygın olan hektorit minerali olarak bulunmaktadır.

2.2. Kullanım Alanları Ve Teknolojik Önemi

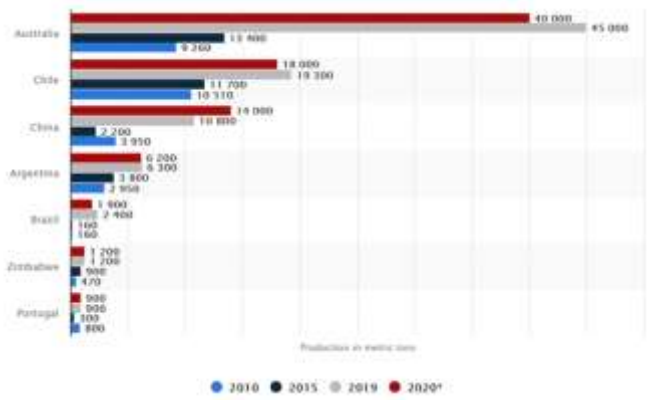
Günümüzde çok değişik alanlarda kullanılan lityumun gelecekte de önemi artarak büyüyeceği çeşitli araştırmalarda ortaya konulmuştur. Özellikle önemli bir lityum tüketicisi olan Çin'in gelecekte elektrikli araçlara yapacağı yatırım dikkate alındığında bu durum daha net ortaya çıkmaktadır (Hao ve diğ., 2017). Mevcut durumun sonucunda madencilik ile yeterli üretim yapamayan ülkeler için lityum stoklanması ve geri dönüşüm teknolojileri öne çıkmaktadır (Hao ve diğ., 2017). Lityum ürünleri Şekil 2.1. de görülmektedir (Sun vd., 2021).

Şekil 2.2 incelendiğinde 10'dan fazla üründe lityumun kullanım alanı bulduğu anlaşılmaktadır. Endüstriyel anlamda lityum, modern endüstride oldukça önemli olan farklı kimyasalların üretiminde kullanılmaktadır (Hao ve diğ., 2017). Örnek vermek gerekirse yağlayıcı greslerde, camlarda ve seramik gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Kritik enerji depolama ürünlerinden biri olan lityum iyon pillerinde de görülmektedir.

Şekil 2.3. Lityumun küresel son kullanım pazarlarının dağılımı.

2.3 Üretim Ve Tüketim Miktarları

Aşağıdaki lityum üretim miktarları grafiği (Şekil 2.3) incelendiğinde sırası ile; Avustralya, Şili, Çin, Brezilya, Brezilya, Zimbabve ve Portekiz olarak sıralanmaktadır (Garside, 2021). Garside'nin hazırlamış olduğu Şekil 2.3 bakıldığında Avustralya'nın 2010 yılından beri lityum üretiminde lider konumda olduğu görünmektedir. Ayrıca Çin dışındaki ülkelerde 2019 yılından sonra üretimde düşüşler olduğu ya da sabit kaldığı görülmektedir. Bunun sebebinin 2020 yılında yaşanan salgın hastalık olması muhtemeldir. Bir diğer dikkat çekici sonuç ise 2015 yılından 2019 yılına olan dört yıllık süreçte ciddi anlamda üretimde artış yaşanmıştır. Bunun sebebi ise teknolojinin gelişmesi ile birlikte artan taleple olduğu söylenebilmektedir (Büyükburç, 2006).



Şekil 2.3. 2010'dan 2020'ye kadar dünya çapında lityum madeni üretimindeki başlıca ülkeler (metrik ton olarak).

Economic Complexity Indicators, 2019'un verilerine bakıldığında 2009 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede Güney Kore, Japonya ve Çin ithalatta dünya ilk üçünü korumuştur. Türkiye ise 2003 yılından 2017'ye kadar asya bölgesinde ithalatta dördüncü Sırada yer almıştır. Bu süre zarfında ithalat zaman zaman iki katına çıktığı görülmektedir (Economic Complexity Indicators, 2019). Türkiye'de devamlı bir lityum karbonat ihtiyacı olduğunu oldukça net bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

2.4. Üretim Teknolojileri

Spodumen, petalit ve lepidolit ticari olarak çıkarılmaktadır (Kim ve diğ., 2010). Hektorit, tuzlu su, jeotermal su ve petrol sahası tuzlu su ile birlikte gelecekteki lityum kaynaklarından biridir ve kristal kafesten lityum ekstraksiyonuyla ilgili teknik sorunlar çözülürse gelecekteki bir lityum kaynağı olarak kullanılabilecektir (Kunasz, 2006).

2.4.1. Göllerden Lityum Kazanımı

En bol bulunan lityum kaynağı %59 oranla kıtasal tuzlu sularından oluşmaktadır (Swain, 2017). Tuzlu sudan lityum üretmenin maliyeti, genellikle onu sert kaya kaynaklarından üretmeye göre %30-50 daha az maliyetli olmaktadır (Tran-Luong, 2015). Cevher kaynaklarının geliştirilmesiyle ilişkili yüksek enerji tüketimi, yüksek maliyet ve kirlilik sorunları nedeniyle, lityumun tuz gölü tuzlu suyundan çıkarılmasının endüstride önemli bir trend haline gelmesi beklenmektedir (Sun ve diğ., 2020). Ayrıca, tuzlu sudan lityum çıkarmanın, lityum iyon pillerin artan kullanımının neden olduğu kaynak sıkıntısı sorununun çözülebileceği söylenmiştir (Sun

vd.,2020). Ancak çoğu tuzlu suda Mg/Li oranı 6'dan yüksek olmaktadır; yüksek Mg/Li oranları lityum kaybını arttırdığı ve lityum ekstraksiyon oranını azalttığı için basit kimyasal çökeltme yöntemi uygulanamaz (Pramanik ve diğ., 2020). Oranın yüksek olduğu durumlarda, Şekil 2.9' da gösterilen Tuz gölü tuzlu suyundan Mg / Li ayırma ve lityum ekstraksiyon teknolojilerindeki son gelişmelerden faydalanmak mümkün olmaktadır (Sun ve diğ., 2020).

Tuzlu göl suyundan farklı şekillerde lityum kazanımına dair yöntemler belirtilmektedir (Sun ve diğ., 2020). Magnezyum içeren lityumlu göllerden lityum kazanımında; genel olarak 5 yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; ekstraksiyon yöntemleri, adsorpsiyon yöntemleri, membran yöntemleri, elektrokimyasal yöntemler ve reaksiyonlara göre değişen ayırma yöntemleridir.

2.4.2. Cevher ve Killerden Lityum Kazanımı

Cevherden lityum geri kazanımını genel olarak mineral zenginleştirme ve ekstraktif metalurjiden oluştuğunu göstermektedir (Swain, 2017). Cevher/kilden hidro ve piro metalurji ile lityumun geri kazanılması yaygın olarak görülmektedir. Beta-spodümen mineralinden lityumun geri kazanılması için basınçlı liçinin uygulanabilirliği, Gabra ve diğerleri tarafından alkali ortamda NaCl kullanılarak araştırılmıştır (Gabra ve diğ., 1975). . Spodümenin mineral zenginleştirmesi ve spodümenden lityum ekstraksiyonu, yüksek enerji yoğun bir süreçtir. Isıdan (kireçleme, kavurma ve klorlama) enerji harcaması göz önüne alındığında, lityum geri kazanım işlemi için önemli dezavantajları olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, işlem çok yavaş bir kinetik problemle karşılaşsa da, mikro organizmaların lityum ekstraksiyonunun enerji, ekonomik ve çevresel açıdan çok çekici olmaktadır (Gabra ve diğ., 1975).

2.5. Türkiye'deki mecvut durum

Ülkemizdeki bazı göllerde yapılan çalışmalarda lityum içeriğinin 40 ppm'i aşmadığı görülmüş olup, Tuz Gölü'nde 325 ppm lityum tespit edilmiştir (Akgök ve Şahiner, 2017). Ancak Tuz Gölü'nün magnezyum içeriği 38.000 ppm'dir. Yine yapılan çeşitli araştırmalar bor sahalarında killer içerisinde 2000 ppm'e yaklaşan lityum içeriğini göstermiştir (Akgök ve Şahiner, 2017). Bor madeni çıkarılan Kestelek, Emet, Kırka ve Bigadiç sahalarında yapılan çalışmalar sonucunda, Bigadiç ve Kırka bölgesindeki lityum içeriğinin Kestelek ve Emet bölgesine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sahalarda, bor içeriği ile lityum içeriği arasında ters bir ilişki olduğu görülmüş ve tane boyutu azaldıkça lityum içeriğinin arttığı tespit edilmiştir (Akgök ve Şahiner, 2017).

2016 kırka bor tesisi kil atıklarından lityum bileşikleri kazanma olanaklarının araştırılmasının sonucunda ülkemizde Eti Maden tarafından Lityum Karbonat Üretim tesisi 2020 yılının Aralık ayında faaliyete geçmiştir.

Araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) faaliyetinin sonucu olarak inşa edilen, rafine bor üretimi esnasında ortaya çıkan sıvı atıklardan lityum üretmesi planlanan pilot tesis, ilk etapta yıllık 10 tonluk üretim yapacaktır (Nuroğlu, 2021). Lityum ihtiyacının tamamını ithalat yoluyla karşılayan Türkiye tesisin tam kapasiteyle devreye girmesi durumda, yıllık 600 tonluk bir üretim gerçekleştirerek Türkiye'nin lityum ihtiyacının yarısını karşılaması beklenmektedir (Nuroğlu, 2021). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı bu yöntemle lityum üretiminin dünyada bir ilk olduğu ve sadece Eti Maden tarafından uygulandığını belirtmektedir.

Tablo 2.8. Li-ekstraksiyon Sonuçları ile Deneysel Koşulların Karşılaştırılması (Lee ve diğ., 2016).

	Crocker (1988)	Büyükburç (2003)	This Study	
Field	Nevada (clay)	Bigadiç (clay)	Kırka (clay)	Bigadiç (tailing)
Lithium Content (ppm)	6,000	2,000	2,281	1,805
Clay:Gypsum:Limestone (Ratio)	5:2:2	5:1.5:1.5	5:1.5:1.5	5:1.5:1.5
Roasting Temp. (℃)	900	915	1,100	1,100
Roasting Time (min.)	120	120	120	120
Leaching S/L Ratio	0.665	0.26	0.26	0.26
Leaching Time (min.)	52	120	120	120
Average Extraction (%)	84	83.81	87.8	82.5

4. SONUÇLAR

Kritik bir hammadde haline gelen lityum aynı zamanda ileri teknoloji hammaddesi haline de gelmiştir. Üretici konumunda olan Güney Amerika ülkeleri göllerden kazanırken ve Avustralya spodümen kayacından kazanmaktadır. Göllerden kazanım kayaçlardan kazanıma göre oldukça basit ve az maliyetli bir yöntemken Avustralya da üretim teknolojilerini geliştirerek ekonomik olarak bu cevheri kazanabilmektedir.

Birçok ülke lityumu sadece ithal eden ülke durumunda bu da ülkeleri gelecekte zor duruma getirecektir. Gerek siyasi gerek ekonomik krizler bu kritik hammadde tedariğini engelleyecektir.

Üretim zincirinde hammadde tedariğinin ne kadar önemli olduğu herkes tarafından bilinmektedir. Bu riskin alınması ülkeler açısından mantıklı değildir. Bununla birlikte özellikle günümüzde enerji depolama ciddi öneme sahiptir. Ülkelerin gelişen teknolojilerin gerisinde kalmamak için lityum üretiminde pay sahibi olmaları gerekmektedir.

Aslında birçok kaynaktan (salamura, pegmatit, sedimanter) temin edilebilen lityum hammaddelerinin eldesi zaman zaman zor olabilmektedir. Bu yüzden, rezervi bulunan ülkeler kendi kaynaklarına uygun teknolojik ve ekonomik yöntemler geliştirmelidir.

Lityum eldesinde kullanılan yöntemler çok çeşitlidir. Ancak belli yöntemlerin pilot ya da endüstriyel uygulaması bulunmamaktadır. Daha farklı ve etkin yöntemlerin geliştirilmesi için bu konuda kaynak ayrılması gerekmektedir.

Ülkemizde 2016 yılında başlayan bor atıkları üzerindeki araştırmalar sonucunda 2020 yılının son çeyreğinde üretime başlayan pilot ölçekli bir tesis kurulmuştur. Bu tesisin uzun yıllardır Türkiye'de yapılan lityum ithalatını azaltmasına yönelik katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu girişim, lityum ithalatında uzun yıllar Asya bölgesinde dördüncü olan ülkemiz için önemlidir.

Buna ek olarak yapılan diğer araştırmalara da yönelerek ülkenin ihtiyacı olan tüm lityum kaynağını üretmek, hatta lityum ihracatında bulunmak büyük avantaj sağlayacaktır. Bu çalışmalar sayesinde yeni teknolojiler geliştirilerek, ülkemizdeki kaynakların ekonomiye kazandırılabilmesi sağlanacaktır.

5. KAYNAKLAR

Hao, H., Geng, Y., Sarkis, J., 2016. Carbon footprint of global passenger cars: scenarios through 2050. Energy no.101 s. 121–131.

Hao, H., Liu, Z., Zhao, F., Geng, Y., ve Sarkis, J., 2017." Material flow analysis of lithium in China", Resources Policy, cilt.51 s.100-106.

Kim, Y.D., Ko, C.S., Heo, C.H., and Kim, S.Y., 2010. Demand-Supply and Production of World Lithium Reso12urces. Journal of Econ. Environ Geol, 43(4): 283-289 (in Korean).CYTEC, 2002, "Mining Chemicals Handbook",CYTEC, Revised Edition

Sun, Y., Wang, Q., Wang, Y., Yun, R., ve Xiang, X., 2021. "Recent advances in magnesium/ lithium separation and lithium extraction Technologies from salt lake brine". Separation an Purification Technology, s. 256

Gabra, G.G., Torma, A.E., Olivier, C.A., 1975. Pressure leaching of beta-spodumene by sodium chloride, Can. Metall. Q. ci1t.43 s. 55–359.

Kunasz, I., 2006**.** Lithium resources. Industrial Minerals and Rocks, SME (Soc. Mining Metallurgy and Exploration), s. 599-614.

Lee, W., Yoon, S., Chon, C., Heo, C., Lee, G., Lee, B. Ve Çiçek, M., 2016. "Lithium Extraction from Smectitic Clay Occurring in Lithium-bearing Boron Deposits in Turkey". J. Miner. Soc. Korea, s.167-177.

Çelebi, N. ve Dönmez, C., 2018. Lityum: Batarya Sektörünün Aranan Elemanı. Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, No. 25, s. 27-30.

Üçerler, Z., 2020. Kırşehir Bölgesi Nefelinli Siyenit Kayaçlarından Lityum Kazanımının Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi,* İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.

Swain, B., 2016. Separation and purification of lithium by solvent extraction and Technol. Biotechnol.

Nuroğlu, E., 2021. Enerjide lityum devrimi ve Türkiye'nin potansiyeli, *Anadolu Ajansı, www.aa.com.tr adresinden alındı.*

Akgök, Y.Z., Şahiner, M., 2017. Dünyada Ve Türkiye'de Lityum, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı.

Pramanik, B. K., Nghiem, L. D., Hai, F. I, 2020. Extraction of strategically important elements from brines: Constraints and opportunities, Water Res., s.168

Tran, T., Luong, V. T., 2015. Lithium Process Chemistry: Resources, Extraction, Batteries and Recycling, *Lithium Production Processes*, Cilt 3, s. 81-124.

Economic Complexity Indicators. (2019). oec.world. Lithium carbonates: https://oec.world adresinden alındı.

Büyükburç, A., Maraşlıoğlu, D., 2006. Extraction of lithium from boron clays by using natural and waste materials and statistical modelling to achieve cost reduction. Minerals Engineering, s. 515-517.

Cam Atıklarının Yeniden Değerlendirilmesinin Araştırılması
Investigating of the recycling of glass waste

A. Bayraktar, Y.E. Pural, G. Bulut
İstanbul Teknik Üniversitesi,Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü,İstanbul

ÖZET Değerlendirilebilir katı atıklardan olan cam atıklarının fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerle ikincil hammaddeye dönüştürülerek tekrar üretim sürecine dahil edilmesine cam geri dönüşümü adı verilmektedir. Geri dönüşüm sonrası kazanılan şişeler ve kavanozlar fırına hazır cam kırığı haline getirilip sonrasında cam üretim fabrikalarında ikincil hammadde olarak kullanılarak yeniden şişe ve kavanoz haline getirilmektedir. Bu tez, kullanılamayan kaynakların kullanılabilir hale getirilebileceği, cevher zenginleştirme yöntemleri ile geri dönüşüm tesisinde değerlendirilemeyen atıkların tekrar cam geri dönüşümüne dahil edilebilmesi ile ilgili bir yaklaşım sunmaktadır. Cam atıklarının yeniden değerlendirilmesinin araştırılması isimli bitirme çalışması kapsamında, Şişecam Çevre Sistemleri A.Ş. Bursa-Yenişehir Tesisi'ndeki atıkların içerisindeki taş, seramik ve porselenin (TSP) uzaklaştırılmasına yönelik cevher zenginleştirme metotlarından, mekanik dağıtma, boyuta göre ayırma, jig deneyleri yapılmıştır.

Yapılan tüm deneysel çalışmalarda cam atığındaki toplam TSP (Taş-Seramik-Porselen) miktarının azaldığı sonucuna varılmıştır. Fakat 1 tonda 20 gram TSP bulunması hedefine ulaşılamamıştır. Tüm deneyler karşılaştırıldığında -5,60+3,35 mm'de yapılan mekanik dağıtma + jig deneyindeki konsantreler birleştirildiğinde %48,69 miktar ile toplam konsantredeki TSP içeriğinin 52,1 ppm olduğu, bununda amaçlanılan hedefe en yakın değer olduğu anlaşılmaktadır.
Anahtar Kelimeler: cam geri dönüşümü, ikincil hammadde, Jig

ABSTRACT Glass recycling, which is one of the recyclable solid wastes, is converted into secondary raw materials by physical and/or chemical processes and included in the production process again. Bottles and jars recovered after recycling are turned into cullet ready for the oven, and then used as secondary raw materials in glass production factories and turned into bottles and jars. This thesis presents an approach in which unused resources can be made usable, with ore enrichment methods the inclusion of wastes that cannot be utilized in the recycling plant into glass recycling. Within the scope of the final study titled "Investigating of the recycling of glass waste," Şişecam Çevre Sistemleri A.Ş. Mechanical dispersion, separation according to size + jig studies were carried out , one of the ore enrichment methods for the removal of stone, ceramics and porcelain in the wastes of the Yenişehir Plant.

In all experimental studies, it was concluded that the total amount of SCP (Stone-Ceramic-Porcelain) in glass waste decreased, but the target of 20 grams of SCP in 1 ton could not be reached. When all experiments are compared, the concentrate in the mechanical dispersion + jig experiment at -5.60+3.35 mm, 48.69% concentrate will be obtained. In this case, it was concluded that the SCP content in the total concentrate would be 52.1 ppm. The closest result to the intended target has been achieved.
Keywords: glass recycling, secondary raw material, jiggin

1 GİRİŞ

Değerlendirilebilir katı atıklardan olan cam atıklarının fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerle ikincil hammaddeye dönüştürülerek tekrar üretim sürecine dahil edilmesine cam geri dönüşümü adı verilmektedir. Cam geri dönüşüm tesislerinde fırına beslenecek hazır cam kırığının yanında, istenmeyen madde içerdikleri nedeniyle kullanılamayan fakat cam içeriği fazla olan atık ürün çıkmaktadır. Cam ergitme fırınına beslenecek cam kırığı içerisinde özellikle taş, seramik ve porselen (TSP) istenmeyen maddelerdir. Bu atık maddeler cam üretimi sırasında fırın içerisinde tamamen ergimemektedirler ve ürünlerde estetiksel ya da yapısal hatalar oluşturarak kalitesiz cam üretimine neden olmaktadırlar. Bu çalışmada Şişecam Çevre Sistemleri A.Ş. Yenişehir Tesisi'nde kullanılamayan cam atıkların içerisindeki istenmeyen madde olan taş, seramik ve porselenin uzaklaştırılması amacıyla İstanbul Teknik Üniversitesi Cevher Hazırlama Mühendisliği pilot tesisinde Aralık 2020-Haziran 2021 tarihleri arasında deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan cam atıkları, Bursa Yenişehir'de bulunan Şişecam Çevre Sistemleri A.Ş.' ye aittir. Numune geri dönüşüm tesisinden çıkan -10 mm atık olarak atılan kısımdır bir sonraki bölümde bahsedilmiştir. 1 tondaki cam atığında maksimum 20 gr taş (20 ppm), seramik ve porselen bulunması hedefi ile cevher zenginleştirme metotlarından eleme, mekanik dağıtma ve jig yöntemleri uygulanmıştır.

2 CAM GERİ DÖNÜŞÜMÜ

Cam atıklar yapısal özelliklerinin getirisi olarak kalitesini kaybetmeden geri kazanılabilmektedir (Han, 2008). Cam geri dönüşüm süreci, "fırına hazır cam kırığı" adı verilen kırılmış bir cam ürün üretir. Camın geri dönüşüm süreci tamamen üretilecek camın türüne bağlıdır. Pencere camları, ampuller, aynalar, seramik tabaklar ve kaplar, kristal ve fiberglas, geri dönüştürülemeyen bazı temsili cam türleridir (Nijkerk, 1995). Cam geri dönüşümü sırasında uyulması gereken bazı temel kurallar vardır, bu nedenle yeniden kullanılacak atık cam içerisinde metal içeren maddeler, taş, seramik ve porselen bulunmamalı ve rengine göre tasnif edilmelidir. 1 ton fırına hazır cam kırığı haline getirilen atık cam içindeki seramik, porselen ve taş içeriği 25 gramı, metal içeriği ise 5 gramı geçmemeli ve 1 mm den büyük ışık kıran madde, 10 cm'den büyük kâğıt, plastik, tahta veya diğer organik kirleticiler bulunmamalıdır (Karasu, 2013). İstenmeyen bu maddelerin çıkarılmaması durumunda üretilen cam kusurlu olabilir.

Carvalho ve diğ. (2015), cam ile taş arasındaki tane şekil farkını kullanarak 6 ila 12 mm boyutundaki parçacıkları ayırabilen ucuz ve basit bir bantlı ayırıcı ile atık camın yeniden değerlendirebilmesi üzerine deneyler yapmışlardır ve yaptıkları çalışmada taş içeriği Valnor örneğinde yaklaşık % 17'den % 5'e ve Tratolixo örneğinde yaklaşık% 5'ten% 2.5'e düşmüştür.

2.1 Şişecam Çevre Sistemleri A.Ş. Bursa-Yenişehir Tesisi

16 ton/saat besleme kapasitesine sahip cam geri dönüşüm tesise gelen cam atıkları bunkere beslenmektedir. Breezer ünitesi öncesinde bant üzerinden manuel ayıklama (triyaj) yapılmakta naylon poşet vb. yabancı büyük maddeler ayrılmaktadır. Sonrasında atıklar breezer (hafif malzeme ayırıcı) makinesinden geçirilmektedir ve içerisindeki hafif malzemelerin ayrıştırılması sağlanmaktadır. Breezer iki bölmeden oluşmaktadır. Birinci bölmenin altından ikinci bölme yönünde fan ile hava verilmektedir. Camın ağırlığı fazla olduğu için birinci göze cam düşerken ikinci göze kâğıt, karton, plastik gibi maddeler düşmektedir. Kalan cam ambalaj kaynaklı atıkların içerisindeki manyetik olan metal malzemeler bant üzerinde bulunan manyetik tutucular sayesinde ayrılmaktadır. 15 mm'lik parmak eleğe gelen cam ambalaj atıkları içerisinde 15 mm den küçük olanlar elek altına geçer ve kırıcıya beslenir, elek üstünde kalan şişe

kapağı, şişe mantarı, plastik parça, tahta parçası gibi malzemeler burada camdan ayrılmaktır. Kırılma ile küçülen cam ambalaj kaynaklı atıklar etiket makinasından geçirilmektedir. Etiket sıyırma işlemi sonrası cam atıklar eddy current ve manyetik tutuculardan geçirilmektedir. Manyetik olmayan metaller eddy currentta, manyetik metaller ise manyetik tutucuda ayrılmaktadır. Kalan cam kırıkları 10 mm'lik kauçuk elek yardımı ile boyutlarına ayrılır. Elek üstü ayrıştırma makinesi olan optik ayırıcılara alınmaktadır ve TSP (Taş, seramik, porselen) ve renk ayrımları (bal, beyaz ve yeşil) yapılmaktadır. -10 mm malzeme, cam kurutucudan geçirilip elek ile boyuta göre sınıflandırılıp başka bir optik ayırıcıdan geçirilmektedir. Fakat tesiste bugünkü koşullarda -10 mm altı ile çalışılmamaktadır. - 10 mm altı atık olarak atılmaktadır.

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Eleme

Numunenin boyut dağılım özelliklerinin belirlenmesi için Elek analizi yapmak amacıyla 1850 gr numune, numune bölücü ile alınmıştır. Yaş elek analizi uygulanmıştır. Numune sırasıyla 5,60, 4,76, 3,35, 2,83, 2, 1,19 ve 0,595 mm elek açıklığına sahip elekler ile elenmiş ve boyut gruplarına ayrılmıştır.

3.2 Mekanik Dağıtma

Mekanik Dağıtma 1 kg numune 450 g su (pko=%70) ile birlikte mekanik dağıtma makinesine ile işlem görmüştür. Yarım saat boyunca 800 devir/ dakika'da dağıtma işlemi gerçekleşmiştir.

3.3 Mekanik Dağıtma + Jig

Numuneye jig deneyleri öncesi, yarım saat 600 rpm %70 pko ile mekanik dağıtma yapılmıştır. Dağıtma sonrasında yaş eleme yapılmış malzeme +5,60, -5,60+3,35, -3,35+1,19 olarak 3 farklı boyut grubuna ayrılmış ve jig deneyleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de -3,35+1,19 boyut grubuna ait akım şeması gösterilmektedir.

3.4 Deneysel Sonuçlar

1) Yapılan tane boyutu dağılım analizinde, ortalama tane boyutunun 3,7 mm olduğu saptanmıştır.

2) Cam atığı numunesinin genel olarak %46-50 'lik kısmını beyaz renkte cam, %25-31 'lik kısmını yeşil renkte cam, %19-24'lük kısmını bal renkte cam ve %0,39- 0,94'lük kısmını mavi renkte camın oluşturduğu saptanmıştır.

3) Yapılan yaş eleme sonucu TSP'nin -3.36 mm boyutunda yoğunlaştığı görülmektedir. TSP miktarı toplam malzemenin % 0,28'ni oluşturmaktadır. Ayrıca cam miktarı toplam malzemenin %90.65'ini oluşturmaktadır. Toplam malzemedeki TSP miktarı 2814,21 ppm olarak saptanmıştır.

4) Yapılan mekanik dağıtma sonrası tane boyutu dağılım analizinde, ortalama tane boyutunun 3,7 mm olduğu saptanmıştır.

5) Mekanik dağıtma + eleme sonrası yapılan tane sayımı sonucunda toplam malzemenin cam miktarı %93,24, TSP miktarı % 0,14 olarak saptanmıştır. Toplam malzemedeki TSP miktarı 1362,48 ppm olarak saptanmıştır.

6) Eleme ile mekanik dağıtma + eleme sonrası yapılan tane sayımı sonuçları karşılaştırıldığında mekanik dağıtma + eleme işleminde, toplam malzemedeki TSP miktarının %51,6 azaldığı görülmektedir. Bu azalma numune alımından kaynaklı fark olabileceği gibi, TSP'nin dağıtma sonrası ince boyuta geçmesi de olabilir.

7) +5,60 mm Mekanik Dağıtma + Jig Deneyleri sonucu Konsantre1'de 636,5 ppm, Konsantre2'de 0 ppm, Konsantre3'de 1083,0 ppm TSP olduğu saptanmıştır. Atık'da 3675,6 ppm TSP %67,08 verim ile uzaklaştırılmıştır.

8) +5,60 mm'de yapılan mekanik dağıtma +jig deneyinde Konsantre1-2-3 birleştirilmek istenirse %77,20 miktar ile toplam konsantredeki TSP içeriğinin 532,7 ppm olacağı saptanmıştır.

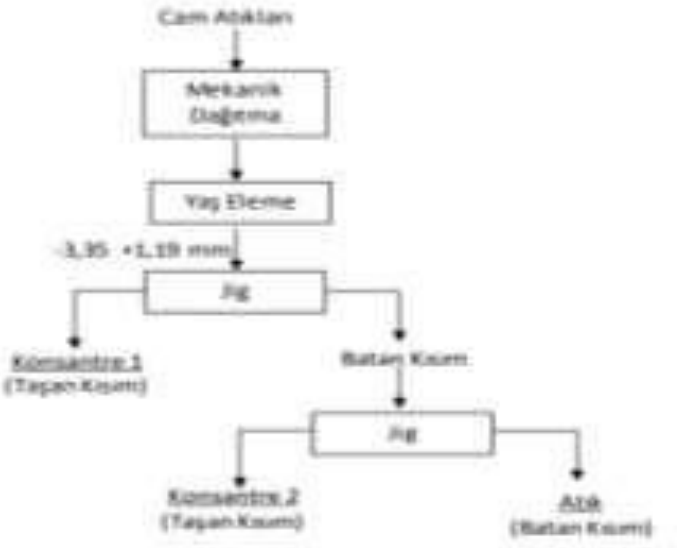
9) -5,60+3,35 mm Mekanik Dağıtma + Jig Deneyleri sonucu Konsantre1'de 0 ppm, Konsantre2'de 126,0 ppm, Konsantre3'de 293,5 ppm, Konsantre4'de 474,7 ppm TSP olduğu saptanmıştır. Atık'da 10597,2 ppm TSP %94,97 verim ile uzaklaştırılmıştır. Şekil 1'de -5,60+3,35 mm jig atık görüntüsü gösterilmektedir.

Şekil 1. -5,60+3,35 mm Jig Atık Görüntüsü

10) -5,60+3,35 mm'de yapılan mekanik dağıtma +jig deneyinde Konsantre1-2-3- 4 birleştirilmek istenirse %77,25 miktar ile toplam konsantredeki TSP içeriğinin 165,1 ppm olacağı saptanmıştır. Konsantre1-2 birleştirilmek istenirse %48,69 miktar ile toplam konsantredeki TSP içeriğinin 52,1 ppm olacağı saptanmıştır.

11) -3,35+1,19 mm Mekanik Dağıtma + Jig Deneyleri sonucu Konsantre1'de 1605,8 ppm, Konsantre2'de 1194,1 ppm TSP olduğu saptanmıştır. Atık'da 3517,8 ppm TSP %51,75 verim ile uzaklaştırılmıştır.

12) -3,35+1,19 mm'de yapılan mekanik dağıtma +jig deneyinde Konsantre1-2 birleştirilmek istenirse %69,24 miktar ile toplam konsantredeki TSP içeriğinin 1457,5 ppm olacağı saptanmıştır.



Şekil 2. -3,35 +1,19 mm Jig Deneyi Akım Şeması

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan tüm deneysel çalışmalarda cam atığındaki toplam TSP miktarının azaldığı sonucuna varılmıştır fakat 1 tonda 20 gram TSP bulunması hedefine ulaşılamamıştır.

Jig ile ayırmada tane şekil faktöründen yararlanılarak bir ayırma gerçekleşeceği düşünülmüştür. Yapılan jig deneyleri sonucunda genellikle konsantrelerin içerisinde istenmeyen ürünlerden olan seramik ve porselen bulunmaktadır. Cam atığındaki seramik ve porselenin tane kırılma şekli köşelidir, cam ile benzerlik gösterdiğinden etkili bir ayrılma gerçekleşememiştir. Buna kıyasla yuvarlak şekilli olan taş taneleri jig içerisinde alt tabakalarda konumlanmıştır.

1 ton cam atığında 20 gram TSP bulunması hedefine ulaşmak için;

1) Bölüm ikide bahsedilen bantlı bir ayırıcı denenebilir, bu tez çalışması kapsamında denenmesi düşülen bantlı ayırıcı Covid-19 etkilerinden dolayı yapılamamıştır.

2) Birbirini takip eden farklı prosesler denenebilir. Örneğin jig ve optik ayırıcı kullanılabilir.

3) Bu tez çalışması kapsamında yapılan jig deneylerinin daha büyük çapta yapılıp ve numuneye bağlı hataların minimize edilmesi sağlanabilir.

TSP içeriğinden dolayı tekrar cam sektörü girdisi olamayacak durumdaki cam atıkları asfalt kaplama karışımlarında ince agreganın parçası olarak kullanılabilirler ve buradan sıfır atık yönetimini sağlanabilir.

5 KAYNAKLAR

Carvalho, M.T., Dias, N., Brogueira, P., 2015. Separation by particle shape — The RecGlass device. International Journal of Mineral Processing 140 Elsevier, s. 1–7.

Han, G.S., 2008. Ambalaj Atıklarının Yeniden Değerlendirilebilirliği ve Küçükçekmece Örneği. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 71, Gebze.

Karasu, A., 2013. "Çevresel Atıklar, Nedenleri, Çevresel Atıkların Geri Dönüştürülmesi Ve Yenilenebilir Enerji Olanaklarının Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, B.Ş.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik, s.49-56.

Nijkerk, A.A. 1995. Wealth in garbage: Recycling, past, present and future. Recycling and cleaner production, pp. 145–156. International Organization of Biopolitics, BIO, Athens.

Çözünmüş Hava Flotasyonunun İnce Boyutlu Feldspat Cevherleri Üzerinde Uygulanabilirliğinin Belirlenmesi

Determining the Applicability of Dissolved Air Flotation on Fine Size Feldspar Ore

Ş. Şit , B.Tunç, Ş.B. Aydın
İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

ÖZET Feldspat cevherlerinden özellikle seramik ve cam endüstrisine hammadde üretebilmek için demir ve titan içerikli minerallerin bünyeden uzaklaştırılması gereklidir. Bu amaçla feldspatlar genellikle manyetik ayırma, flotasyon veya her iki yöntemin kombinasyonu ile zenginleştirilir. Bununla beraber, ince boyut fraksiyonu, düşük ayırma verimliliği nedeniyle manyetik ayırma ile zenginleştirilemez; bu nedenle flotasyon yöntemi kullanılarak ince boyutlu safsızlıklar cevherden uzaklaştırılır. Feldspat flotasyonundaki ince boyut fraksiyonu (genellikle 38 mikron altı boyutunda) elektrostatik etkileşim nedeniyle feldspat yüzeylerini kaplayarak flotasyonu olumsuz etkiler ve verimi azaltır. Çözünmüş hava flotasyonu ile çevreye zararlı ve pahalı kimyasalların kullanılmaması veya az kullanılması ile tesislerin işletim maliyetlerini azaltmak, çok ince boyutlu cevherlerin işletilmesiyle beraber verimi arttırmak hedeflenmektedir. İnce boyutlu cevherlerin değerlendirilmesi hem daha az atık problemine hem de daha yüksek verim elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Yapılacak bu çalışmanın amacı, ince hava kabarcıkları sağlayan ÇHF (çözünmüş hava sistemi) ile saf ince boyutlu sodyum feldspat numunesi üzerinde flotasyon gerçekleştirilerek feldspat kazanımına olanak sağlamaktır.
Anahtar Kelimeler: Çözünmüş Hava Flotasyonu, Feldispat, Kollektör Miktarı

ABSTRACT In order to produce raw materials from feldspar ores, especially for the ceramic and glass industry, minerals containing iron and titanium must be removed from the ore. For this purpose, feldspars are usually enriched with flotation or a combination of magnetic separation and flotation. However, the fine size fraction cannot be enriched by magnetic separation due to the low separation efficiency; Therefore, fine-sized impurities are removed from the ore using the flotation method. The fine size fraction in the feldspar flotation (generally below 38 microns) coats the feldspar surfaces due to electrostatic interaction, adversely affecting the flotation and reducing the efficiency. With the dissolved air flotation method, it is aimed to reduce the operating costs of the facilities by not using or less use of environmentally harmful and expensive chemicals and to increase the efficiency with the processing of very fine ores. The production of fine-sized ores allows both less waste problems and higher yields. The aim of this study is to compare the flotation of fine particles with the selective flotation of pure fine-sized sodium feldspar sample with the Dissolved air system (dissolved air system) that provides fine air bubbles, and the dissolved air flotation and traditional flotation systems in terms of size fraction.
Keywords: Dissolved Air Flotation, Feldspar, Amount of Collector

1. GİRİŞ

Feldspat magmatik, metamorfik ve tortul kayaçların temel bileşeni olan, uzun yıllar sonucu oluşan, en bol ve en yaygın olarak bulunan mineraller arasındadır. Feldspatın üretim reçetesindeki yerine ve üretim kalitesine bakıldığında Türkiye seramik sektörünün geleceği açısından büyük önem arz etmektedir. Son zamanlarda, yüksek içerikli feldspat cevherlerinin artan tükenme oranı, düşük içerikli cevherlerin feldspatın ana kaynağı olarak değerlendirilmeye başlanmasına neden olmuştur. Bu sebep feldspatı hammadde olarak kullanan ve neticesinde ürün ortaya koyan tüm üreticilere pazar alanlarını korumak için kaynakları daha verimli bir şekilde üretme baskısı oluşturmuştur. Cevher Hazırlama işlemlerinde ince boyut fraksiyonu zenginleştirme sırasında oluşan temel sorunların ana kaynaklarından birisidir. Bu ince boyutlu cevher tanelerinin zenginleştirme esnasında kazanımı üretilen hammaddenin miktarının da pozitif yönden artmasını sağlayacaktır. Günümüzde 200-20 mikron arasındaki tanelerin flotasyon ile kazanımı dünyada kullanılan zenginleştirme yöntemlerinin başında gelmektedir. Ancak daha ince boyutlu tanelerin zenginleştirmede yarattığı sorunlar göz önüne alınarak Çözünmüş Hava Flotasyonu (ÇHF) tekniğinin bu malzemelere uygulanabilmesi aynı zamanda artıkların değerlendirilmesine de olanak sağlayabileceği düşünülmüştür. Bu çalışma ile ince boyutlu feldspat cevherlerinin zenginleştirilip değerlendirilmesi ve endüstriye hazır hale getirilmesi Çözünmüş Hava Flotasyonu yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Feldspatın en çok kullanıldığı seramik ve cam sektörlerindeki en önemli husus hammaddedeki demir ve titan içerikleridir. Örneğin cam üretimi için kullanılan züccaciye kumunun kimyasal içeriğinde demirin 400 ppm'in altında olması gerekmektedir. Seramik endüstrisinde ise titan oksit (TiO_2) içeriği de en az demir içeriği kadar belirleyici bir etkiye sahiptir. Seramik sanayinde kullanılan feldspatın kimyasal içerikleri Tablo 2.1'de gösterilmektedir. Demir ve titan içeriği azaldıkça feldspatın fiyatı artmakta ve pişme rengi beyazlaşmaktadır. Cam üretiminde kullanılacak feldspat cevherinden zenginleştirme aşamasında manyetik ayırma ile mika mineralleri (biyotit ve muskovit) ve demir oksit mineralleri (hematit) ayrılabilir. Seramik sanayinde kullanılacak feldspat hammaddesi için ise titan oksit oranının %10'dan küçük olması ve geriye kalan safsızlıkların giderilmesi gerekmektedir. Optimum verimle yüksek kaliteli feldspat üretiminin yapılması için rutil ve sfein minerallerinin cevherin yapısından uzaklaştırılması gerekmektedir. Ancak rutil ve sfein minerallerinin manyetik duyarlıklarının çok düşük olması sebebi ile seramik üretimi için yapılan zenginleştirme işlemi flotasyon ile sağlanabilmektedir. (Roger vd., 1994; Bayraktar vd., 1997)

Tablo 2.1. Seramik sanayinde kullanılan feldspat cevherlerinin kimyasal bileşimleri

Bileşim	Na-Feldspat	K-Feldspat
% $Si0_2$	65-70	65-70
% CaO+ % MgO	<1.5	<1.5
% Al_2O_3	17-18	13-15
% K_2O	0.5-3	>8
% Na_2O	7-11	<4
% Fe_2O+ % TiO_2	<0.1	<0.1
Pişme Rengi	Parlak beyaz	Parlak beyaz

Burat'ın (2017) yaptığı çalışmalara göre feldspat flotasyonunda demir-titan minerallerinin mika ile beraber asidik pH değerlerinde bitkisel yağlar ve bunların sabunları kullanılarak toplu yüzdürülemediği bu sebeple mika mineralleri ve oksit minerallerinin feldspat yapısından selektif flotasyon ile uzaklaştırılması gerektiği öngörülmüştür. Aynı çalışmada birinci

flotasyon aşamasında ilk önce mika pH yaklaşık 2.5-3'e ayarlanıp amin türü bir kollektör yardımı ile yüzdürülmüştür. Mika mineralleri feldspat yapısından ayrıldıktan sonra ikinci flotasyon aşamasında ise demir oksit mineralleri pH yaklaşık 3-3.5 arasında anyonik kollektörler yardımı ile yüzdürülüp feldspat yapısından uzaklaştırılmıştır. Bunun yanı sıra feldspatın bünyesinde bulundurduğu serbest kuvars taneleri de verimi büyük oranda etkilediğinden mika ve demir oksit minerallerinin selektif flotasyon ile uzaklaştırılmasından sonra pH 2.5-3'e ayarlanıp ortama hidroflorik asit verilmiştir. Daha sonra uzun zincirli bir amin kollektörü ve köpürtücü yardımı ile feldspat yüzdürülerek kuvarstan ayrılmıştır.

Eğer tüvenan cevher feldspatik kumlardan elde edildiyse boyut küçültmeye ihtiyaç duyulmaz. Buna ek olarak eğer mika miktarı çok az ise bazen ilk yüzdürme aşaması gerekli olmamaktadır. Son flotasyon aşamasından sonra hammadde susuzlandırmaya gider. Nem içeriği %1 veya daha aza indirmek için döner kurutucular kullanılır

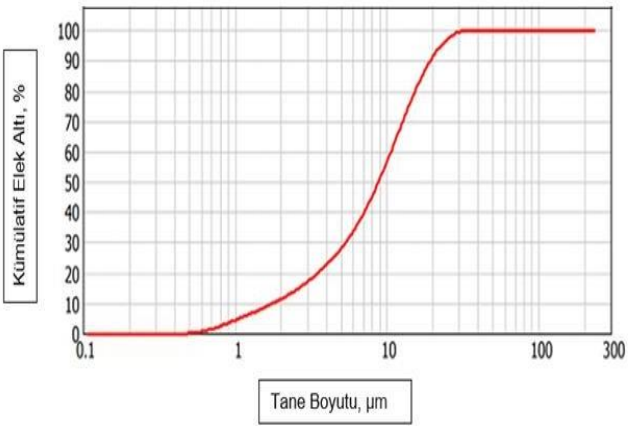
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Malzeme

Çalışma kapsamında ticari olarak satılabilir nitelikte bir feldspat numunesi ile çalışılmıştır. Numunenin kimyasal analizi ESAN-Eczacıbaşı laboratuvarında yapılmış olup analiz sonuçları Tablo 2.1'de verilmiştir. Malvern Mastersize 2000 tane boyut ölçüm cihazı kullanılarak malzemenin boyut fraksiyonunu belirlenmiştir. Malzemenin boyut analiz sonuçları Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Boyut analizine göre malzemenin d_{80} boyutu 16 mikron civarındadır.

Tablo 2.1. Feldspat numunesinin analiz sonuçları

ELEMAN	%BİLEŞEN
SiO2	69.2
Al2O3	19.09
Fe2O3	0.017
TİO2	0.024
CaO	0.44
MgO	0.01
Na2O	10.91
K2O	0.15
Ateş Zayiatı	0.11



Şekil 3.1. Numunenin boyut dağılım eğrisi

Çalışmada kullanılan numune daha önce işlem görmüş olduğundan yüzeyde herhangibir reaktif kalıntısı olmaması için, numune ilk önce aseton ile yıkanmıştır. Malzeme süzüldükten sonra 2 defa saf su ile yıkanmış ve ardından kurutularak deneylerde kullanmak üzere hazır hale getirilmiştir.

3.2. Yöntem

Çalışma kapsamında kullanılacak olan çözünmüş hava flotasyonu deney düzeneği Şekil 3.2'de gösteridiği gibi hazırlandı. Düzenek su içerisinde havanın çözündürüldüğü bir çözündürme hücresi ve flotasyonun gerçekleştiği bir flotasyon hücresinden oluşmaktadır. Çözünme hücresindeki su içerisinde 6 bar basınçta ve 10 dk boyunca hava çözündürülmüştür. Bu

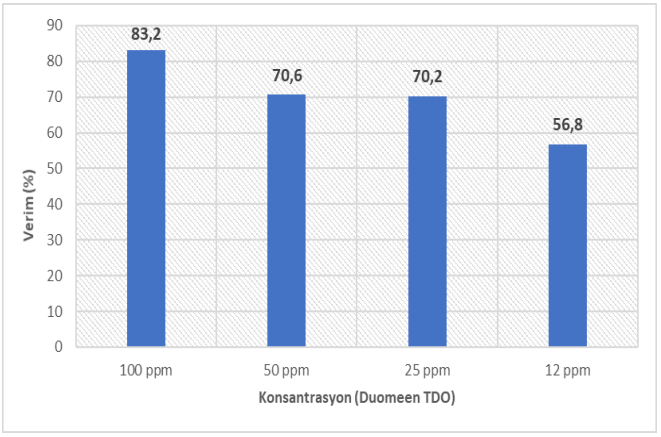
çözündürme sırasında 5 g numune ve saf su ilavesi ile toplam hacmi 500 ml olacak şekilde (%1 pko) bir manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Kollektör olarak amin tipi Duomeen TDO (%1'lik) reaktifi kullanılmıştır. Kollektör ilavesinden sonra 5 dk kondüsyon süresi verilmiştir. Bu reaktifin köpürtücü özelliği olduğu için herhangibir köpürtücü ilavesi yapılmamıştır. Deneyler pH 2.5-3.0 arasında gerçekleştirilmiştir ve pH düzenleyicisi olarak sülfürik asit kullanılmıştır. Deneylerde saf su kullanılmıştır. Kondüsyon süresi tamamlandıktan sonra karışım flotasyon hücresine beslenmiş ve yine manyetik karıştırıcı ile malzeme karışmaya devam etmiştir. Aynı anda çözündürme hücresinin vanası açılarak çözünmüş hava içeren su, ucunda iğne uçlu nozul bulunan boru yardımıyla flotasyon hücresine beslenmektedir. Flotasyon hücresinden taşma anından itibaren 20 sn boyunca malzeme yüzdürülmüştür. Batan ve yüzen kısım ayrı ayrı alındıktan sonra kurtulup tartılmıştır. Malzeme Tablo 3.1'de gösterilen içeriklerine göre saf özellikte olduğundan verim hesapları doğrudan tartımlar üzerinden yapılmıştır.

Şekil 3.2. Çözünmüş Hava Flotasyonu deney düzeneği

3.3. Deney Sonuçları

3.3.1. Kollektör miktarının etkisi

Kollektör miktarının etkisinin incelendiği deneylerde Duomeen TDO kollektörü 100, 50, 25 ve 12 ppm miktarlarında kullanılmıştır. Deney sonuçları Şekil 3.3'de verilmiştir. Deney sonuçlarına göre 100 ppm Duomeen TDO ilavesi ile %83'lere ulaşan feldspat verimi elde edilmiştir.



Şekil 3.3. Kollektör Konsantrasyonuna bağlı verim grafiği

4. SONUÇLAR

Çalışmada ince boyutlu feldspatların çözünmüş hava flotasyonunda yüzebilirliğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmalarda d_{80} boyutu yaklaşık olarak 18 mikron olan saf feldspat numunesi ile çalışılmıştır. 6 bar basınçta gerçekleşen deneylerde farklı miktarlarda duomeen TDO kollektörünün etkisi incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre kollektör miktarı arttırıldıkça feldispat verimide artmıştır. 100 ppm kollektör ilavesi ile verim %83'lere ulaşmıştır. Yapılan bu deneylerde ince boyutlu feldspat minerallerinin çözünmüş hava flotasyonu ile yüzebileceği sonucuna varılmıştır. Daha sonraki çalışmalarda saf feldspat numunesi kullanılmayıp ince boyutlu feldspat artıkları üzerinde farklı kollektör cinsleri ile çalışılması gerektiği önerilmektedir.

KAYNAKÇA

Bayraktar, İ., Ersayın, S., Gülsoy, Ö.Y., 1997. Upgrading Titanium Bearing Na-Feldspar by Flotation Using Sulphonates, Succinamate and Soaps of Vegetable Oils. Minerals Engineering, 1, 12, 1363-1374.

Burat, F., 2017. Feldispat Cevherinin Flotasyon ile Zenginleştirilmesinde Tane Boyutu Değişiminin Etkisi , 32(3), 205-216.

Çinku, K., Bekçi, G., Özdemir, O., 2018. Çözünmüş Hava Flotasyonu (ÇHF) Tekniği İle Talkın Tuzlu Sularda Yüzebilirliği, Bilimsel Madencilik Dergisi, 57, 9-16.

Karadeniz, M.B., 2019. İnce Taneli Elmas Tozlarının Çözünmüş Hava Flotasyonu (ÇHF) Yöntemi ile Geri Kazanımı Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi.

Roger, A.K., Van Dyk, D., 1994. Feldspars, Industrial Minerals and Rocks, 6th ed. Ed. Donald D. Carr, 473-481.

İnce Tane Boyutundaki Cevherlerin Flotasyonunda Uygulanan Yeni Teknikler
New Techniques Applied in Flotation of Fine Size Ores

B. İNAN, Ş.B.AYDIN,
İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

ÖZET Cevher hazırlama değerli minerallerin değersizlerden ayrılıp satılabilir ürün elde etme işlemidir. Bu işlem sırasında cevher içerisindeki minerallerin, serbestleşme boyutu, özgül ağırlık, manyetik duyarlılık, elektrostatik özellik ve yüzey özellikleri gibi belirleyici farklılıklarınn tanımlanması etkin bir ayırma için önemlidir. Günümüzde ince boyutlarda serbestleşen değerli mineral içeren cevherlerin işletilmesi sebebiyle özellikle ince boyutlarda çalışma imkanı veren ve yüzey özellik farkına göre ayırım yapan flotasyon yöntemi tercih edilmektedir. Flotasyon yöntemi, 300-20 mikron arasında ayrım yapacak şekilde geliştirilmiştir. Ancak gün geçtikçe var olan değerli cevherlerin serbestleşme boyutu düşmekte olduğundan bu durum daha verimli ayırma yapacak yeni flotasyon teknik ve cihazların geliştirilmesini gerektirmiştir. -20 mikron boyutundaki taneler daha önce hiçbir işlem yapılmadan artık olarak atılırken, hem atık bertarafı hem de içerisinde ki değerli minerallerin geri kazanımı amacıyla çalışmalar yapılmaktadır. İnce tanelerin ayrımı için bir çok teknik denenirken en çok flotasyon hücresi içine verilen hava kabarcıklarının boyutunun küçültülüp ince cevher tanesi ve hava kabarcığı arasındaki etkileşimi arttırılması üzerinde durulmuştur. Bu çalışma kapsamında son yıllarda çok ince boyuttaki tanelerin flotasyon ile etkin ayırımı için yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: İnce Boyutlu Taneler, Flotasyon, Hava kabarcığı

ABSTRACT Mineral processing is the process of separating valuable minerals from the unworthy and obtaining a salable product. During this process, it is important to identify the determinant differences of the minerals in the ore such as liberalization size, specific gravity, magnetic susceptibility, electrostatic property and surface properties for an effective separation. Nowadays, due to the processing of ores containing valuable minerals that are released in fine dimensions, the flotation method, which allows working in fine sizes and makes separation according to the difference in surface properties, is preferred. Flotation has been developed to distinguish between 300-20 microns. However, since the size of the liberalization of the existing valuable ores is decreasing day by day, this situation has required the development of new flotation techniques and devices that will make more efficient separation. While the -20 micron sized particles are disposed of as waste without any action before, studies are carried out for both waste disposal and recovery of valuable minerals. While many techniques have been tried for the separation of fine particles, it has been focused on reducing the size of the air bubbles introduced into the flotation and increasing the interaction between fine ore particles and air bubbles. Within the scope of this study, the studies conducted for the effective separation of ultra fine size particles by flotation were examined.

Keywords: Fine Size Particle, Flotation, Air Bubble

1. GİRİŞ

Çalışma kapsamında ince tane boyutundaki cevherlerin flotasyon ile zenginleştirilmesindeki yeni tekniklerin araştırılması ve incelenmesi amaçlanmaktadır. Günümüzde çok ince boyutlarda serbestleşen cevherlerin işletilme zorunluluğu nedeniyle klasik flotasyon yönteminin verimliliğini arttırmaya yönelik farklı flotasyon teknikleri ve cihazlar geliştirilmektedir. Bu konuda iyileştirme sağlayacak yeniliklerin endüstriyel çapta uygulanabilmesine ışık tutacak oldukça fazla deneysel çalışmalar da bulunmaktadır. Özellikle -20 mikron boyutundaki taneler flotasyon ile kazanılamayıp atık olarak atılmaktadır. İçerisinde değerli minerallerde içeren bu malzemenin değerlendirilemeyerek atılması tesis için de verim kayıplarına sebep olmaktadır. Bu bakımdan konunun araştırılıp üzerinde yapılan çalışmaların derlenmesi oldukça önemlidir. Bu konuda yapılmak istenen çalışmalar içinde ön bilgi niteliğinde olacaktır.

2. İNCE BOYUTLU TANELERİN FLOTASYONU İÇİN GELİŞTİRİLEN CİHAZLAR

2.1. Kolon Flotasyonu

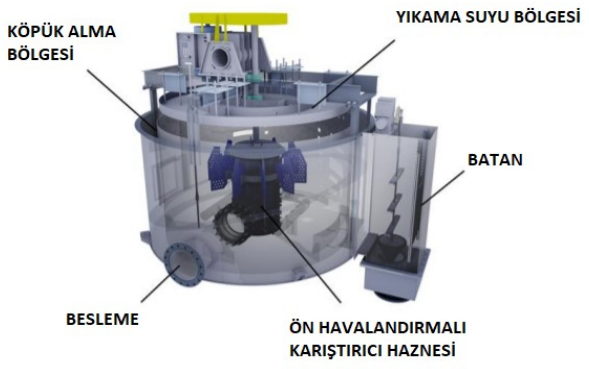
Kolon flotasyonu genel olarak 2 bölgeden oluşmaktadır. Bunlar; yukarıdan aşağıya inen tanelerin hava kabarcıkları ile karşılaştığı toplanma bölgesi ve köpük ürününün yıkanarak alındığı temizleme bölgesidir. Endüstriyel uygulamalarda kolon çapları 3 m'ye boyları ise 15 m'ye kadar çıkmaktadır. Kolon flotasyonunda yukarıdan verilen yıkama suyu ve köpük tabakasının çok derin olması ince tane boyutlu cevherlerin flotasyonu için büyük avantaj sağlamaktadır(Atak, 2017).

2.2. Jet Flotasyon

Jet hareketi sağlayarak suyun içinde kabarcık oluşturmaya dayalı çalışan flotasyon cihazıdır. Jet flotasyonunda hem daha fazla kabarcık oluşmaktadır hem de oluşan kabarcık boyutları 100-600 µm arasındadır. Bu bakımdan ince taneler için daha uygun bir zenginleştirme yapabilmektedir(Kangal ve Güney 2003).

2.3 StakCell Flotasyon Hücresi

StackCell ™ adı verilen yeni bir yüksek kapasiteli yüzdürme teknolojisi, hem geleneksel hem de kolon yüzdürme makinelerine alternatif olarak geliştirilmiştir. Bu teknoloji, ön havalandırmayı ve etkili kabarcık-partikül teması sağlayan yüksek kesmeli bir havalandırma odasını kullanır ve böylece kömürün yüzmesi için gereken kalma süresini önemli ölçüde kısaltır. Çalışma sırasında, besleme pülpü hücreye bir yan (veya alt) besleme yoluyla verilir. Bu noktada, besleme pülpüne düşük basınçlı hava eklenir. Sisteme uygulanan kesme kuvvetleri kabarcıklar oluşturmak için kullanılır (Url-1). Şekil 2.1'de Stackcell'in üç boyutlu bir şeması görülmektedir.



Şekil 2.1. StackCell 3 Boyutlu Şematiği

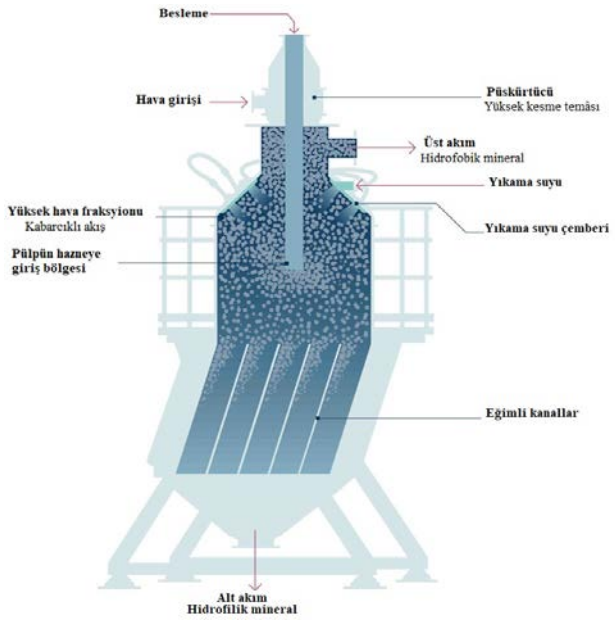
2.4. Elektroflotasyon

Elektroflotasyonda kabarcık boyutunu küçültmek için değişik jeneratörlerden hava göndermek yerine elektroliz sonucunda oluşan anot ve katot gazlarından yararlanılmaktadır. Elektroliz koşullarına bağlı olarak çapı 17 ile 105 µm arasında olan hava kabarcıkları oluşmaktadır. Kabarcık boyutlarının yoğunluk, pülp pH'ı ve elektrot malzemeleri ile ayarlanabilmesi

elektroflotasyon tekniğinin artılarıdır. Elektroflotasyon tekniğinde su elektrolizi sırasında hidrojen ve oksijen kabarcıkları oluşmaktadır. Hidrojen kabarcıkları anot tarafında, oksijen kabarcıkları ise katot tarafındadır. Bunun sonucu olarak su içinde potansiyel fark oluşur ve hidrojen ve oksijen molekülleri hareketlenerek hava kabarcıkları oluştururlar (Sarkar vd., 2011).

2.5. Reflux Flotasyon Cihazı

Geleneksel flotasyon yöntemlerine alternatif olarak 2020'li yıllarda geliştirilen reflux flotasyon cihazı (RFC), bir dizi paralel eğimli kanalın üzerine yerleştirilmiş dikey bir kaptan oluşur. RFC, sıkıştırılmış havanın besleme pülpüne bir püskürtme aletiyle verildiği, tane- hava kabarcığı etkileşimini desteklemek için bir düşey su borusu düzeneği kullanır. Reflux'un içinde bulunun alt tarafındaki eğimli kanallar Boycott etkisinden yararlanarak (sedimentasyon) sistem içindeki kabarcık-sıvı dağılımını artırır. Bu uygulama hücre içinde üst akıma giden hava akışı ve sıvı akışı arasındaki hidrodinamik ilişkiyi en aza indirgemektedir. Reflux Flotasyon cihazının şematik görününü Şekil 2.2'de gösterilmektedir (Url -2).



Şekil 2.2. Reflux flotasyon cihazının şematiği

2.6. Çözünmüş Hava Flotasyonu

Hava kabarcıkları, kule tipi bir hava doyurucu aracılığıyla su akışında çözülür ve difüzör nozullarından çok sayıda küçük hava kabarcığına bırakılır. Mikro kabarcıkların yardımıyla, floküle edilmiş partiküller ve askıda katı maddeler, şlam olarak köpük tabakasında yoğunlaşacak ve şlam giderme teknesinden alınacaktır(Li vd., 2018).

3. İNCE BOYUTLU TANELERİN FLOTASYONU İÇİN YENİ YÖNTEMLER

3.1. Kimyasalların Kullanımı

Bazı durumlar için özel kimyasallar flotasyonda kullanılabilmektedir. Bunun sebebi fiziksel adsorpsiyon kuvvetlerinin ve elektrostatik etkilerin yetersiz kalmasıdır. Sülfonat ve amin benzeri fiziksel adsorpsiyon sağlayan kollektörler yerine şelat tipi kimyasal adsorpsiyon sağlayan kimyasalların kullanımı önerilir. Hematit flotasyonu için oktil-hidroksamat kullanımı buna bir örnektir (Atak, 2017).

3.2. Yağ Aglemerasyonu Yöntemi

Yağ aglemerasyonu ya da yağ flotasyonu, yüzdürülmesi gereken minerallerin yağ damlacıkları içinde toplanması ve yağ damlacıklarının hava kabarcıklarına yapışarak yüzeye yükselmesine dayanan flotasyon yöntemidir. Doğal yüzen minerallere (molibdenit, kömür vb.) uygulanıp ince tanelerde verimi artırırken, bir kollektör ilavesi ile diğer mineraller için de bu yöntem kullanılabilmektedir (Leistner vd., 2016).

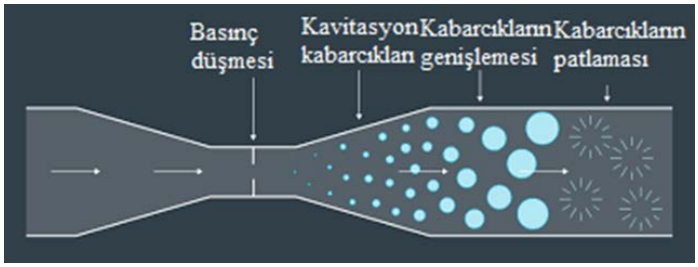
3.3. Taşıyıcı Flotasyon

İnce tanelerin flotasyonu için geliştirilen bir yöntem olan taşıyıcı flotasyonda belirli flokülant veya polimerleri taşıyıcı olarak kullanarak flotasyonun verimi arttırılmaktadır (Zhou vd., 2020).

3.4. Hidrodinamik Kavitasyon Yöntemi

Hidrodinamik kavitasyon sıvıyı yüksek hızda ileten bir boruya boğaz eklenmesi ile mikro kabarcıklar oluşturan bir sistemdir. Zhou ve diğerleri (2020) yaptığı çalışmada bu mikro kabarcıkların flotasyondaki etkilerini açıklamak için ~1.6 mikron boyutundaki silikat örneğine hidrodinamik kavitasyon ile flotasyon uygulamıştır. Deney sonucunda verimli bir ayırma yapılarak verim %32' den %50'ye ulaşmıştır.

Hidrodinamik kavitasyon (HC) tüpü yerleştirilmiş sistemlerde oluşan kabarcıklar yaklaşık -5 mikron boyutunda olmakta bazı durumlarda nano boyutta kabarcıkların oluştuğu da gözlemlenmektedir. Hidrodinamik kavitasyon ile hava kabarcığı oluşumu Şekil 2.3'de gösterilmiştir (Hart vd., 2002).



Şekil 2.3. Hidrodinamik kavitasyon ile hava kabarcığı oluşturma

Kabarcıkların boyutu zenginleştirilecek tanelerin boyutuna genelde yakındır. CSIRO Energy Technology and Novatech Consulting hidrodinamik kavitasyon sistemlerini geliştirmiş ve çok ince kömür tanelerinde uygulamışlardır (Hart v.d., 2002). Kondisyonlanmış flotasyon pülpünü hidrodinamik kavitasyon tüpünden geçirerek nano kabarcıklar oluşturmuşlar ve yapılan ayırmada aynı verimi önceki denemelerde kullanılan kollektör miktarının yalnızca %10'unu kullanarak elde etmişlerdir (Hart vd., 2005). Buna göre hidrodinamik kavitasyon sistemi eklenen durumlarda kollektör kullanımı yüksek derecede azalmaktadır. Amerika'da ki Coalberg Seam Coal firması, kavitasyon tüpleri kullanarak flotasyon kolonunda zenginleştirme işlemi uygulamış ve %10-30 daha verimli bir ayırma elde edilmiştir. Kollektör miktarının 1/2 ya da 1/3'ü kullanılarak ayırma yapılmış bu da ayırmayı daha da ekonomik hale getirmiştir. Hidrodinamik kavitasyon sistemlerinin tek problemi endüstriyel olarak yapılmasının zor olmasıdır. Canadian Process Technologies (CPT) kavitasyonu pazarlanabilir ürünlerin çoğu için denemiştir ve 20 mikron altı parçacıklar için ayırma verimlerini çok arttırdığını belirtmişlerdir. Denedikleri cevherler demir, fosfat, flor, feldspat, mika, molibdenit ve niyobyum olup hepsinde iyi sonuçlar elde etmişlerdir. CPT'nin deneyleri sonucunda kavitasyon sistemlerinin hem iri hem de ince tanelerin flotasyonunda kullanıldığında kollektör kullanımını azalttığı ve yüzen tanelerin sayısını arttırdığı belirlenmiştir. Bunun sebebi daha küçük boyutlardaki kabarcıkların yüzey alanının geniş olup tane-kabarcık etkileşimini arttırması ve bu sayede kollektöre gerek kalmadan kabarcık ile tanenin yapışabilmesidir (Zhou vd., 2009).

4. SONUÇLAR

İnce tanelerin flotasyonunda elde edilen verimleri büyük tanelere göre daha düşük ve flotasyonu da daha zor olmaktadır. Bunun sebebi mineral tanesi ile hava kabarcıklarının etkileşiminin az olması, ve büyük hava kabarcıklarının seçimli olmadan mineralleri yakalamasıdır.

Geliştirilen cihazlar, yeni teknikler ve farklı kimyasalların kullanılması ile ince tanelerin flotasyonu için uygun ortam ve yüksek kazanım verimleri elde edilebilmektedir. Kolon flotasyonu, jet flotasyonu, StackCell flotasyon hücresi, elektroflotasyon, Reflux flotasyon cihazı gibi yeni geliştirilen cihazlar konvansiyonel flotasyon cihazlarına göre daha verimli bir şekilde çalışmaktadır.

Bunların yanısıra flotasyon cihazı yerine flotasyon yönteminin değişmesi ile de verimler artırılabilmektedir. Kimyasalların kullanımdaki değişiklikler belirli

minerallerin flotasyonu için çok daha verimli olmaktadır. Flotasyon için ince tanelerin agregasyonu da hem yüzdürme hem de batırma gibi olaylara çok büyük etkisi olmaktadır. Bu amaçla yağ aglemerasyonu, seçimli flokülasyon ve taşıyıcı flotasyon gibi yöntemler de uygulanabilmektedir.

Ayrıca hava kabarcıklarının boyutlarını değiştirerek ve bu kabarcıkları mikron hatta nano boyuta indirerek flotasyonda tane-kabarcık etkileşimini artırma yolu ile flotasyon verimi iyileştirilmektedir. Hidrodinamik kavitasyon, ultrason flotasyonu gibi teknikler ile bu kabarcıkların boyutları değiştirilmiş ve kabarcıkların boyutları efektif bir şekilde kontrol edilebilmiştir.

KAYNAKLAR

Atak, S., 2017. Flotasyon. İstanbul: İTÜ Vakfı Yayınları.

Hart, G., Morgan, S., Bramall, N., Nicol, S., 2002. Enhanced Coal Flotation Using Picobubbles, CSIRO Report-C9048.

Hart, G., Townsend, P., Morgan, S., Morgan, P., Firth, B., 2005. Enhanced Coal Flotation Using Picobubbles, CSIRO Report-C12049.

Kangal, M.O., Güney, A., 2003. Beneficiation of low grade feldspar by using Free Jet Flotation, Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 23, 129-140.

Leistner, T., Embrechts, M., Leißner, T., Chelgani, C., Osbahr, I., Möckel, R., Peuker, U.A., Rudolph, M., 2016. A study of the reprocessing of fine and ultrafine cassiterite from gravity tailing residues by using various flotation techniques, Minerals Engineering, 96–97, 94-98.

Sarkar, M. S. K. A., Donne, S. W., Evans, G. M., 2011. Utilization of hydrogen in electroflotation of silica.Advanced Powder Technology, 22, 482–492.

Zhou, Z.A., Xu, Z., Finch, J.A., Masliyah, J.H., Chow, R.S., 2009. On the role of cavitation in particle collection in flotation – A critical review. II, Minerals Engineering, 22(5), 419-433.

Zhou, S., Wang, X., Bu, X., Wang, M., An, B., Shao, H., Ni, C., Peng, Y., Xie, G., 2020. A novel flotation technique combining carrier flotation and cavitation bubbles to enhance separation efficiency of ultra-fine particles, Ultrasonics Sonochemistry, 64, 1-8.

Zhu. R, Gu, G., Chen, Z., Wang, Y., Song, S., 2019, A New Collector for Effectively Increasing Recovery in Copper Oxide Ore-Staged Flotation, Minerals, 9, 595.

Url-1 www.eriezflotation.com

Url-2https://im-mining.com/2020/09/16/flsmidths-flotation-reflux-revolution/

Otojen/Yarı Otojen Değirmen Dizaynında Uygulanan SAG Öğünebilirlik İndeksi Testi

SAG Grindability Index Test Applied in Autogenous / Semi Autogenous Mill Design

İ.H. Aksu, F. Boylu, Y. E. Pural
İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Madencilik faaliyetleri için harcanan enerji sarfiyatındaki en büyük pay boyut küçültme işlemlerine aittir. İnce boyutta boyut küçültme yapan öğütücülerden otojen/yarı otojen (AG/SAG) değirmenler; kırma, öğütme ve yıkamanın bir arada yapıldığı, boyut küçültme oranı en yüksek olan ekipmanlardır. Bu değirmen türünün etkin bir şekilde kullanımı için birtakım dizayn testleri yapılmalıdır. İyi bir AG/SAG değirmen dizaynı için en önemli parametre cevher sertliğidir. Alınan örnekte en sert cevherin bulunmaması sonucunda, yapılacak testte gerçek sonuçlar alınamayacaktır. Bundan dolayı tasarım da başarısız olacaktır.

Bu tez çalışması kapsamında, AG/SAG değirmen dizaynında sıklıkla kullanılan ve nispeten uygulaması daha kolay olan SAG Öğünebilirlik İndeksi Testi (SGI) prosedürü, test sonuçlarının değerlendirilmesi ve boy ve çap oranlarının belirlendiği değirmen dizaynı hesaplamaları, diğer alternatif testler ile uyumluluğu üzerine araştırma ve değerlendirmeler yapılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Öğütme, SAG mill dizaynı, SGI.

ABSTRACT The largest share in energy consumption for mining activities belongs to size reduction processes. AG/SAG mills, which are among the grinders that make fine size reduction; They are the equipment with the highest size reduction ratio, where crushing, grinding and washing are done together. For the effective use of this type of mill, some design tests must be carried out. The most important parameter for a good AG/SAG mill design is ore hardness. As a result of the absence of the hardest ore in the sample taken, real results cannot be obtained in the test to be performed. Therefore, the design will also fail.

Within the scope of this thesis, research and evaluations were made on the SAG Gritability Index Test (SGI) procedure, which is frequently used in AG/SAG mill design and is relatively easy to apply, the evaluation of the test results and the mill design calculations in which the length and diameter ratios are determined, and its compatibility with other alternative tests.
Keywords: Grinding, SAG mill design, SGI.

1 AG/SAG DEĞİRMENLER

1.1 AG/SAG Değirmenlerin Özellikleri

Boyut küçültme oranı kırıcılara kıyasla çok daha yüksek, ama kapasiteleri kırıcılara göre düşük olan bu değirmenlerin çapları, uzunluklarından daha büyüktür. Tasarımda genellikle 3:1 oran tercih edilir. Optimum besleme boyutu 150-300 mm aralığındadır.

Otojen değirmenler öğütme ortamı olarak öğütülecek cevherin iri parçaları kullanır. Beslenecek cevherin sertliği öyle bir değerde olmalı ki iri parçalar bir öğütücü ortam gibi ortamdaki ince taneleri daha ince boyuta öğütebilecek sertlikte olmalıdır. Aynı zamanda da kendisi de o öğütme işlemleri boyunca uygun zamanda aşınarak öğünmelidir. Bu yüzden otojen öğütme her cevher türünde uygulanamaz. Eğer öğütülmek istenen cevher bünyesinde yeterince iri parçalar bulunmazsa SAG değirmene hacimce %5-15 oranında çelik bilya ilavesi yapılabilir. Bunun sonucunda da öğütme yarı otojen hale gelir.

Genelde yüksek tonajlı altın, bakır, platin, gümüş, kurşun, çinko ve nikel üretiminin yapıldığı cevher hazırlama tesislerinde SAG değirmenler tercih edilmektedir.

1.2 SAG Mill Tasarımı İçin Uygulanan Bazı Testler

1.2.1 Drop Weight (Ağırlık Düşürme) Testi

Ağırlık düşürme testi cevher numunelerinin kırılma davranışının test edilmesi, daha sonra tesis ve proses tasarımı ve prosesteki optimizasyonlar için kullanılan cevher kütlesi hakkında bilgiler sağlar. Testinin temel prensibi, tane üzerine enerji uygulanması ve buna karşılık kırılan ürünün boyut dağılımının ölçülmesidir. Test sonucunda elde edilen cevher numunesine özgü parametreler ile o numunenin SAG mill'de öğünebilmesi için gereken spesifik enerji elde edilir.

$$E = (h - h_f)x\frac{(0,0272 \times M_d)}{(\bar{m})}$$

Burada E kırma enerjisini, h ağırlığın düşme yüksekliğini, h_f düşme sonrası ağırlık ile zemin arasındaki mesafeyi, $\bar{m}$ numunedeki tanelerin ortalama kütlesini ve M_d ise düşen ağırlığın kütlesini temsil etmektedir.

1.2.2 SAG Öğünebilirlik İndeksi Testi, SGI

Bu test birincil olarak SAG mill'e beslenen cevher için öğütme verimliliğinin ölçümü ve SAG mill'in güç tüketiminin parametresi olan öğütme süresinin kalibrasyonu için yapılmaktadır.

John Starkey tarafından geliştirilen bu testte, 30,5 cm çapında ve 10,2 cm uzunluğunda olan SAG mill'e hacimce %15 olacak şekilde 3,2 cm çapında bilya şarjı yapılarak, %80'i 12,7 mm boyutu altında olan 2 kg kuru cevher beslemesi ile kuru öğütme yapılmıştır. Beslenen cevher miktarının %80'i 1.7 mm altına inene kadar döngü devam etmiştir. Yani +1,7 mm boyut grubu değirmene geri beslenmiştir.

Testte önemli olan, gereken boyut küçültmeyi sağlamak için geçen süreyi dakika cinsinden ölçmektir. Çünkü bu testte zaman, belirli bir boyut küçültmeyi yakalamak için gerekli olan gücü bize ifade etmek için kullanılır.

$$E_{SAG} = 5,9 * SGI^{0,55} * {T_{80}}^{-0,275} * CFsag$$

1.2.3 SAG Mill'in Boyutlandırılması

Değirmenin hesaplanan spesifik enerjisi sonucu ile değirmene beslenecek tonajın çarpılması sonucunda SAG mill'in gereken öğütmeyi yapabilmesi için çekeceği elektrik gücü bulunur. Ticari olarak bir değirmen seçilebilmesi alınabilmesi için değirmenin boyutlandırılması için çapının ve boyunun bilinmesi gerekir.

$$D^y = P * (D/L) * c$$

Burada D değirmen çapını, L değirmen boyunu, P değirmen gücünü, c ve y ise diğer parametreleri temsil etmektedir.

2. VAKA ÇALIŞMASI

Mevcut sağlık tedbirlerinin uygulanması sebebiyle laboratuvarlar kullanılamamış, bundan dolayı da vaka çalışmasına gidilmiş olan bu çalışmada, belli bölgelerden alınmış cevher numuneleri üzerinde uygulanan testler sonucunda Alex Doll tarafından hazırlanmış olan veri tabanından yararlanılmıştır. Bu verilere göre 136 adet numune üzerine SAG Öğünebilirlik indeksi testi (SGI), ağırlık düşürme testi (DWT) ve Bond iş indeksi testi (Wi) yapılmıştır. Alınan bu verilere göre yapılan vaka çalışmasında saatte 300 ton besleme yapılması halinde SAG mill'in çekeceği güç enerjileri her bir yöntem için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

2.1 Hesaplama Parametreleri

Besleme boyutu (F_{80}) 150.000 mikron, transfer boyutu (T_{80}) 1.200 mikron, CFsag 1, boy/çap oranı (D/L) 2, c: 0,25, y: 180-1800 kWh/t'luk SAG miller için 3,7 ve 2000-4000 kWh/t'luk SAG miller için 3,48 olarak seçilmiştir.

Vaka çalışması için edinilen verilere göre alınan numuneler için uygulanan test sonuçları çizelge 2.1'deki gibidir.

Çizelge 2.1. 136 Numune Üzerinde Yapılan Hesaplama Sonuçları

	S.E.		*T.E.*		*Boyutlar*	
ID	*SGI*	*DWT*	*DWT*	*SGI*	*D*	*L*
1	4,0	2,6	789,3	1200,5	5,6	2,8
2	2,2	1,3	396,6	662,3	4,8	2,4
3	3,9	3,4	1018,2	1181,0	5,6	2,8
4	2,6	2,2	661,6	785,0	5,0	2,5
5	4,0	4,3	1290,5	1204,3	5,6	2,8
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
67	2,6	2,6	784,2	790,5	5,0	2,5
68	1,6	1,3	390,9	485,7	4,4	2,2
69	3,0	2,2	650,4	893,7	5,2	2,6
70	3,7	3,0	903,3	1104,7	5,5	2,8
71	8,9	8,9	2668,8	2657,0	7,9	3,9
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
132	12,4	11,5	3449,2	3712,6	8,7	4,3
133	15,7	14,0	4199,3	4721,3	9,3	4,7
134	14,3	13,1	3935,7	4299,0	9,1	4,5
135	13,1	11,8	3543,3	3931,2	8,8	4,4
136	15,5	13,3	3985,5	4640,1	9,3	4,6

SE: Spesifik enerji, kWh/t.
SGI: SAG öğünebilirlik testi sonucları,
DWT: Drop weight testi sonuçları
T.G: Saatte 300 ton için SAG mill için gereken toplam enerji, kWh/t.
Boyutlar: Değirmenin çap (D) ve boy (L) uzunluğu, m.

Çizelge 2.1'deki spesifik S.E. kolonundan görüldüğü üzere öğünmesi zor olan numuneler için hesaplanan spesifik öğütme enerjisi değeri yüksek, öğünmesi kolay olanlar için ise daha düşük çıkmaktadır.

Aynı şekilde değirmenin taneleri istenilen boyut altına indirebilmek amacıyla, dönme harereketi sırasında taneleri daha yüksekten bırakması gerektiğinden, öğünmesi zor olan numune grubu için daha yüksek çap ve boy uzunlukları sonuçları alınmıştır.

2.2. Yöntemlere Göre Hesaplanan SAG Mill Spesifik Enerjilerinin Kıyaslanması

SGI yöntemi ve DWT yöntemi karşılaştırılması şekil 2.1'de verilmektedir.

Şekil 2.1. Drop Weight Test ve SAG Öğünebilirlik İndeksi Testi Yapılan Numuneler Üzerinde SAG Mill Gücü Hesaplamalarının Kıyaslanması

Yapılan kıyaslamalardaki amaç testlerdeki sonuçların birbiriyle tutarlı olup olmadığının cevabını aramaktır. Grafiklerde bulunan y=m*x formülünde bulunan m değerinin 1'e yakınlığı, kıyaslanan iki yöntem arasında bir korelasyon var olup olmadığının kanıtıdır.

Şekil 2.1. incelendiğinde ise m değerinin 1,0354 olduğu ve DWT ile SGI yöntemleri sonuçlarının arasında bir korelasyon olduğu, bu iki yöntemle de SAG mill spesifik enerjisi hesaplanabileceği, sonuçlarının birbirine yakın olacağı anlaşılmaktadır.

2 SONUÇLAR

Bu test alet, ekipman ve program bağımlıdır ve testteki ilk amaç bütün verileri ortaya koyarak, değişken sertlikteki numune grupları üzerinde SAG mill için doğru kWh/t değerini elde ederek, eğer bu çalışma endüstriyel açıdan kurulmuş bir tesis için yapılacaksa da amaçlandığı gibi çalışan bir SAG mill dizaynı yapmaktır.

SAG mill'lerinin spesifik enerjisini doğru bir şekilde tahmin etmenin başında, test için kullanılacak olan numunenin gerçek anlamda o cevherin temsil edecek nitelikte alınmasıdır. Çünkü alınan örnekte en sert cevherin bulunmaması sonucunda, yapılacak testte gerçek sonuçlar alınamayacaktır. Bundan dolayı tasarım da başarısız olacaktır. Bu yüzden testi yapan mühendisin uygun

numune alması testin başarısını etkiler. Cevherin sertlik derecesinin değişmesinden dolayı alınmış olan numune, temsil niteliğinin dışına çıkmaktadır. Bu nedenle testin sonucuna göre yapılacak tasarımda herhangi bir problemin yaşanmaması adına, uygulanan testte kullanılan eleğin altına %80'lik diliminin geçtiği tane boyutu ile en sert cevhere yakın bir sertlikte çalışılmalıdır.

Testin başarısını teyit etmek amacıyla uygulanabilecek diğer testleri de aynı numune üzerinde uygulayıp sonuçları irdelemek, gerekli iyileştirmeleri yapmak adına güvenli bir yoldur. Çalışmalar sırasında da test yöntemi açısından varsayımlarda bulunmalı ve çalışan tesislere veya mevcut veri tabanına göre kalibre edilmiş parametrelere sahip modeller tercih edilmelidir.

Öğütme-değirmen testinin Bond testleriyle birlikte kullanılması, söz konusu numunenin kırılma durumu anlamak amacıyla boyuta göre kırılma oranı eğilimi elde edilir ve varsa anormallikler burada ayırt edilebilir.

Değirmen tasarımındaki hataların çoğu yetersiz veri, temsili numune eksikliği, gözden kaçırılan cevher türleri veya kullanılan test modelinin yanlış anlaşılmasıyla testlerin sonucunda yapılacak yanlış analiz, yorumlama ve kıyaslamalar sonucunda da başarısız bir testin ortaya çıkması isabet olacaktır. Bunun gibi kusurlu mühendisliklerin endüstri genelinde birçok örneği vardır. Eğer tasarımı yapacak mühendislerin güvendikleri ve tecrübeli oldukları bir yöntem varsa ilk defa üzerinde çalışacağı yönteme kıyasla daha güvenli olacaktır. Ama bu durum teknolojik gelişmelere, mevcut yöntemlerde yapılacak olan geliştirmelere kapalı olmak anlamına gelmemelidir. Bir mühendis her zaman işinin ehli olmak adına kendini geliştirmelidir.

Mevcut yöntemlerin hiçbiri yürütülen test çalışmaları açısından tipik olarak SAG mill'e beslenen boyut dağılımının tam aralığını kapsayamadığından ve test çalışmalarında tüm kırılma fonksiyonları yeniden üretilemediğinden, her yöntemin kendi içinde sınırlamaları olmalıdır ve bu yöntemlerin, modellerin ve veri tabanının zamanla değişen ve gelişen teknolojiye bağlı olarak iyileştirilmesi, optimize edilmesi veya güncellenmesi gerekir. Çünkü her ilerleme testin başarı yüzdesini artırmakta ve SAG mill güç tüketiminin azaltılmasında etkili olabilmektedir.

TEŞEKKÜR

Başta bölüm başkanımız Prof. Dr. Gülay Bulut'a, tezimle olan çalışma sürecim boyunca her türlü desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Feridun Boylu'ya, Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Özer'e ve pek tabi Araş. Gör. Yusuf Enes Pural'a saygı ve şükranlarımı sunarım. Aynı zamanda maddi ve manevi açıdan hep arkamda duran canım ailem ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürler.

REFERANSLAR

Amelunxen, P., Berrios, P. & Rodriguez, E.; The SAG grindability index test, Minerals Engineering 55 (2014) Pg 42-51.

Becerra, M. & Amelunxen, P.; A comparative analysis of grinding circuit design methodologies, Procemin 2012, Santiago, Chile.

Doll, A. Database of Public Grindability Testwork. www.sagmilling.com/articles

Ersel Ağır Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş., 2020 SAG Mill Kataloğu. http://www.ersel.com/sayfalar/urun/sag.html

Güney, A. Cevher Hazırlama Mühendisliği, Tesis Tasarımı Dersi – Öğütme Tesisleri Tasarımı Ders Notu

METSO, t.y. https://www.mogroup.com/products-and-services/plants-and-capital-equipment/crushers/impact-crushers/

METSO, t.y. https://www.mogroup.com/portfolio/metso-sag-mills/

MinnovEX. SPI Profile Database

Mining Mill Operator Training. AMIT 135: Lesson 6 Grinding Circuit. https://millops.community.uaf.edu/amit-135/amit-135-lesson-6/

Mining Mill Operator Training, t.y. Diagram of cost breakdown by mill type. https://millops.community.uaf.edu/amit-135/amit-135-lesson-6/

Pural Y. E., 2021, kişisel görüşme.

Starkey & Associates Inc. SAG Design Testing. http://www.sagdesign.com/products-and-services/sagdesign-test

Starkey, J., Dobby, G. and Kosick, G., "A New Tool For SAG Hardness Testing", Proc. Canadian Mineral Processor's Conference, Ottawa, 1994

Starkey vd., 2006. SAG Design Testing – What it Is And Why It Works. s.1-8.

Wills B.A., 1988. Mineral processing technology, Oxford.

Flotasyonda Sinerjik Etkiler
Synergistic Effects in Flotation

S. Akın, A.A. Sirkeci
İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği, İstanbul

ÖZET Bu çalışmada flotasyon reaktiflerinin sinerjik etkileri hakkında yapılan çalışmalar incelenmiştir. Sülfür minerallerinin flotasyonunda anyonik türdeki toplayıcı karışımları kullanılmaktadır ve bu toplayıcılar arasındaki sinerjik etkiler farklı selektivitedeki toplayıcıların mineral üzerindeki farklı enerji bölgelerine adsorpsiyonu ve ksantatların dimerler oluşturarak diğer toplayıcının kuyruk kısımlarına adsorpsiyonu sayesindedir. Oksit minerallerinde ve ağır metallerin oksitlenmiş minerallerinde anyonik/iyonik olmayan, anyonik/anyonik ve anyonik/katyonik toplayıcı karışımları kullanılmaktadır ve bu toplayıcılar arasındaki mekanizmalar ise kuyruk-kuyruk etkileşimleri ve adsorpsiyon katmanındaki elektrostatik kuvvetlerin farklı yük işaretindeki toplayıcılar tarafından azaltılmasıyla daha düzgün bir adsorpsiyon katmanının oluşmasıdır. Bu mekanizmalar yarı çözünebilir tuzların flotasyonunda kullanılan toplayıcı karışımları için de geçerlidir. Pirit, sfalerit ve galen minerallerinin bastırılmasında CaO/NaHA, CaCl2/NaHA, CaO/y-PGA, ZnSO4/SDD, SPH/SCT, CMC/ KMnO4 karışımlarının kullanılması sinerjik etkiler göstermektedir. Köpürtücüler karışım halinde kullanıldığında daha stabil köpüklerin oluşması ve gang minerallerinin sürüklenmesini daha düşük olması sebebiyle flotasyon performanslarını arttırmışlardır.

ABSTRACT In this study, studies on the synergistic effects of flotation reagents were examined. Anionic type collector mixtures are used in the flotation of sulfur minerals, and the synergistic effects between these collectors are due to the adsorption of collectors of different selectivity to different energy sites on the mineral and the adsorption of xanthates to the tail parts of the other collector by forming dimers. Anionic/non-ionic, anionic/anionic and anionic/cationic collector mixtures are used in oxide minerals and oxidized minerals of heavy metals, and the mechanisms between these collectors are tail-tail interactions and the formation of a more uniform adsorption layer by reducing the electrostatic forces in the adsorption layer by collectors of different charge sign. These mechanisms are also valid for collector mixtures used in the flotation of semi-soluble salts. The use of CaO/NaHA, CaCl2/NaHA, CaO/y-PGA, ZnSO4/SDD, SPH/SCT, CMC/KMnO4 mixtures in suppressing pyrite, sphalerite and galena minerals show synergistic effects. When frothers are used as a mixture, they increase the flotation performance due to the formation of more stable foams and lower entrainment of gangue minerals.
Keywords: Collectors, Frothers, Depressants

1 GİRİŞ

Bu çalışma flotasyon reaktifleri arasındaki sinerjik etkileri incelemek amacıyla eylül 2020 ve ağustos 2021 tarihleri arasında İstanbul Teknik Üniversitesi'nde yapılmıştır.

Reaktifler flotasyon işleminin en önemli parçasıdır. Flotasyon proseslerinin gelişiminin erken aşamalarında büyük ilerlemeler her zaman daha iyi flotasyon reaktifleri sayesindeydi. Flotasyon prosesi oluşturulurken, en efektif ayırma ve konsantre sonuçları için reaktif seçimlerinde çok fazla zaman ve enerji harcanır. Günümüzde reaktifler toplayıcılar, köpürtücüler, kontrol reaktifleri ve bastırıcılar olarak dörde ayrılır. Bu çalışmada reaktifler bu başlıklar altında incelenmiştir.

2 FLOTASYON REAKTİFLERİ

2.1 Toplayıcılar

Toplayıcılar, başlıca amacı flotasyon sırasında selektif olarak belirli bir mineralin yüzeyinde hidrofobik bir katman oluşturup, hidrofobik tanelerin hava baloncuklarına yapışması için gerekli şartları oluşturmak ve böylece bu mineralin zenginleştirilmesini sağlamak olan kimyasal organik bileşiklerdir.

2.2 Köpürtücüler

Köpürtücüler hava-su arayüzünde hidrofilik kısım su fazında, hidrofobik kısım ise hava fazında olacak şekilde dizilerek hava kabarcığının etrafında bir zar oluştururlar. Bu zar hava kabarcıklarının birbiriyle çarpışmasını ve çökmesini engeller.

Köpürtücüler 3 ana gruba ayrılabilir. Bunlar alkol tipi (MIBC, vb.), parafinler (Trietoksibütan (TEB)), poliglikol tipi (Dowfroth, Aerofroth).

2.3 Kontrol Reaktifleri

Kontrol reaktifleri minerallerin flotasyon özellikleri bakımından birbirinden keskin farklılıklar göstermediği durumlarda, bu farklılıkların elde edilmesi için kullanılır. Kontrol reaktifleri; pH düzenleyiciler, bastırıcılar ve canlandırıcılar olarak üç ana grupta sınıflandırılmaktadır

3 SİNERJİK ETKİLER

3.1 Toplayıcılar Arasındaki Sinerjik Etkiler

Farklı türde toplayıcı karışımları (anyonik/anyonik olmayan, anyonik/katyonik, anyonik/anyonik) uzun zamandır tesislerde kullanımaktadır. Katyonik ve anyonik toplayıcı karışımları genellikle feldispat kuvars ayırmasında, anyonik ve anyonik olmayan toplayıcı karışımları genellikle oksit mineralleri flotasyonunda anyonik/anyonik karışımlar ise genllikle sülfür minerallerinin flotasyonunda kullanılmaktadır. Toplayıcı karışımları kullanımının faydaları olarak flotasyon hızının artması, iri tane veriminin artması, gerekli toplayıcı miktarının azalması sayılabilir.

3.1.1 Sülfür Minerallerinin Flotasyonunda Toplayıcıların Sinerjik Etkileri

Tiyol tipi toplayıcı karışımları sülfür minerallerinin flotasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır (McFadzean ve diğ., 2013). Kullanılan karışımlarda ksantatlar ana toplayıcıdır fakat selektiviteleri düşüktür, ksantatlara kıyasla selektiviteleri daha yüksek olan ditiyokarbamatlar ve ditiyofosfatlar ksantatlarla beraber kullanılır.

SIPX:DTPI (50:50) karışımının kalkopirit minerali üzerindeki adsorpsiyonunun toplayıcıların tek kullanılmasına göre daha fazla olduğu, SEX:SEDTP (10:90) karışımının galen verimini toplayıcıların tek kullanılmasına göre %3.2 yükselttiği, SIBX:SEDTP (75:25) karışımının pirit verimini toplayıcıların tek kullanılmasına göre arttırdığı, SEX:DTC (90:10, 70:10) karışımlarının kalkopirit veriminde ve flotasyon hızında toplayıcıların tek kullanılmasına göre artışa sebep olduğu,) SIBX:BBT (1:3) karışımının kalkopirit, kalkosit ve bornit içeren cevherin flotasyonunda toplayıcıların tek kullanılmasına göre Cu veriminde ve tenöründe artışa sebep olduğu görülmüştür.

3.1.2 Oksit Minerallerinin ve Ağır Metallerin Oksitlenmiş Minerallerininin Flotasyonunda Toplayıcıların Sinerjik Etkileri

Oksit mineralleri ve ağır metallerin oksitlenmiş mineralleri hakkında yapılan araştırmaları incelediğinde anyonik/iyonik olmayan, anyonik/anyonik ve anyonik/katyonik toplayıcı karışımları kullanıldığı görülmektedir.

SPA:Oktanol (50:50) karışımının rutil flotasyonunda kullanılan toplayıcı miktarında azalmaya ve flotasyon veriminde artışa sebep olduğu, NaOL:BHA (4:1) karışımının ilmenit flotasyonunda TiO_2 verim ve tenöründe artışa sebep olduğu, NaOL:DAA (10:1) karışımının ilmenit flotasyonunda TiO_2 verim ve tenöründe artışa sebep olduğu, NaOL:SPA (3:1) karışımının ilmenite flotasyonunda TiO_2 verim ve tenöründe artışa ve reaktif miktarında azalmaya sebep olduğu, NaOL:CTAB (1:2) karışımının manyetit flotasyonunda Fe veriminde ve tenöründe artışa sebep olduğu, KAX:DDA (4:1) karışımının simitsonit flotasyonunda flotasyon veriminin artmasına sebep olduğu,

SBX:BHA (3:1) karışımının malakit flotasyonunda flotasyon veriminin artmasına sebep olduğu görülmüştür.

3.1.3 Yarı Çözünebilir Tuzların Flotasyonunda Toplayıcıların Sinerjik Etkileri

Şelit ve kalsit ayırmasında DDA/NaOL karışımın 2:1 molar oranında kullanılmasının şelit verimi ve tenöründen artışa sebep olduğu, toplu halde bulunan Ca minerallerinin (kalsit, frankolit, flüorit, jips) ayrılmasında anyonik sodyum oleat, alkil hidroksamat, D2EHPA, sülfosüksinamat ve iyonik olmayan izo-tridekanol, oktilfenol etoksilat toplayıcılarının çeşitli karışımlarının, toplayıcıların tek kullanılmasına göre daha başarılı olduğu görülmüştür.

3.2 Bastırıcılar Arasındaki Sinerjik Etkiler

Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre pirit bastırılmasında CaO/NaHa, CaCl2/NaHA ve CaO/y-PGA karışımları, sfalerit bastırılmasında ZnSO4/SDD ve SPH/SCT karışımları, galen bastırılmasında CMC/ KMnO4 karışımlarının kullanılması, bu reaktiflerin tek başlarına kullanılmasına göre daha başarılı olmuşlardır.

3.3 Köpürtücüler Arasındaki Sinerjik Etkiler

Köpürtücüler arasındaki sinerjik etkiler için alkol tipi köpürtücüler (pentanol, hexanol, MIBC) ve polipropilen glikol tipi köpürtücülerin (PPG192, PPG425, PPG725) karışımları incelenmiştir. PPG425 ve PPG725'in MIBC ile karşımları kullanıldığında daha stabil köpüklerin oluştuğu ve gang minerallerinin sürüklenmesini daha düşük olduğu görülmüştür.

4 SONUÇLAR

Sülfür minerallerini flotasyonunda kullanılan toplayıcı karışımları anyonik/anyonik karışımlardır. Ksantatlar ana toplayıcı olarak kullanılırken ditiyokarbamat ve ditiyofosfat tipi toplayıcılar ksantatlarla beraber kullanılır. Bunu sebebi daha az selektif olan ksantatların ve daha selektif olan diğer toplayıcıların mineral yüzeyindeki farklı enerji bölgelerine adsorbe olabilmesi ve böylece daha iyi bir yüzey kaplanmasına sebep olmasıdır. Ayrıca ksantatlar hava ve sülfür mineralleri varlığında ditiyolar oluşturarak, $(Ksantat)_2$ şeklinde daha önce adsorbe olmuş toplayıcıların hidrokarbon zincirlerine adsorbe olarak daha hidrofobik bir yapı oluşturabilir.

Oksit mineralleri ve ağır metallerin oksitlenmiş minerallerinin flotasyonunda kullanılan toplayıcı karışımlarında ortaya çıkan sinerjik etkilere sebep olan mekanizmalar: toplayıcılar arasındaki kuyruk-kuyruk etkileşimleri ve zıt yüklü anyonik/katyonik toplayıcıların aynı yüklü toplayıcılar arasındaki elektrostatik itmeyi azaltarak daha düzgün bir adsorpsiyon tabakası oluşturmasıdır.

Köpürtücü karışımlarının daha stabil köpükler oluşturmasının sebebi daha küçük ve daha az hidrofobik alkol türü köpürtücülerin daha büyük ve daha hidrofobik poliglikol moleküllerinin arasına girerek daha sıkı bir paketlenme gerçekleşmesidir. Gang minerallerinin sürüklenmesinin azalmasının sebebi ise köpüğün küçük, hidrofilik taneleri tutma kapasitesinin azalmasından dolayıdır.

TEŞEKKÜR

Öncelikle Cevher Hazırlama Mühendisliği bölüm başkanı Prof. Dr. Gülay BULUT'a teşekkür ederim. Tezim boyunca bana rehberlik eden Prof. Dr. Ayhan Ali SİRKECİ'ye teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Akgün, A., 2002. "Fluorit Cevherinden Değerli Elementlerin Kazanılması", Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.

Aşık, S. (2018). "Farklı Toplayıcı Türleri Ve Karışımlarının Bir Sülfürlü Cevherin Flotasyon Performansına Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı.

Bagci, E., Ekmekci, Z., & Bradshaw, D. (2007). Adsorption behaviour of xanthate and dithiophosphinate from their mixtures on chalcopyrite. Minerals Engineering, 20(10), 1047-1053.

Bentli, İ. (2018) Flotasyon ve Flotasyon Makineleri. Journal of Science and Technology of Dumlupınar University, (002), 97-110.

Bulatovic, S. M. (2007). Handbook of flotation reagents: chemistry, theory and practice: Volume 1: flotation of sulfide ores. Elsevier.

Bulut, G., & Göktepe, F. (2012). Madencilik ve cevher hazırlama işlemlerinde kullanılan

kimyasallar. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25(1), 37-56.
Drzymala, J. (2007). Mineral processing. Foundations of theory and practice of minerallurgy, 381-382.
Filippova, I. V., Filippov, L. O., Duverger, A., & Severov, V. V. (2014). Synergetic effect of a mixture of anionic and nonionic reagents: Ca mineral contrast separation by flotation at neutral pH. Minerals Engineering, 66, 135-144.
Hacıfazlıoğlu, H., Yakup, E. K. E. R., & Korkmaz, A. V. Soya Yağı ile Kömür Yıkama Tesis Atıklarından Temiz Yakıt Üretimi. Academic Platform Journal of Engineering and Science, 7(2), 200-204.
Hosseini, S. H., & Forssberg, E. (2007). Physicochemical studies of smithsonite flotation using mixed anionic/cationic collector. Minerals Engineering, 20(6), 621-624.
Khoso, S. A., Gao, Z., Tian, M., Hu, Y., & Sun, W. (2020). The synergistic depression phenomenon of an organic and inorganic reagent on FeS2 in CuS flotation scheme. Journal of Molecular Liquids, 299, 112198.
Liu, Q., & Peng, Y. (1999). The development of a composite collector for the flotation of rutile. Minerals Engineering, 12(12), 1419-1430.
Li, J., Song, K., Liu, D., Zhang, X., Lan, Z., Sun, Y., & Wen, S. (2017). Hydrolyzation and adsorption behaviors of SPH and SCT used as combined depressants in the selective flotation of galena from sphalerite. Journal of Molecular Liquids, 231, 485-490.
Liu, J., Wang, Y., Luo, D., & Zeng, Y. (2018). Use of ZnSO4 and SDD mixture as sphalerite depressant in copper flotation. Minerals Engineering, 121, 31-38.
Li, Y., Quanjun, L., Shimei, L., Chao, S., Yang, G., & Jianwen, S. (2019). The synergetic depression effect of KMnO4 and CMC on the depression of galena flotation. Chemical Engineering Communications, 206(5), 581-591.
Lotter, N. O., & Bradshaw, D. J. (2010). The formulation and use of mixed collectors in sulphide flotation. Minerals engineering, 23(11-13), 945-951.
McFadzean, B., Mhlanga, S. S., & O'Connor, C. T. (2013). The effect of thiol collector mixtures on the flotation of pyrite and galena. Minerals Engineering, 50, 121-129.
McFadzean, B., Marozva, T., & Wiese, J. (2016). Flotation frother mixtures: Decoupling the sub-processes of froth stability, froth recovery and entrainment. Minerals Engineering, 85, 72-79.
Nyambayo, C. K. (2014). The use of mixed thiol collectors in the flotation of Nkomati sulphide ore (Master's thesis, University of Cape Town).
Özdemir, E. (2014). "Oksitlenmiş Kompleks Bakır-Kurşun-Çinko Cevherlerin Flotasyonu.", Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı.
Taguta, J. (2015). The thermochemical behaviour of thiol collectors and collector mixtures with sulphide minerals (Master's thesis, University of Cape Town).
Taguta, J., O'Connor, C. T., & McFadzean, B. (2018). Investigating the interaction of thiol collectors and collector mixtures with sulphide minerals using thermochemistry and microflotation. Minerals Engineering, 119, 99-104.
Tian, J., Xu, L., Yang, Y., Liu, J., Zeng, X., & Deng, W. (2017). Selective flotation separation of ilmenite from titanaugite using mixed anionic/cationic collectors. International Journal of Mineral Processing, 166, 102-107.
Wang, J., Zhao, H. B., Qın, W. Q., Qıu, G. Z., Hu, Y. H., Jıang, T., ... & Wang, Y. (2013). Review on Mineral Processing Technology of Rutile in China. Sci. Technol. Mag. Online.
Wang, J., Gao, Z., Gao, Y., Hu, Y., & Sun, W. (2016). Flotation separation of scheelite from calcite using mixed cationic/anionic collectors. Minerals Engineering, 98, 261-263.
Wang, Z., Xu, L., Wang, J., Wang, L., & Xiao, J. (2017). A comparison study of adsorption of benzohydroxamic acid and amyl xanthate on smithsonite with dodecylamine as co-collector. Applied Surface Science, 426, 1141-1147.
Wei, Q., Dong, L., Jiao, F., Qin, W., Pan, Z., & Cui, Y. (2021). The synergistic depression of lime and sodium humate on the flotation separation of sphalerite from pyrite. Minerals Engineering, 163, 106779.
Yang, Y., Xu, L., Liu, Y., & Han, Y. (2016). Flotation separation of ilmenite from titanaugite using mixed collectors. Separation Science and Technology, 51(11), 1840-1846.
Yang, Z., Teng, Q., Liu, J., Yang, W., Hu, D., & Liu, S. (2019). Use of NaOL and CTAB mixture as collector in selective flotation separation of enstatite and magnetite. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 570, 481-486.
Yang, S., Xu, Y., Liu, C., Soraya, D. A., Li, C., & Li, H. (2021). Investigations on the synergistic effect of combined NaOl/SPA collector in ilmenite flotation. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 127267.
Zhang, C., Zhou, Q., An, B., Yue, T., Chen, S., Liu, M., ... & Sun, W. (2021). Flotation Behavior and Synergistic Mechanism of Benzohydroxamic Acid and Sodium Butyl-Xanthate as Combined Collectors for Malachite Beneficiation. Minerals, 11(1), 59.

Recovery Of Valuable Metals From Waste Batteries
Atık Pil ve Bataryalardan Değerli Metallerin Kazanımı

V.B. Genceli, F. Burat
İstanbul Technical University, Mineral Processing Engineering Department, İstanbul

ÖZET Gelişmekte olan teknolojiler ve üretim nedeniyle yeryüzünde bulunan doğal kaynakların rezervleri azalmaktadır. Bu nedenle hammadde yerine geçebilecek ikincil kaynakları arama yolunda çalışmalar yapılmaktadır. Gelişen teknoloji ile en fazla artış elektronik araçların kullanımında görülmektedir. Bu artış pil kullanımınıda beraberinde getirmektedir. Artan bu elektronik araçlar ve pillerin kullanımı sonucu oldukça büyük miktarda artık pil oluşmaktadır. Piller çalışma koşulları açısından birincil ve ikincil olarak sınıflandırılmaktadır. Birincil pillerin yeniden kullanılma özelliğinin bulunmaması nedeniyle artık miktarının her geçen gün artmasına yönelik bir potansiyel oluşmaktadır. Artık piller yeryüzünde kapladıkları hacmin yanında, içerdikleri ağır metal ve diğer değerli metaller ile çevreye zararlı etkileri de olmaktadır. Bu zararın engellenmesi ve azalan kaynaklarımıza alternatif kullanılabilecek ikincil kaynak olarak artık pillerin kullanımı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu düşünceden yola çıkılarak cevher hazırlama alanında kullanılan metotlar ile artık batarya ve pillerden değerli metallerin kazanımı mümkün olabilmektedir. Bu çalışma piller hakkında genel bilgiler, artık piller için oluşturulan yasal yönetmelikler, artık pil ve bataryalar üzerine uygulanan mekanik prosesler ve kimyasal prosesleri içermektedir.

Anahtar kelimeler: Pil, Geri kazanım, Mekanik Prosesler, Kimyasal Prosesler

ABSTRACT Due to developing technologies and production, the reserves of natural resources started to decrease. Nowadays, people are working on searching for new sources that can be replaced as raw material. The use of electronic vehicles shows the greatest increase with this development. This increase brings along with the use of batteries in electronic devices. These increasing electronic tools and batteries create a lot of residual batteries. Batteries are divided into primary and secondary in terms of operating conditions. Due to the lack of reuse feature of primary batteries, can be considered as a potential to increase the amount of waste day by day. The heavy metals and precious metals in batteries can have harmful effects on the environment. The use of residual batteries as a secondary source can prevent this damage and replace our diminishing resources. Based on this idea, with the use of mineral processing methods can be used for the recovery of heavy and precious metals from waste batteries and accumulators. In this undergraduate thesis, general information about batteries, legal regulations for residual batteries, physical processes along with, physio-chemical processes, and chemical processes were examined.

Keywords: Battery, E-waste, Recovery, Mechanical Process, Chemical Process.

1 INTRODUCTION

Consumer electronic devices (CEDs) have a short life of use, and a result of developing technological innovations preventing the CEDs catch the progress period. Because of this, a large waste stream of electronic equipment is occurred (Kang & Schoenung, 2005). Many of these waste CEDs powered by verity of different batteries. However, improper disposal of these end of life batteries and electronic equipment's can cause wide environmental problems since they can contain verity of heavy and toxic metals (Jadhav & Hochenh, 2012). Since these CEDs and batteries contains heavy metals as Au, Ag, Ni, Mo, Co, Cu, Zn and Cr. With this new treatment method for the CEDs and batteries that used in considered as pyrometallurgical, hydrometallurgical and bio-metallurgical processes. With a help of separation and mechanical processes these waste batteries can be used as a new ore supplement (Jadhav & Hochenh, 2012).

2 BATTERIES

The rapid generation of waste products has become the number one significant resources of precious metals. Among these new products, electronic waste (e-waste) and scrap materials are more concentrated since they account for over 90% of precious metals in industry. Various treatments have been developed to diminish the impact of hazardous metals on the environment and to preserve the valuable metal (e.g., Cd, Co, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, and Zn) resources. There are six main technological approaches, namely, disassembly and comminution, physical processes, material extraction methods, solvent extraction methods, froth flotation and filtering have been proposed.

The term battery is representing the multiple electrochemical cells connected together. Re-chargeable Lithium-ion Batteries (LiB) has formed with several cell. The electrochemical cell LiB's has four components; cathode, anode, electrolyte and a separator (Viswanathan, 2016).

These cells can be placed as series, then it will deliver higher voltage. Generally, batteries are places with a combination of series and parallel to provide desired voltage level (Zhou, 2017).

2.1 Classification of Batteries

2.1.1 Primary Batteries

Primary Batteries can refer to dry cell and non-rechargeable batteries. The primary batteries, can be known as voltaic batteries. The first primary batteries invented in 1800's by an Italian researcher called Alessandro Volta. The dry cell is known as a modified version of the Leclanche cell or Zinc-Carbon which is introduced by Gassner in 1888. This dry cell battery is the least expensive battery type out of the market. The primary battery can produce 1.5V of energy and generally used in consumer devises like. The first primary cell is invented in 1859 was wet. According to the Viswanathan, the term dry is covers for the batteries non spillable electrolyte properties. The electrolyte of the dry battery is formed as a gel or an absorbent material to prevent spilling (Viswanathan, 2016). These types of batteries are thrown away after ones they have been used. The recharging process cannot be considerable in the primary batteries. According to the UPS Battery Center, these primary cells can be considered as less costing and conventional (Boby, 2014a).

2.1.2 Secondary Batteries

Secondary batteries, charge accumulator, storage battery can be given to the cells or combination cells that have reactions that are reversible. The chemical reaction inside of the cell can be restored by a passing current from an external source. This process refers to charging process. Secondary batteries have many application areas. In 1859 the first secondary battery which is the Lead-acid battery is invented by the inventor Plante. After this invention, in 1919 Edison created the nickel-cadmium and in 1960 silver-zinc battery is invented by Andre (Viswanathan, 2016).

For an ideal battery it has to be low resistance storage, simple, and easy with a strength of construction, durability and low coast (Viswanathan, 2016).

3 RECOVERY APPLICATIONS

Some waste materials can be discharged to the environment by several industries, such as mining, metallurgical, electronic, electroplating, and metal finishing. These industrial wastes can contain heavy metals which are known as Cadmium (Cd), Cobalt (Co), Lithium (Li), Manganese (Mn), Nickel (Ni), and Zinc (Zn) that can cause toxic reactions in the environment when they reached on their hazardous level (Jadhav & Hocheng, 2012). The wide range of toxic heavy-metals mostly belongs to waste batteries that are used in industry.

3.1 Recovery Processes of Batteries

The recovery processes of waste batteries are used to select and separate materials by using mineral processing techniques combined with metallurgical applications. As far as the battery scraps are concerned. Mineral processing applications are generally applied for the pretreatment stage of the recovery. Along with the metallurgical applications selective separation is obtained (Kasper et al., 2015).

3.1.1 Mechanical Processing

The disassembly and comminution process are also known as mechanical processing stage is necessary before recycling precious metals from e-waste. The mechanical pretreatment includes three main steps, dismantling, size reduction and physical separation.

Different components and devices can be selectively separated by manual or automatic dismantling, such as metals, plastics, ceramics, capacitors, batteries, LCDs, and PCBs. This process can remove the hazardous components and increase the concentration of precious metals (Sommerville et al., 2021).

3.1.2 Physical Beneficiation Processes

The physical processing is the beginning of the recovery process. The aim to apply the pre-treatments is to obtain higher purity valuable metals from the waste batteries. In pre-treatment method, plastic casing, separator and pouch material, metal content (steel, Ni, Al, Cu and black mass) can be obtained. Then other feature applications as known as metal refinery processes can be apply to obtain even higher concentrated metal values. The recovered metal content rates are depended on the obtaining processes. However, the rates also dependent on how does the battery is used before and its chemical reactivity. Physical processes are applied to the battery scrap before refining the precious metals. Different techniques like manual or automatic separation can be used to separate the battery parts. This primary process can remove the hazardous metals and increase the efficiency by concentrating the valuable metals from the scrap. After the separation, a size reduction with a hammer mill can used to downsize the waste. Also, to eliminate the dioxins by removing the plastic casing with the physical processes is needed (Ding et al., 2019).

3.1.3 Physicochemical Processes (Froth Flotation Method)

Froth Flotation method can be categorized under physicochemical separation process. Froth flotation method uses the hydrophobicity difference between the two-fine materials. The process separates the hydrophobic fines from the hydrophilic ones by attaching them to the air bubbles. The precious metals that attached to the air bubbles were rise through the cell to a froth layer and exits into a lauder, while leaving the hydrophilic particles in the cell. Since the method is based on the controlling the particles hydrophobicity, kerosene can be added for increase the hydrophobicity rate of the particles (Lei et al., 2018).

3.1.4 Chemical Processes

The second metal recovering processes from the waste batteries are metal extraction

method. The metal extraction method has three different options to choose from. However, only two of them is applied in industry to recover the valuable metal components from the scrap in the battery waste. These metallurgical methods are Pyrometallurgy and Hydrometallurgical treatments. The valuable metals that need to be refined in the battery scrap can be obtained from the pyro-metallurgical process which used thermal operations to achieve a redox reaction to smelt and refined the valuable metals. And also, Hydrometallurgical processes is used to get the metal contents with a leaching process to get valuable materials from the scrap (Sommerville et al., 2020).

CONCLUSION

Electrical and electronic wastes are the main increasing source as a recoverable waste. Since all of the electronic wastes have a battery component as a power source. That's why scientists made many studies and developed new technologies to recycle the waste batteries and accumulators in electronic wastes, to use them as a secondary source and also reduce the harmful effects of heavy metals on the environment.

These technological developments can be classified as physical and chemical processes. As for physical technologies, mechanical processes, applications of mineral processing engineering (sieving, calcification, electrostatic and magnetic separation) and metallurgical applications (pyrometallurgy, hydrometallurgy and bio-metallurgy) or combinations of these processes can recycle the waste batteries and recover the precious metals that remain inside of the waste batteries.

Considering the world-wide reserve restrictions and the amount of waste battery, the area occupied on the earth is increasing day by day. Increasing recycling practices is important for the future, for the world economy, and for the environment. The recovery methods described in the thesis should be evaluated and applied according to the changing economies of the countries and the installed facility capacities

KAYNAKLAR

Beşiktaş Belediyesi, Atık Pil ve Akümülatörler Çevre ve Atık Yönetimi. (2018). Retrieved from Beşiktaş Belediyesi: http://cevre.besiktas.bel.tr/Menu/SubContent/atik-pil-ve-akumulatorler

Boby. (2014a, May 2). What are primary batteries? Retrieved from upsbatterycenter: https://www.upsbatterycenter.com/blog/primary-batteries/

Ding, Y., Zhang, S., Liu, B., Zheng, H., Chang, C.-c., & Ekberg, C. (2019). Recovery of precious metals from electronic waste and spent catalysts: A review. Resources, Conservation & Recycling, 285-298.

Jadhav, U., & Hocheng, H. (2012). A review of recovery of metals from industrial waste. Journal of Achievements In Material And Manufacturing Engineering, 159-167.

Kang, H.-Y., & Schoenung, J. (2005). Electronic waste recycling: A review of U.S. infrastructure and technology options. Resource Conservation & Recycling, 360-400.

Kasper, A. C., Freitas Juchneski, N. C., & Veit, H. M. (2015). Mechanical Processing. In H. M. Veit, & A. M. Bernardes, Electronic Waste Recycling Techniques (p. 166). Springer.

Lei, P., Oldenburg, Z., & Zhan, R. (2018). Recovery of active cathode materials from lithium-ion batteries using froth flotation. Sustainable Materials and Technologies, 1-9.

Sommerville, R., Shaw-Stewart, J., Goodship, V., Rowson, N., & Rawson, K. (2020). A review of physical processes used in the safe recycling of lithium ion batteries. Sustainable Materials and Technologies.

Sommerville, R., Zhu, P., Rajaeifar, M. A., Heidrich, O., Goodship, V., & Kendrick, E. (2021). A qualitative assessment of lithium ion battery recycling processes. Resources, Conservation & Recycling, 2-11.

Viswanathan, B. (2016). Batteries. In B. Viswanathan, Energy Sources Fundamentals of Chemical Conversion Processes and Applications (pp. 263-313). Chennai, India: Elsevier.

Zhou, W. (2017). Hydrometallurgical Treatment of Spent Lithium-Ion Batteries: A study of optimal conditions for the leaching. Gothenburg, Sweden: Chalmers Unıversıty Of Technology.

Seramikte Uygulanan Kalite Testleri, Seramik Hammaddelerindeki Safsızlıkların Yol Açtığı Sorunlar ve Giderilmesi

Testing Quality of Ceramics and Solving the Problems Caused by the Impurities of Ceramic Rawmaterials

B.C. Ünsal
İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Prof. Dr. A.A. Sirkeci (Bitirme Tezi Danışmanı)
İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi, İstanbul

ÖZET Bu bitirme projesi kapsamında seramik hammaddelerinin safsızlıklarından doğan sorunların kalite testleriyle nasıl ortaya konduğu ve seramik hammaddelerindeki safsızlıkların giderilmesi amacıyla yapılan çalışmalar yer almaktadır. Ayrıca seramik üretiminin ana bileşenleri olan; kil mineralleri, feldspat ve kuvarsın içeriğindeki Fe_2O_3 ve TiO_2 safsızlıklarının giderilmesi için günümüzde yapılan flotasyon ve liç teknikleri üzerinde durulmuştur. Seramik endüstrisinde kullanımı içerdiği SO_3 sebebiyle kısıtlı olan alunitli kaolenlerin, kimyasal liç ve kalsinasyon teknikleriyle safsızlıklarından arındırma çalışmalarına bu proje kapsamında yer verilmiştir. Yapılan araştırmada, inorganik asitlerle (hidroflorik asit, hidroklorik asit, sülfirik asit vb.) yapılan liç işlemleri yerine, organik asitlerin (oksalik asit, askorbit asit) kullanımının verimlilik, maliyet ve çevre açısından daha olumlu olduğu saptanmıştır. Seramik hammaddelerindeki safsızlıkların giderilmesinde geliştirilen yöntemlerin endüstriyel boyutlarda kullanılabilirliği ölçülmüştür. Bu projede yapılan araştırmalar ışında, seramik hammaddelerinin safsızlıklarının giderilmesi için kullanılan yöntemlerin çeşitlenmesinin ülke ekonomisi açısından olumlu etkiler uyandıracağı düşünülmektedir.
Anahtar Kelimeler: Seramik, Seramik Hammaddeleri, Kalite Testleri, Safsızlık

ABSTRACT In this graduation project, it is aimed to introduce the use of quality tests in solving problems caused by the impurities of ceramic raw materials. Therefore, a detailed explanation of numerous methods in removing impurities from ceramic raw materials are presented. The flotation and the leaching techniques that are used in removing impurities from the main ceramic raw materials meaning clay minerals, feldspar and quartz Fe_2O_3 ve TiO_2 are explained in detail. It is found that the use of organic acids (oxalic acid and ascorbic acid) instead of inorganic acids (hydrofluoric acid and sulphuric acid) in leaching is more favourable, cost-efficient and environment-friendly. Additionally, the leaching and calcination techniques used in the removal processes of impure raw materials from alunite-kaolinite minerals that restrict its area of usage because of the SO_3 (sulphur dioxide) in its formula are examined. Lastly, the usability of the methods in removing the impurities of ceramic raw materials in the industry is measured. The results suggest that improving and diversifying the methods used in removing the impurities of ceramic raw materials would reinvigorate and strengthen Turkish economy.

Keywords: Ceramic, Ceramic Rawmaterials, Quality Tests, Impurity

1 GİRİŞ

Bu çalışmanın amacı seramik kalite testlerinin sonuçlarına etki eden seramik hammaddelerinin safsızlıklarının giderilme çalışmalarının incelenmesidir. Bu çalışma doğrultusunda seramik kalite testlerinin neler olduğuna ve safsızlıkların giderilmesinde geliştirilen günümüz yöntemlerine yer verilmiştir. Bu yöntemlerin endüstriyel boyutta kullanılabilirliği ve çevreye etkileri yorumlanmıştır. Bu çalışmanın teorik bir çalışma olması sebebiyle laboratuvar deneyleri ve arazi araştırmalarına yer verilmemiştir.

Çalışma kapsamında seramik ve seramik hammaddeleri hakkında genel bilgi, kalite testlerinin incelenmesi ve seramik hammaddelerindeki safsızlıkların giderilmesi konuları incelenmiştir.

2 GENEL BİLGİ

Bu bölümde seramik kavramı, seramiklerin sınıflandırılması ve kullanım alanları, seramik üretimi ve seramik hammaddeleri hakkında bilgi verilmiştir.

2.1 Seramik Kavramı

Bu bölümde seramik kavramı, seramiğin tarihçesi ve seramiğin kimyasal, mekanik ve termal dayanımları incelenmiştir.

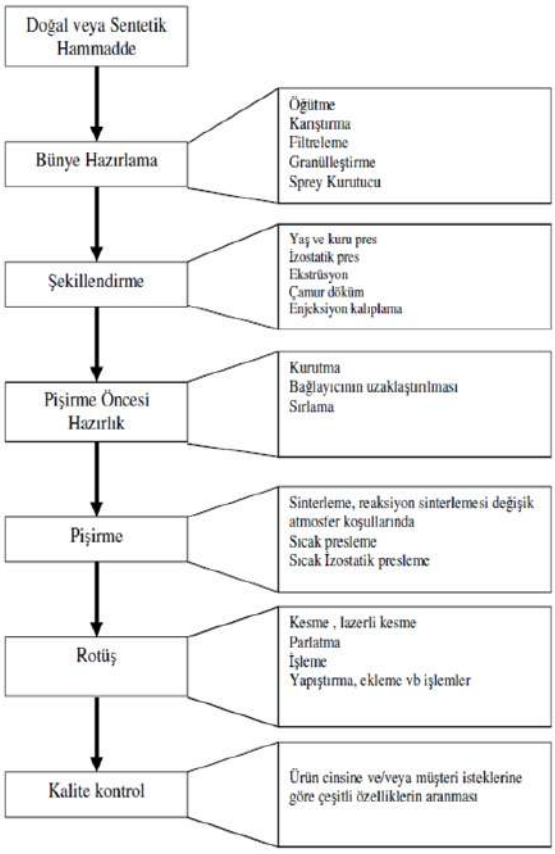
2.2 Seramiklerin Sınıflandırılması ve Kullanım Alanları

Bu bölümde seramikler ileri teknoloji ve geleneksel olarak sınıflandırışmıştır. Seramiklerin hammadde içeriklerinin endüstriyel kullanımındaki rolune yer verilmiştir. Sonrasında seramikler yapılarına göre gruplandırılmıştır.

2.3 Seramik Üretimi

Seramiklerin en belirgin fiziksel özellikleri; yalıtkanlık, sıcaklığa dayanım, sertlik ve gevreklik, hafiflik, basma dayanımı yüksekliği ve çekme dayanımı düşüklüğüdür (Bashimov, 2020). Ülkemizde de özellikle 2015 yılından beri seramik ürünleri ihracatı 2 katına çıkmış ve dünyada lider ülkelerden biri konumuna gelmiştir (Bashimov, 2020).

Bu bölümde seramik süreci basakmaklar halinde Şekil 2.1.'de incelenmiştir.



Şekil 2.1. Seramik Üretim Süreci (Pekdemir, 2019, s. 5)

2.4 Seramik Hammaddeleri

Seramik üretiminde kullanılan hammaddeler çeşitlilik gösterirler ve hammaddelerin yüzdelik olarak büyük bir kısmını kil ve kil grubu mineraller oluşturur (Arıtan, 2004). Seramik hammaddelerinden başlıcaları;

- Killer (Kaolen)
- Feldspatlar
- Kuvarslar olarak sıralanabilir.

Bunların yanında; dolomit, manyezit, talk, boksit, şamot ve mermer hammaddeleri de kullanılmaktadır (Tanışan ve Mete, 1988.akt.Arıtan, 2004, s.5).

3 SERMİĞE UYGULANAN KALİTE TESTLERİ

Bu bölümde kalite ve seramiğe uygulanan kalite testleri incelenmiştir. Kalite her ne kadar mükemmellik ve sıfır hata ile özdeşleştirilen bir kavram olsa dahi; iyileştirme ve hata önleme kavramlarını kullanmak bu anlamda daha doğru olacaktır; çünkü kalite her zaman gelişime açık ve talebe göre şekillenen, esnek bir sürecin ürünüdür (Yeşilbayır, 2007, s.3-4). Seramiğe uygulanan kalite testleri:

- Petrografik testler
  - İnce Kesit Görüntüleri
- Mineralojik testler
  - XRD Analizi
  - DTA
- Kimyasal testler
  - XRF Analizi
- Fiziksel testler
  - Viskozite ve Tiksotropi Testleri
  - Küçülme Testleri
  - Mukavemet Testleri
  - Plastitite ve Yoğrulma Suyu Tayini
  - Su Emme Testi
  - Ates Zaiyatı

4 SERAMIK HAMMADDELERINDE SAFSIZLIKLARIN GIDERILMESI

Bu bölümde seramik hammaddelerinin safsızlıkları ve bu safsızlıkların giderilme yöntemleri incelenmiştir. Konuya ilişkin kil, kaolin, feldspat ve kuvarsın safsızlıkları ve bu safsızlıkların giderilme yöntemleri incelenmiştir. Ayrıca, seramikte kullanım alanı kısıtlı olan alunitli kaolenlerin, endüstriye katılması için geliştirilen yöntemlere değinilmiştir.

4.1 Kil ve Kaolen Safsızlıkları

Bu bölümde kil ve kaolenlerin seramik endüstrisinde gerektirdiği standartlar açıklanmıştır. Analiz safhasında kaolenden beklenen bileşikler şu şekilde sıralanabilir: SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2, CaO, MgO, K_2O ve Na_2O. Bu bileşenlerin miktarları ve fiziksel, kimyasal ve minerolojik özellikleri kaolen sınıflandırmasında önemlidir (Akçıl ve Tuncuk, 2006). Bununla birlikte kaolenlerde bulunan safsızlıkların yol açtığı kalite sorunlarına yer verilmiştir. Safsızlıkların giderilmesin kullanılan kimyasal yöntemlerin detaylarına inilmiştir.

4.2 Feldspat Safsızlıkları

Tüketimin asıl talebini oluşturan bu sektörlerin, feldspattan beklediği en önemli özellik, düşük demir (Fe_2O_3) içeriğidir. Feldspat içeriğinde demirin kaynağı genelde mika mineralleridir. Seramik endüstrisi açısından, feldspat bünyesindeki titan (TiO_2) içeriği de gözardı edilemeyecek bir safsızlıktır ve titan kaynakları rutil, sfen, ilmenit olarak sayılabileceği gibi, nadir olarak da kristal kafesteki yer değişiminin sonucu olarak mika mineralleri olabilmektedir. İçerikleri incelendiğinde mikaların titan oranları muskovit için %0,8 TiO_2, biyotit için %4 TiO_2 gibi yüksek değerlere çıkmaktadır (Bayraktar vd., 2001). Bu bölümde feldspatların safsızlıklarının giderilmesinde kullanılan fiziksel ve kimyasal yöntemler ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

4.3 Kuvars Safsızlıkları

Kuvars cevherlerinin içerdiği en önemli safsızlık olarak demir içeriği gösterilir. Cam, seramik ve refrakter sanayinde kullanılan kuvarsın bünyesinde bulundurduğu demir, ürünlerin renk kalitesinin ve erime noktalarının düşmesi gibi sorunlar yaratır. Cevherin mineralojik özellikleri, safsızlıkların bulunma şekli ve dağılımı, kuvars gibi endüstriyel hammaddelerden demirin uzaklaştırılması için uygun yöntemin belirlenmesinde en önemli unsurlar olarak sıralanabilir (Taxiarchou vd., 1997).

5 SONUÇLAR

Seramik hammaddelerinin giderilmesine yönelik yeni çalışmaların çeşitliliğinin artması, üretimin sürekliliğinin artmasında büyük önem taşımaktadır. Türkiye'de bulanan

seramik hammadde yataklarının düşük kalitede olması, yapılan araştırmaların önemini daha da arttırmaktadır. Seramikte yapılan kalite testlerinin malzemenin dayanım şartlarını zorlaması ve daha dayanıklı seramikler üretmede atılan adımlar, ürünün satılabilirliğini ve katma değerini üst seviyelere çıkarmaktadır. Bu sayede ürünün ihracattaki payı da artacaktır.

Seramik hammaddelerinin zenginleştirilmesinde inorganik asit liçi kullanımının zamanla yerini organic asit ve biyoliç yöntemlerine bırakıyor olması çevre açısından pozitif bir durumdur. Bu tip çalışmalarin verimliliklerinin yüksek olması da zaman içinde endüstriyel boyutlarda kullanımının sinyallerini vermektedir.

TEŞEKKÜR

Tüm tez çalışmam boyunca anlayışlı ve yüreklendirici tutumuyla bana destek olan, deneyim ve birikimlerini bana bonkörce sunarak çalışmamı bilimsel bir temele oturtmamı sağlayan sayın tez danışmanım Prof. Dr. Ayhan Ali Sirkeci'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım sırasında manevi desteğini hiç esirgemeyen çok sevgili annem Sacide Ünsal ve mühendislik mesleğini seçmekteki ilham kaynağım olan babam Prof. Dr. Öner Ünsal'a; bana güvenen, en zor zamanlarda cesaretlendiren ve çalışmalarım sırasında ihtiyaç duyduğum anlarda yardımını esirgemeyen İdil Ekşi'ye içtenlikle teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Akçıl, A., ve Tuncuk, A. (2006). Kaolenlerin safsızlaştırılmasında kimyasal ve biyolojik yöntemlerin incelenmesi. *Kil Bilimi ve Teknolojisi Dergisi*, 1(2), 59-69.

Arıtan, A.E. (2004). *Söğüt Seramik Sanayi A.Ş. Hammadde Ocaklarında Üretim Yöntemi ve Ürün Kalite Standartını Belirlemeye Yönelik Çalışmalar*. (Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi).

Bashimov, G. (2020). Türkiye seramik sektörünün rekabetçilik düzeyinin belirlenmesi. *Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 9(1), 68-83.

Bayraktar, İ., vd. (2001). *Feldispatların Zenginleştirilmesi*. 4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.

Pekdemir, A.D. (2019). *Teknik Seramikler*. https://www.researchgate.net/publication/331993533_TEKNIK_SERAMIKLER/citations adresinden 13 Mayıs 2021 tarihinde edinilmiştir.

Taxiarchaou, M., vd. (1997). Removal of iron from silica sand by leaching with oxalic acid, *Hydrometallurgy*, 46, 215-227.

Yeşilbayır, S. (2007). *Toplam Kalite Yönetimi*. (İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi).

Çöktürme Flotasyonu ile Atık Sulardan Demirin Uzaklaştırılması
Removal of Iron from Waste Waters by Precipitate Flotation

Mehmet Yasin Yılmaz, Fatma Arslan
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fak., Cevher Hazırlama Müh. Böl., İstanbul.

ÖZET Demir, atık sular içerisinde bulunan istenmeyen ağır metallerin en başında gelmekte ve bu suların geri dönüşümü için bir problem oluşturmaktadır. Bu çalışma atık sulardan demirin uzaklaştırılmasında çöktürme flotasyonu yönteminin uygulanabilirliğini, diğer demir uzaklaştırma yöntemleri de incelenerek karşılaştırmalı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır. Laboratuvar çalışması planlanmasına rağmen, Covid-19 pandemi süreci sebebi ile literatür taraması ve karşılaştırma yöntemi ile yapılan bu çalışmada, demir uzaklaştırma yöntemleri ve flotasyon teknikleri incelenmiş, çöktürme flotasyonunun diğer yöntemler arasından öne çıkan tarafları, verimliliği ve uygulanabilirliği tartışılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda çöktürme flotasyonunun atık sulardan demirin uzaklaştırılmasında oldukça efektif bir yöntem olduğu saptanmış, ağır metaller arasından seçimli bir şekilde demir uzaklaştırmada başarılı olduğu için endüstriyel alanda kullanımının uygun olduğu ancak yöntemin içerdiği kimyasallar sebebi ile içme suyunda uygulanmasının pratik olmadığı sonucuna varılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Çöktürme flotasyonu, demir uzaklaştırma, atık su geri dönüşümü

ABSTRACT Iron is one of the most undesirable heavy metals found in wastewater and creates a problem for the recycling of these waters. This study aims to examine the applicability of the precipitation flotation method in the separation of iron from wastewater in a comparative way by examining other iron removal methods. Although it was planned as a laboratory study, this study was carried out by literature review and comparison method due to the Covid-19 pandemic process. In this study, iron removal methods and flotation techniques were examined, the advantages of precipitation flotation from other methods, its efficiency and applicability were discussed. As a result of the research, it was determined that precipitate flotation is a very effective method in the separation of iron from wastewater, it is suitable for use in the industrial field as it is successful in separating iron selectively from solutions that include also other heavy metals, but it is concluded that the method is not practical for drinking water treatment due to the chemicals it contains.
Keywords: Precipitate flotation, iron removal, waste water treatment

1 INTRODUCTION

Iron is one of the most abundant metals of the Earth's crust. In general, iron does not present a danger to human health or the environment, but it brings unpleasantness of an aesthetic and organoleptic nature. Indeed, iron gives a rust color to the water, which can stain linen, sanitary facilities or even food industry products. A stain left by iron contaminated domestic water is shown in the Figure 1. Iron also gives a metallic taste to water, making it unpleasant for consumption.

Water contamination problems mostly caused by heavy metal ions and these high heavy metal containing waters can be put under remediation processes for two main purposes: (a) usage of drink water which might require whole different operations and (b) re-usage on industries.

Figure 1. Stain left by iron contaminated domestic water in a household bathroom.

Wastewaters from mine & mineral processing and hydrometallurgical operations usually contain high metal and sulphate concentrations at low pHs. Therefore, these wastewaters may be toxic to many organisms [1]. Dumping of domestic and industrial wastes in the water bodies is responsible for elevated levels of iron in the water and the continuous consumption of such water with high iron content may lead to various health problems [2]. Rapid industrialization of the planet and the constantly increasing water usage, pushed the scientists to seek alternative solutions for managing earth's limited water supply via certain treatment processes. Iron being one of the most unwanted heavy metal ions, needs to be removed by waste waters for the remediation of wastewaters.

2 OWERVIEW OF IRON REMOVAL PROCESSES

In this chapter, iron oxidation and iron removal processes including iron precipitation and flotation methods are summarized.

2.1 Iron Oxidation

Oxidation states of iron can range from –2 to +4. Out of these, only Fe^{+2} (ferrous) and Fe^{+3} (ferric) states are common. After getting contact with oxygen, both ionic iron forms (Fe^{+2} and Fe^{+3}) would turn in to iron hydroxide, which will result its precipitation out from water. About $1{,}3x10^{-3}$ mg/L of iron is dissolved in ocean waters yearly [3].

It is reported that pH greater than 6,5 promotes rapid conversion of ferrous iron to ferric iron [4]. The general reaction for ferrous to ferric iron conversion is given on equation (1). The oxidation of ferrous iron at 21 °C with critical dissolved oxygen concentration of 2mg/L is given at table 1.

$$4Fe_2+ + O_2 + 10H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3 + 8H+ \quad (1)$$

Table 1. Time of conversion of ferrous to ferric iron on pH value. [5]

pH	Oxidation Time
5	10 Hours
6	100 Hours
7	1 Hour
8	30 Seconds

2.2 Iron Removal Processes

Ground waters that have high iron concentration, industrial wastewaters, and hydrometallurgical solutions where iron is not desired, require specialized processes to remove iron from the aqueous solution itself. Processes like *chemical precipitation* [6], *biological removal* [7], *ion exchange* [8], *coagulation/flocculation* [9], *membrane filtration* [10], and *flotation* have been developed and applied on various cases. This study is focused on flotation methods for iron removal.

2.3 Iron Precipitation Processes

Effective treatment of hydrometallurgical wastewaters, especially acid mine drainage, depends largely on the oxidation and precipitation of iron [11] since precipitation of iron hydroxides and oxides is most common method to achieve iron removal [12]. The need for economic ways of removing high concentrations of iron from solution was met by the development of

several processes, such as the hematite, goethite, and jarosite processes [13].

2.3.1 Hematite precipitation

Hematite (Fe_2O_3) is the favored iron oxide/hydroxide precipitate because of the iron's steadiness, high thickness and purity. These properties of hematite make it simpler for removal and offer the potential for it to qualify as a byproduct [14]. Because of hematite's relative high density, in comparison to the other jarosite and goethite precipitates, hematite takes up less space for the same iron quantity [15]. Hematite precipitation process is the sole iron precipitation method that does not create waste [16]. The hematite precipitation process is based on reduction of Fe^{+3} to Fe^{+2} with SO_2 or H_2S at 95-100°C interval [17].

Hematite precipitation has been rapidly adopted into industrial applications because of its advantages over other precipitation methods. In the past decade, multiple patents have been obtained for the hematite precipitation under elevated and atmospheric temperature [18, 19].

2.3.2 Goethite precipitation

The goethite process, another approach to eliminating the iron problem, was developed in the 1960s by Societe de la Vieille Montagne of Belgium 1972. In this process, iron can be precipitated as an easily filterable form, crystalline goethite, FeOOH [20]. The main feature of goethite precipitation is that the Fe^{+3} concentration in the main solution should be maintained at about 1 g/L. This requirement can be achieved by reducing all ferric ions to the ferrous state [21]. Controlled oxidation of Fe^{+2} is then employed by bubbling molecular oxygen in an agitated reactor at a controlled rate to limit the concentration of Fe^{+3} to about 1 g/L [22].

2.3.3 Jarosite precipitation

The jarosite process was developed in the mid of 1960s by three different companies independently. The main advantage of precipitating jarosite-type compounds is comparative ease of settling, filtration, and washing of the residue; iron gels are therefore avoided. At the same time, its use enables a very significant improvement in the efficient use of zinc concentrates, together with improved recoveries of associated metals such as lead, silver, gold, copper, and cadmium. The process has been further improved to give even higher recoveries of zinc and other metals and it is now possible to produce a purer jarosite, which facilitates recovery of its iron content as well as making it more acceptable for disposal by other routes.

The jarosite process got wide attention in the zinc industry after its invention as it readily precipitated iron from concentrated acidic solutions and the product was easy to filter compared to the gelatinous ferric hydroxide. In the jarosite precipitation, iron is precipitated with ammonium or sodium ions from the hot acid leach at the temperatures between 95–97°C. Zinc calcine is essential for the neutralization of the acid created by precipitate reaction [23].

2.4 Flotation Methods on Iron Removal

Flotation is one of the most usable mineral processing techniques in modern industry mostly because of its flexibility. Flotation offers higher rates on better effluent quality and a valuable alternative to sedimentation or filtration after precipitation operation is finished. While its original designing purpose is to separate different particle types, with the rapid developments of technology, flotation technique is also applied in water plants and wastewater treatments. For the remediation of contaminated waters on mining industry, usage of flotation is slightly increasing with the introduction of new devices [24]. Academicians and researchers conducted several investigations for the purpose of using flotation as a wastewater treatment technique.

The flotation operation requires many numbers of air bubbles in the solution, which attach to the solid particles and subsequently float to the surface. According to the method used for generating the gas bubbles, two categories of flotation for aqueous waste solution can be distinguished: dispersed-air flotation and dissolved-air flotation.

2.4.1 Dispersed air flotation

Dispersed-Air flotation generates bubbles by introducing air directly into the flotation cell. The most popular dispersed-air flotation cells used in wastewater treatments are the mechanically agitated flotation cells and column flotation cells.

The mechanically agitated flotation cells are the oldest and the most common flotation cells used in flotation plants of mineral processing. A mechanically driven impeller agitates the slurry and the air is sucked in or injected into the slurry, usually through a separate piping system or an impeller shaft. A large number of bubbles are obtained mainly by the shearing effect of impellers. It was reported that the higher the stirring strength, the smaller the bubbles generated [25].

Column flotation is considered to be one of the most significant achievements in the field of mineral processing before the millennia. The first column apparatus was developed more than 90 years ago. However, activation of practical research work in the field of column flotation began only in the mid seventies. The advantages of column flotation are higher selectivity of the process, and low power and metal requirement. The size of the bubbles generated by this method, depends upon the sparger pore size. In the early stage of the development of this method, the performance of porous spargers tended to deteriorate due to pore plugging [26]. However, from the eighties this problem has been solved by the introduction of new materials and by improved design of the air-water mixture system. Most of the studies relating to ion and precipitate flotation were carried out in conventional laboratory column flotation systems due to its ease of control and simplicity of the system, as well as its greater effectiveness in fine particles flotation, as compared to the mechanically agitated flotation [27].

2.4.2 Dissolved air flotation

Dissolved-air flotation is a very effective solid-liquid separation process used in water and aqueous waste treatment, as an alternative to sedimentation before granular filtration. This enables filters to be operated more effectively and is cost efficient in producing a filtered water quality suitable for potable supply. In dissolved-air flotation, the bubbles are produced by a pressure reduction in a water stream saturated with air.

In vacuum flotation, the water to be treated is saturated with air at atmospheric pressure. A vacuum is then applied to the flotation tank releasing the air as small bubbles. However, the amount of air available for flotation is limited by the achievable vacuum. This process is being applied only in the paper industry for the recovery of fibres. It is being replaced by pressure flotation [28].

Pressure flotation is currently the most widely used dissolved-air flotation process in wastewater treatment. Initially, water is saturated with air at a relatively high pressure. When this water is introduced in the flotation vessel, the change to normal atmospheric pressure releases the air bubbles. As vacuum flotation is not used very often, the pressure flotation normally represents dissolved-air flotation. Three basic dissolved-air flotation processes can be used: full-flow pressure flotation, split-flow pressure flotation, and recycle-flow pressure flotation [29].

2.4.3 Ion flotation

Ion flotation is a technique that aims to remove surface-inactive ions from liquid solutions by adding collectors [30]. The collector is generally consists opposite charged ion from the metal ion which is targeted to be removed and these collectors are usually easy to recycle which makes them easy to recover and leaves behind a clean water solution [31].

2.4.4 Precipitate flotation

Precipitate flotation involves the collection of small precipitate particles using a surfactant of charge opposite to that of the ions adsorbed on the particle [32]. Coulombic attraction between surfactant ion and particle causes the surface to become covered with surfactant and the precipitate is carried upwards by a fine stream of bubbles [33].

The most important benefit of precipitate flotation over ion flotation, which involves

stoichiometric or larger quantities of the collector, because the ion and the collector shape a complex, is the low surfactant necessity. The possibility of reducing the iron grade by flotation was proved to have several advantages over ion flotation: (1) efficiency in removal; (2) speed of the operation; (3) small space occupation; (4) production of small sludge volume; (5) possibility of selective removal; (6) application flexibility and (8) moderate costs. [34].

Capponi et al. (2006) investigated heavy metal ion removal on water by using modified column flotation technique, with the method of adsorbing the ions on colloidal precipitate which consist of ferric hydroxide and separated loaded coagula by modified column flotation. Results of the experiment indicates that best separation with this modified method is achieved by controlling the medium pH on the level which heavy metal ions adsorb on to precipitate, while sodium oleate used as collector [35]. Numata and Wakamatsu (1978) researched the extraction of Cu^{+2}, Zn^{+2} and Fe^{+3} by hydroxide precipitate flotation, using anionic surfactants such as sodium lauryl sulphate and sodium dodecyl benzene sulphonate (SDBS) as well as cationic surfactants, such as cetyltrimethylammonium bromide as collectors. It was found that the pH range at which flotation-occurred corresponded well with the calculated precipitation pH range [36]. Guo (1984, 1986) carried out similar equilibrium and flotation tests, arriving at much the same conclusion [37].

3 CONCULUSIONS

Although there have been numerous studies on iron removal with different methods those that focus on the fundamental aspects have not been well incorporated into the applied studies that focus on iron removal and process efficiency. The applied studies, in turn, have often used and focused only one method to evaluate the efficiency of the different remediation processes, which has led to inconsistent results across studies. During the attempt of evaluating and summarizing these studies from different areas of work, some key insights were obtained which in fact creates the path for applying all the different elements to make precipitate flotation method an efficient and appliable option for iron removal.

While the effectiveness of flotation on heavy metal removal from aqueous solutions is proven to be highly effective by the examined studies and researches, removal effectiveness itself is not a solid reason to implement the technique on every water treatment plant. With proper methodology, precipitate flotation might be valid option for iron removal from wastewaters, but it still has room for improvement. In industrial usage, parameters which are all related with economic concerns, are the main dedication properties when considering the applicability of the technique. Studies suggests that removal of iron from waste solutions with precipitate flotation is effective and can be used in industrial applications for obtaining re-usable water. In terms of drinking water, the iron ion removal by precipitate flotation was shown to be quite efficient, but it is not practical to apply on drinking water treatment because of the chemicals involve during the process.

REFERENCES

[1] Kaksonen, A. H., Riekkola-Vanhanen, M.-L., & Puhakka, J. A. (2003). Optimization of metal sulphide precipitation in fluidized-bed treatment of acidic wastewater. Water Research, 37(2), 255–266.

[2] Khatri, N., Tyagi, S., & Rawtani, D. (2017). Recent strategies for the removal of iron from water: A review. Journal of Water Process Engineering, 19, 291– 304.

[3] Silver, J. (1993). Chemistry of Iron. Blackie Academic and Professional/Chapman & Hall, London.

[4] Harmon, S. (2003). A complete guide to iron removal methods, iron conditioning equipment and their limitations. Water Technology magazine. Iron removal systems, copyright JP Anderson 2013.

[5] Vance, D. B. (1994). Iron- the environmental impact of a universal element. National Environmental Journal 4(3): 24-25.

[6] Bhattacharyya, D., Jumawan, A. B., & Grieves, R. B. (1981). Separation of Toxic Heavy Metals by Sulfide Precipitation. Separation Science and Technology, 14(5), 441–452.

[7] Tekerlekopoulou, A. G., Vasiliadou, I. A., & Vayenas, D. V. (2006). Physico- chemical and biological iron removal from potable water. Biochemical Engineering Journal, 31(1), 74–83.

[8] Seelig, B., Derickson, R., and Bergsrud, F. (2013). Treatment systems for household water supplies: iron and manganese removal. Regents of the University of Minnesota.

[9] Daniels, S.L., (1975). Removal of Heavy Metals by Iron Salts and Polyelectrolyte Flocculants, AIChE Sympos. Series, Water- 1975, 71(151): 265-271.
[10] Holmden, B. (2013). Drinking water C & D certification review. Florida Rural Water Association.
[11] Pulles, W., Heath, R., & Howard, M. (1996). A manual to assess and manage the impact of gold mining operations on the surface water environment. WRC Report No. TT79/96, Pretoria.
[12] Loan, M., Newman, O. M. G., Cooper, R. M. G., Farrow, J. B., & Parkinson, G. M. (2006). Defining the Paragoethite process for iron removal in zinc hydrometallurgy. Hydrometallurgy, 81(2), 104–129.
[13,20] Dutrizac, J. E. (1980). The physical chemistry of iron precipitation in the zinc industry. Lead--Zinc--Tin 80', 532-564.
[14] Riveros, P. A., & Dutrizac, J. E. (1997). The precipitation of hematite from ferric chloride media. Hydrometallurgy, 46(1-2), 85–104.
[15] Cornell, R. M., & Schwertmann, U. (2000). The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses. John Wiley & Sons.
[16] Langová, Š., & Matýsek, D. (2010). Zinc recovery from steel-making wastes by acid pressure leaching and hematite precipitation. Hydrometallurgy, 101(3-4), 171– 173.
[17] Cheng, T.C., & Demopoulos, G.P., (2006). The hematite process – new concepts for increased throughput and clean hematite production. In: Dutrizac, J.E., Riveros, P.A. (Eds.), Iron control technologies: proceedings of the third international symposium on iron control in hydrometallurgy. CIM, Montreal, Canada, October 1-4, 965-980.
[18] Rodriguez, M., & Wedderburn, B.J., (2007). Hematite precipitation at elevated temperature and pressure.
[19] Aguilar, R.A.L., Rodríguez, C.I.M., Rangel DE, H.R., Liu, H., (2013). Removal of ferric iron as hematite at atmospheric pressure.
[21] Boxal, J.M., James, S.E., (1986). Experience with the goethite process at National Zinc. In: Dutrizac, J.E., Monhemius, A.J. (Eds.), Iron Control in Hydrometallurgy. Ellis Horwood, Chichester, UK, pp. 676–686
[22] Davey, P. T., & Scott, T. R. (1976). Removal of iron from leach liquors by the "Goethite" process. Hydrometallurgy, 2(1), 25–33.
[23] Ismael, M. R., & Carvalho, J. M. (2003). Iron recovery from sulphate leach liquors in zinc hydrometallurgy. Minerals Engineering, 16(1), 31–39.
[24] Rubio, J., Carissimi, E., & Rosa, J. J. (2007). Flotation in water and wastewater treatment and reuse: recent trends in Brazil. International Journal of Environment and Pollution, 30(2), 197.
[25] Lu, S. C., & Weng, D. (1992). The principles and practice of interface separation. Beijing Metallurgical Industry Press
[26,30] Matis, K. A., & Mavros, P. (1991). Recovery of Metals by Ion Flotation from Dilute Aqueous Solutions. Separation and Purification Methods, 20(1), 1–48.
[27] Sanciolo, P., Harding, I. H., & Mainwaring, D. E. (1989). Treatment of electroplating wastewater by adsorbing colloid flotation to remove heavy metals. In Chemeca 89: Technology for Our Third Century; the Seventeenth Australasian Chemical Engineering Conference (p. 53). Australasian Chemical Engineering Conference.
[28,29] Zabel, T. F. (1992). Flotation in Water Treatment. Innovations in Flotation Technology, 431–454
[31] Deliyanni, E. A., Kyzas, G. Z., & Matis, K. A. (2017). Various flotation techniques for metal ions removal. Journal of Molecular Liquids, 225, 260–264.
[32] Mahne, E. J., & Pinfold, T. A. (2007). Precipitate flotation I. Removal of nickel from dilute aqueous solutions and its separation from cobalt. Journal of Applied Chemistry, 18(2), 52–54.
[33] Sheiham, I., & Pinfold, T. A. (2007). Precipitate flotation. III. Parameters of precipitate flotation of the first kind. Journal of Applied Chemistry, 18(7), 217–221.
[34] Morosini, D. F., Baltar, C. A. M., & Duarte-Coelho, A. C. (2014). Iron removal by precipitate flotation. Rem: Revista Escola de Minas, 67(2), 203–207.
[35 Capponi, F., Sartori, M., Souza, M. L., & Rubio, J. (2006). Modified column flotation of adsorbing iron hydroxide colloidal precipitates. International Journal of Mineral Processing, 79(3), 167–173.
[36] Numata, Y., & Wakamatsu, T. (1978). A Fundamental Study on the Removal of Heavy Metal Ions (Cu2+, Zn2+ and Fe3+) from Mine Water by Flotation Methods (1) Use of anionic and cationic surfactants as a collector. Flotation, 25(1), 1-6.
[37] Guo, Y. (1984). The problems of precipitate flotation for the removal of heavy metal ions from wastewater. Nonferrous Metals (in Chinese), No.1, 42-49

Kurulu Tesislerde Minimum Yatırımla Yapılacak Maliyet Azaltma ve Kapasite Artım Çalışmalarının İncelenmesi

Investigation of Capacity Increase Works to Be Made With Minimum Investment In Installed Facilities

A. ÖZCAN, A. GÜNEY
İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

ÖZET Belli bir cevher konsantresi üretimi amacıyla kurulmuş tesislerin zaman içerisinde kapasitelerinde düşüş meydan gelir, kurulum değerlerinde bozulmalar gözlenebilir. Kırma, öğütme, eleme, ayırma, zenginleştirme ünitelerinde çalışmaya bağlı olarak zaman içinde verim düşüşleri meydana gelir. Başlangıç noktasında tesisin sahip olduğu kapasiteyi korumak ve zaman içinde düşen kapasite verim değerlerini yükseltmek bir cevher hazırlama mühendisinin esas görevleridir. Öncelikle "Kapasite artırım çalışmaları nerelerde, nasıl sağlanabilir ve kapasite artımına engel olabilecek durumlar nelerdir?" soruları sorulur. Tesisin her ünitesi teker teker kontrol edilir, gerekli deneyler yapılır ve ünitelerdeki verim sapmaları tespit edilir. Verim ve kapasite artırıcı gerekli çalışmalar yapılarak tesis karlılığı artırılır. Bu çalışmada bir cevher hazırlama tesisinin kırma, eleme, öğütme, sınıflandırma, zenginleştirme (gravite ayırması, flotasyon, manyetik ayırma) devreleri teker teker incelenerek, söz konusu kapasite artırıcı çalışmaların neler olabileceği konusunun araştırılması amaçlanmıştır.

ABSTRACT The capacity of the plant established for the production of a certain ore concentrate decreases over time, and deterioration in the installation values may be observed. Efficiency decreases over time depending on working in crushing, grinding, screening, separation, and enrichment units. The main duties of a mineral processing engineer are to maintain the capacity of the plant at the starting point and to increase the capacity efficiency values that decrease over time. First of all, "Where and how can the capacity increase works be achieved and what are the conditions that may prevent capacity increase?" questions are asked. Each unit of the plant is checked one by one, necessary experiments are carried out, and yield deviations in the units are determined. Plant profitability is increased by carrying out necessary studies to increase efficiency and capacity. This study, it is aimed to investigate the subject of the capacity-increasing studies by examining the crushing, screening, grinding, classification, enrichment (gravity separation, flotation, magnetic separation) circuits of a mineral processing plant one by one.

Key words: mineral processing, capacity, performance

1 GİRİŞ

Belli bir cevher konsantresi üretimi amacıyla kurulmuş tesislerin zaman içerisinde kapasitelerinde düşüş meydan gelir, kurulum değerlerinde bozulmalar gözlenebilir. Kırma, öğütme, eleme, ayırma, zenginleştirme ünitelerinde çalışmaya bağlı olarak zaman içinde verim düşüşleri meydana gelir. Başlangıç noktasında tesisin sahip olduğu kapasiteyi korumak ve zaman içinde düşen kapasite verim değerlerini yükseltmek bir cevher hazırlama mühendisinin esas görevleridir.

2 GENEL BİLGİ

2.1 Kapasitenin Tanımı Ve Türleri

Bir cevher hazırlama tesisinin üretim kapasitesi var olan üretim koşullarını gerçekçi bir şekilde kullanarak ortaya koyabileceği üretim miktarıdır. Çeşitli araştırmalar sonucunda tesis kapasitesine karar verilebilir. Kapasite seçimi işletmenin mevcut ve gelecekteki değişim ihtiyacına cevap verecek şekilde yapılmalıdır (Bulut, 2004). Kapasite türleri şunlardır; maksimum teorik kapasite, gerçekleştirilebilir normal kapasite fiili kapasitedir. Kapasite kullanım oranı fiili kapasitenin gerçekleştirilebilir normal kapasiteye bölümün ile bulunur (Özel, 2012).

3 CEVHER HAZIRLAMA TESİSLERİNDE MALİYET AZALTMA YÖNTEMLERİ

Ürün kalitesi ve üretim maliyeti maden işletmelerinin üretim yaparken göz önünde bulundurmaları gereken önemli kavramlardır, kalite ve maliyetin yanı sıra da satılabilir konsantre üretmek ve kar edebilmek madenciliğin sürdürülebilmesi için gereklidir. Tüvenan cevherden değerli mineral konsantresi üretilirken en önemli husus kar edebilmektir ve karlılık ancak konsantre maliyetinin satış fiyatından düşük olması ile sağlanabilir. Maliyetin tanımı, belirli bir amaca ulaşmak için katlanılan özverilerin toplamı olarak yapılmaktadır. Tesis maliyetlerini düşürebilmek için gösterilen özverinin üstüne çıkılması gerekir. Cevher hazırlama tesisinde maliyet, kırma, öğütme sınıflandırma ve zenginleştirme, susuzlandırma, konsantre ve atık depolama birimlerinde tesise beslenen malzemenin 1 tonu için harcanan miktardır. Tesis işletmeciliğinde karşılaşılan en zor uygulama maliyet düşürmektir. Pazarı denetlemek ve fiyat oluşumunda etkili olmak çok özel koşullar hariç, mümkün değildir.

4 BOYUT KÜÇÜLTME, BOYUTA GÖRE SINIFLANDIRMA DEVRELERİNDE KAPASİTE VE VERİMİN İNCELENMESİ VE İYİLEŞTİRİLMESİ

4.1 Kırıcı Ayarlarını Değiştirerek Kapasite Ve Verimin Artırılması

Kapalı devre çalışan kırıcılarla beraber kullanılan eleklerde delinme veya tıkanma söz konusu olduğunda devreden yük azalır veya artar ve kırma tesisi kapasite ve performansı doğrudan etkilenir. Elek kontrolleri düzenli yapılarak kırıcı kapasitesi etkili kullanılmaya çalışılır. Bunun yanı sıra CSS'nin bozulması da kırıcı tesisinin kapasite ve verimini ciddi ölçüde etkiler. CSS arttığında boyut küçültme oranı artar ve cevher kırıcıdan daha küçük boyutlara inmiş olarak çıkar; CSS'nin azalması durumunda ise boyut küçültme oranı azalır ve cevher diğer duruma göre daha iri boyutta kırıcıdan çıkar (Bengtsson, Svedensten, Evertsson, 2009).

4.2 Eleklerde Kapasite Ve Verimin Artırılması

Tanelerin eleğin yüzeyine temas etme olasılığı; elek eğiminin, titreşim genliğinin ve titreşim frekansının artması sonucunda azalmakta, alt akım miktarı, eleğin kesme boyutu ve elek verimi düşmektedir. Elek açıklığına yakın boyutlu tanelerin varlığı eleme verimini etkileyen önemli bir hususdur, elek frekansı ve genliği azaldığında elek açıklığına yakın boyutlu tanelerin eleme verimi de artmaktadır. Pülpteki elek açıklığına yakın boyutlu tanelerin artışı eleme verimliliğini ve alt akım miktarını düşürmektedir, ancak eleme kesme boyutunda büyük bir farklılık olmamaktadır. Bu boyut grubunun miktarca artışı pülpün elek yüzeyinde kalma süresini artırdığı için besleme hızının düşürülmesi ile

elek kapasitesi daha etkili kullanılır. Titreşim eğim açısı 120° ve 150° arsında arttıkça taneler elek yüzeyinde daha uzun süre kalırlar, eleme verimliliği olumlu yönde gelişir, alt akım kütlesi artar ve kesme boyutu büyür.

4.3 Değirmenlerde Kapasite Ve Verimin Artırılması

Bir değirmen tesiste çalışması esnasında normalde tükettiğinden daha az güç tüketmeye başladıysa bu durum değirmenin kapasitesinin altında çalıştığını gösterir, değirmene cevher veya öğütücü ortam beslemesi yapılarak değirmen kapasitesi artırılır. Elek analizleri sonucunda değirmene beslenen cevherin d80 boyutu değirmen gereksiniminin üzerindeyse bu durum değirmene uygun boyutlu cevherin gelmediğini gösterir, bu noktada değirmen kapasitesinin üzerinde çalışmaya zorlanmış olur verim düşer. Değirmen girişine uygun boyutlu cevherin gelmesi için kırma ve eleme tesislerine gerekli ayarlamalar yapılır ve değirmen kapasitesine uygun şekilde çalıştırılırsa verim artırılmış olur. Değirmen içinden alınan numunelerden pülpte katı oranı bulunur. Değirmen kapasitesine uygun pülpte katı oranı ayarlanmalıdır. Düşük pülpte katı oranı ile çalışılan bir değirmenin katı beslemesi artırılabilir veya yüksek pülpte katı oranıyla çalışan bir değirmene su beslemesi artırılabilir. Değirmen kapasitesine uygun pülpte katı oranı ile çalıştırılırsa verim artmış olur. Ayrıca değirmen kapasitesini artırmanın başka bir yolu ise değirmene normalde beslenen malzemenin boyutundan daha küçük boyutlu malzeme beslemektir.

5 ZENGİNLEŞTİRME TESİSİNDE KAPASİTE VE VERİMİN İNCELENMESİ

Zenginleştirme tesislerinde minimum yatırımla yapılabilecek kapasite artırıcı birçok uygulama vardır ancak uygulanan zenginleştirme biçimine, cevhere ve tesis koşullarına göre yapılacak iyileştirmeler değişkenlik göstermektedir. Gravite ve manyetik ayırma yapan bir tesiste kullanılan her gravite cihazına uygulama boyutlarına uygun cevher beslenerek pilot ölçekte deneyler yapılır. Konsantrenin ve artığın miktarca yüzdeleri, değerli mineral içerik yüzdeleri ve verimleri hesaplanır. Metalurjik denge tablosuna veriler yerleştirilir. Yapılan verim hesaplarından cihaz performansları hakkında değerlendirmeler yapılır. Cihazlar kapasitelerinin altında verim değerleriyle çalışıyorsa iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır. Flotasyon yapılacak cevher minerolojik olarak en iyi şekilde analiz edilmeli ve cevherin flotasyon davranışının çok iyi şekilde bilinmesi gerekir. Cevher serbestleşmiş olarak flotasyon tankına beslenmeli çalışma koşullarını en iyi hale getiren pülpte katı oranı deneyler yapılarak bulunmalıdır. Pülpte katı oranının artışıyla özgül ağırlığı düşük veya ince boyutlu gang taneleri kaldırma kuvveti etkisiyle yüzebilir, veya yassı şekilli gang minerelleri şekil faktörünün etkisiyle yüzeye yakın konumlanabilir. Bu sorunun çözülebilmesi için bastırıcılar ile gang mineralleri bastırılırken değerli mineralin de çeşitli reaktifler ile en iyi şekilde yüzmesi sağlanır, ph optimum koşullarda tutularak tesis verimi en yüksek seviyede tutulmalıdır.

6 SONUÇLAR

Belli bir cevher konsantresi üretimi amacıyla kurulmuş tesislerin zaman içerisinde kapasitelerinde düşüş meydan gelir, kurulum değerlerinde bozulmalar gözlenebilir. Kapasite kayıpları yaşanan tesislerde düşen verim değerlerini yükseltecek iyileştirmelere ihtiyaç vardır. Bu çalışmada cevher hazırlama tesislerinin kırma, öğütme, eleme, ayırma ve zenginleştirme işlemleri yapan üniteleri teker teker incelenmiş ve kapasite kaybına sebep olacak durumlar ortaya konulmuştur. Ayrıca kapasite artırıcı önerilerde bulunulmuştur. Kapasite artırım çalışmaları nerelerde, nasıl sağlanabilir ve kapasite artımına engel olabilecek durumlar nelerdir?" sorularına yanıtlar verilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bitirme tezi çalışmaları sürecinde danışmanlığımı yaparak desteğini esirgemeyen, her sorumu cevaplayan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ali GÜNEY'e, beni ve arkadaşlarımı donanımlı mühendisler olarak yetiştiren Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine teşekkürlerimi sunarım. Her zaman yanımda olacaklarına inandığım, beni bu günlere getiren aileme ve varlıklarıyla İTÜ'deki günlerimi güzelleştiren tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Acarkan, N., & Önal, G. (2014). Özgül Ağırlık Farkı (Gravite) ile Zenginleştirme. G. Önal, G. Ateşok, & K. T. Perek içinde, *Cevher Hazırlama El Kitabı* (s. 127-160). İstanbul: Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı; ISBN: 978-975-7946-39-7.

Albayraklı, T. Ş., Güney, A., (2021), "100 Ton/Saat Kapasiteli Krom Zenginleştirme Tesisi Tasarımı Ve Fizibilitesi", *Lisans Tezi,* İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, İstanbul

Altun, O. (2018, Ocak). Bir bakir/çinko cevheri öğütme devresinde enerji optimizasyonunun sağlanması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *7* (1), 284-296. doi: 10.28948/ngumuh.386770

Ateşok, G., (1986). *Kömür Hazırlama* (s.158). İstanbul: Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı

Bengtsson, M., Svedensten, P., & Evertsson, C. M. (2009). Improving yield and shape in a crushing plant. *Minerals Engineering,* 22(7-8), 618–624. doi: 10.1016/j.mineng.2009.02.001

Bulut Z. A., (2004, Ağustos). İşletmeler açısından kapasite planlaması ve kapasite planlamasına etki eden faktörler, *Mevzuat Dergisi,* (80)

Çelik, C., Güney, A. (2018), "100 Ton/Saat Kapasiteli Bakir Flotasyon Tesisi Tasarimi ve Ön Fizibilitesinin Hazirlanmasi", *Lisans Tezi,* İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, İstanbul

DPT Raporu, 1990. "Türkiye Demir Çelik İşletmeleri Divriği Madenleri Müessesi Demir Cevheri Zenginleştirme Tesisinin performans etütleri", *İTÜ Rapor,* s. 48.

DPT Raporu, 1995. "Bursa Harmancık Krom Zenginleştirme Tesisinin Performans Etüdü Ve Kuyu, Kozluca, Göynükbelen, Belen, Aslankırı cevherlerininin zenginleştirme özelliklerinin tesbiti", *İTÜ Rapor,* s. 47.

Kaytaz, Y., (1990). *Cevher Hazırlama,* (s.124). İstanbul: Teknik Üniversite Matbaası

Korkut, F. A., Güney, A., (2019) "Design of 50 Tons/Hour Capacity Chromite Enrichment Plant and Preparation of Pre-Feasibility- 50 Ton/Saat Kapasiteli Kromit Zenginleştirme Tesisi Tasarımı ve Ön Fizibilitenin Hazırlanması", *Lisans Tezi,* İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, İstanbul

Shin, S.-J., Woo, J., & Rachuri, S. (2017). *Energy efficiency of milling machining: Component modeling and online optimization of cutting parameters. Journal of Cleaner Production, 161, 12–29.* doi: 10.1016/j.jclepro.2017.05.013

Orhan, E., Harzanagh, A., Ergün, Ş. (2019). Endüstriyel elemenin sayisal modellemesi (2. Bölüm): tasarim ve işletme değişkenlerinin eleme performansi üzerine etkileri. *Bilimsel Madencilik Dergisi, 58* (1), 31-44. doi: 10.30797/madencilik.5376430

Önal, G., Güney, A., "Cevher Hazırlama Tesislerinin İşletimi, Denetimi ve Ekonomisi", Cevher Hazırlama El Kitabı (18. Bölüm), Eds. Önal, G., Ateşok, G. YMGV yayını.

Özel M., (2012), "Madencilik sektöründe yatırım projesi analizi ve yönetimi", *Yüksek Lisans Tezi,* Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, s.25.

Url-1<http://www.boratasgroup.ro/tr/galeri/1/kirma-eleme-tesisi-600-t-s-kapasite-cobanisa-turkiye.htm>, erişim tarihi Haziran 2021.

Url-2<https://www.mekaglobal.com/en/products/crushing-screening-plants/crushers/jaw-crushers>, erişim tarihi Haziran 2021.

Url-3<https://www.global.weir/products/product-catalogue/cavex-cvx/>, erişim tarihi Haziran 2021.

Url-4<http://itulabs.itu.edu.tr/Cihaz.aspx?id=b192b28c-d4b2-4e9e-8cd8-1b995a4d5c1b>, erişim tarihi Haziran 2021.

Oksitli Metalik Cevherlerin Zenginleştirilme Problemleri Ve Çözüm Önerileri

Problems And Solution Suggestion Of Benefication Of Oxidized Metal Ore

Ş. Üstünerciyas
İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Sülfürlü metalik cevher kaynaklarının tükenmesi ile beraber son zamanlarda oksitli metalik cevherlerin değerlendirilmesi kaçınılmaz olarak görülmektedir. Bu cevherlerin ekonomik olarak kazanılması mühim problemler teşkil etmektedir.

Bu tez çalışmasında; çinko, kurşun, bakır, kobalt, antimuan metalleri hakkında genel bilgi verildikten sonra bu metallerin oksitli minerallerinin zenginleştirilmesindeki problemler araştırılmıştır. Bu problemlerin çözümüne yönelik yapılan literatür araştırmaları ise bu tez çalışmasının ana amacıdır.

Genel olarak kullanılan zenginleştirme yöntemlerinden gravite ile ayırma, manyetik ayırma, elektrostatik ayırma ve flotasyon bu minerallerin zenginleştirilmesinde de kullanılmaktadır.

Oksitli metalik cevherlerin zenginleştirilmesindeki ana problemler genelde flotasyon optimizasyonundan kaynaklanmaktadır. Sülfürlü cevherlerin yüzdürülmesinde kullanılan reaktifler genelde oksitli cevherler için verimli değildir. Bu yüzden oksitli metalik minerallerin yüzdürülmesinden önce sülfidizasyon işlemi uygulanmaktadır. Ayrıca bu minerallerin doğrudan flotasyonu da değerlendirilen öneriler arasındadır.

Yapılan literatür çalışmasında genel olarak flotasyon reaktiflerine odaklanılmıştır. Bu reaktiflerin optimum parametreleri incelenerek zenginleştirme veriminin artmasına yönelik çözüm önerileri verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Oksit, Metalik, Flotasyon

ABSTRACT Due to the depletion of sulfide metal ore resources, the obtainment of oxidized metal ores is seen inevitable in recent years. There are significant problems during economic recovery of these ores.

In this dissertation, after providing general information about zinc, lead, copper, cobalt and antimony metals, the problems of benefication of oxide minerals of these metals were investigated. Literary research to address these problems is the purpose of this dissertation.

Gravity separation, magnetic separation, electrostatic separation and flotation, which are some of the commonly used beneficiation methods, are also used to beneficiate these minerals.

The main problems in the beneficiation of oxidized metal ores usually arise from flotation optimization. The reagents used for flotation of sulphide ores are usually ineffective for oxide ores. Therefore, sulphurizers reagents , which are used to convert the surface of oxidized metal minerals to sulphide, purpose of effectively using flotation reagents used for sulphide ores.

Keywords: Oxide, Metallic, Flotation

1 GİRİŞ

Değerli metal minerallerinin çoğu sülfür cevherleri olmasına rağmen, oksitlenmiş cevherler de önemli bir metal kaynağıdır. Fiziksel zenginleştirme ve flotasyon tekniklerinin bir kombinasyonunu kullanarak sülfür minerallerini gang minerallerinden ayırmak nispeten kolaydır ve halihazırda birçok uygulamaya sahiptir. Aynı zamanda sülfürlü metal cevherler zamanla tükendiği için oksit metal cevherlerinin zenginleştirilmesi son yıllarda önem kazanmıştır. Ekonomik üretim için bu cevherlerin işlenmesi ihtiyacının nedeni budur.

Fiziksel zenginleştirme ve flotasyon gibi tekniklerin mevcut kullanımı, oksitli metal cevherlerinin zenginleştirilmesinde sınırlıdır. Ayrıca günümüzde bu cevherlerin zenginleştirilmesi, bir takım problemler yaratmaktadır. Flotasyon teknolojisindeki ve hidrometalurjik proseslerdeki son gelişmeler, oksitlenmiş metal cevheri yataklarını daha çekici hale getirmiştir ve gelecekte potansiyel olarak değerli kaynaklar haline gelmeleri muhtemeldir.

Bu tez kapsamında oksit metal cevherlerinin zenginleştirilmesi problemlerinin incelenmesinin yanı sıra bu problemlerin çözümüne yönelik literatür çalışmaları yapılmıştır.

2 GENEL BİLGİLER

2.1 Çinko

Kullanım açısından çinko, alüminyum ve bakırdan sonra en önemli demir dışı metaldir. Bu üç metal esas olarak dökme demir ve çeliğin korozyon direncini arttırmak ve döküm endüstrisinde kullanılan özel alaşımları ve pirinç alaşımlarını yapmak için kullanılır. Çinko, esas olarak sülfit cevherlerinde kurşun ve gümüş, oksit cevherlerinde ise az miktarda kurşun ile birlikte üretilir. Bu süre zarfında, ocaklardaki ortalama çinko içeriği yaklaşık % 4 ve yeraltı ocaklarında % 6 civarındadır. Oksit tipi madenlerde ortalama çinko içeriği %10 ve 32 aralığındadır.

Çinkonun 50'den fazla minerali bilinmektedir. Sfalerit (çinko blend: ZnS), çinko üretimine katkıda bulunan en önemli mineraldir ve şu anda aktif olan hemen hemen tüm çinko yataklarında bulunur. Genellikle galen, kalkopirit, kalsit, kuvars, pirit, barit ve florit ile birlikte bulunur. Diğer endüstriyel çinko mineralleri arasında smitsonit, zinkit, villemit, franklinit ve hemimorfit bulunur.

2.2 Kurşun

Kurşun, kullanılan en eski metallerden biridir ve eski kullanımlarının çoğu günümüze kadar gelmiştir. Yeryüzünde bulunan elementler arasında 34. sırada yer alan kurşunun atom numarası 82, atom ağırlığı ise 207.21'dir. Kendine özgü kristal yapısı olan kurşun, doğal olarak oluşan kübik bir sistemde kristalleşir.

Yüzden fazla farklı kurşun minerali olmasına rağmen, kurşunun yaklaşık %90'ı sülfür formu olan galeninden (PbS) üretilir. Bilinen kurşun minerali sayısı 130'dan fazladır. Önemli kurşun mineralleri: Galen, serüzit ($PbCO_3$), anglezit ($PbSO_4$), jamesonit ($Pb_2Sb_2S_3$), vulfenit ($PbMoO_4$), jordanit ($Pb_4As_2S_7$), piromorfit (Pb_5Cl $(PO_4)_3$), mimenit ($Pb_{10}C_{12}(AsO_4)_6$) ve bulanjerit ($Pb_3Sb_2S_{6)}$, dir. Dünyada galen, üretimi gerçekleştirilen ve en çok bulunan kurşun mineralidir. Ayrıca bakır, genellikle çinko, altın, gümüş, bakır ve demir mineralleriyle birlikte bulunur.

2.3 Bakır

Bakır, periyodik tabloda Cu simgesiyle gösterilmektedir. Bakır, atom numarası 29, atom kütlesi 63.54 akb (atomik kütle birimi) ve yoğunluğu 8.93 g/cm^3 olan 1B geçiş grubunun bir elementidir ve doğada sülfürlü, nabit veya oksitli formlarda bulunmaktadır.

Doğada değişen içeriklerde bakır elementi bulunan birçok mineral mevcuttur. Bakır açısından bir mineral, %6'dan fazla bakır içeriyor ise, değerli bir mineral olarak kabul edilir. Bakır minerallerinin isimleri, bileşimleri ve içerikleri Tablo 2.6'da gösterilmiştir. Temel olarak çıkarılan mineraller kuprit, kalkozit, kovellit, kalkopirit, bornit, tetrahedrit, tenorit, malakit, azurit ve tennantittir.

2.4 Kobalt

Kobaltın atom ağırlığı 58,93 iken atom numarası 27'dir. Kobaltın kristal yapısı genellikle kübik, tanesel, masif ve

kompakttır. Kobaltın yoğunluğu 8,90 gr/cm^3 iken sertliği 5-5.5'tir.

En çok bilinen kobalt mineralleri kobaltit (CoAsS) ve skutterudit ($(Co,Ni)As_3$)'tir. Kobalt esas olarak; sülfitler, kobalt içeren demir sülfitler, arsenürlerden ve sülfo-arsenürler oluşmaktadır. Aynı zamanda karbonatlarda ve diğer mineral tiplerinde de ikincil olarak bulunur. Ayrıca nikel ve bakır cevherinde de düşük oranlarda kobalta rastlanmaktadır. Kobalt yer kabuğunda %0,001 oranında bulunurken; demir, nikel, bakır, çinko ve mangan gibi cevherlerden yan ürün olarak da temin edilmektedir. Heterojenit (CoO(OH)), en ünlü kobalt oksit mineralidir.

2.5 Antimuan

Antimuan, metalurjik olarak demir dışı metaller grubunda yer almaktadır ve atom numarası 51 olan, gümüşi beyaz renkli, çok zayıf elektriksel ve termal iletkenliğe sahip, kolayca kırılabilen, katı kristal bir elementtir. Özgül ağırlığı 6,7 g/cm^3, kaynama noktası 630 °C olan metalik antimuanın, sertliği; 3-3,5 arasındadır.

Antimuanın bilinen 100'den fazla minerali olmasına rağmen, bunlardan sadece birkaç tanesi endüstriyel öneme sahiptir: Stibnit ($Sb_2 S_3$), senarmontit ($Sb_2 O_3$), valentinit (Sb_2O_3), servantit ($Sb_2 O_4$) ve kermezit ($2Sb_2S_3.Sb_2O_3$). Antimuanın kükürt ile afinitesi; gümüş, kurşun ve bakır ile bileşikler oluşturmasını sağlar. Nadiren saf haliyle, genellikle civa, gümüş ve altın gibi elementlerle birlikte bulunmaktadır.

3 OKSİTLİ METALİK CEVHERLERİN ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Genel olarak kullanılan zenginleştirme yöntemlerinden gravite ile ayırma, manyetik ayırma, elektrostatik ayırma ve flotasyon bu minerallerin zenginleştirilmesinde de kullanılmaktadır. Gravite ile ayırma, manyetik ayırma ve elektrostatik ayırma gibi zenginleştirme yöntemleri daha çok nispeten iri boyutlu cevherler için ön zenginleştirme amacıyla kullanılırken flotasyon daha ince boyutlarda kullanılan ve seçimli bir zenginleştirme yöntemidir.

4 OKSİTLİ METALİK CEVHERLERİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİNDEKİ PROBLEMLER VE ÇÖZÜMLERİ

Genel olarak demir dışı oksit mineralleri sülfür minerallerinden farklı olarak geleneksel kolektörlerle verimli bir şekilde yüzdürülemez. Bu aşağıdaki nedenlerle genel olarak açıklanabilir:

a. Polar su molekülleri ile reaksiyona giren ağırlıklı olarak doymamış iyonik veya atomik bağlar nedeniyle daha hidrofiliktirler. Oksit cevherlerinin hidrasyonu, pülpte çok değerlikli metal iyonlarını serbest bırakır. Bu, flotasyon reaktiflerinin fazla tüketimine yol açabilir,

b. Flotasyon reaktiflerinin eyleminin seçiciliğini azaltan gang mineralleri, değerli minerallere benzer bir yapıya sahiptir,

c. Boyut küçültme sırasında, flotasyon ile zenginleştirildiğinde performansı azaltan, ince ve ultra ince atık kaya parçacıkları olan şlam oluşturma eğilimleri yüksektir.

4.1 Oksitli Cevherlerin Zenginleştirilmesindeki Çözüm Önerileri

Flotasyon devresine oksitli cevher beslemesi, yüzdürmeden önce tanelerin dikkatli bir şekilde temizlenmesini gerektirir ve daha sonra gerektiğinde bir köpürtücünün eklenmesiyle nispeten büyük miktarlarda sülfürleme maddesi ve katyonik toplayıcı ile yüzer. Bazı cevherler daha düşük pH seviyelerinde iyi yanıt verse de, araştırmacılar başlangıçta 10.5 ile 11.0 arasındaki pH seviyelerinde daha iyi sonuçlar bildirmektedir.

Sülfit minerallerini zenginleştirmek için yaygın olarak kullanılan toplayıcılar olan ksantatları kullanmak ve mineral yüzeylerini hazırlamak için yüzdürmeden önce bu tür minerallerin sülfidizasyonu yaygındır. Tipik olarak zenginleştirme tesislerinde yaygın olarak kullanılan toplayıcılar, cevher son derece hassas ve kritik olan bir ön sülfürleme aşamasına tabi tutulmuşsa çalışır. Sülfüdizasyonda, mineralin yüzeyini inert hale getirmemek için dozaj dikkatli ayarlanmalıdır. Ayrıca gang mineralinin bileşimine bağlı olarak, aşamalı olarak sülfürleştiricinin eklenmesinin faydalı olduğu bilinmektedir.

Oksitlerin flotasyonu sırasında şlam, parçacıkların yüzeyini kaplar ve yüzmelerini engeller. Flotasyona beslenen ürün, hidrosiklonlarda şlamdan sıyırılması gerekmektedir. Ancak bu kullanım konsantredeki oksit içeriğini ve verimi düşürmektedir. Şlam uzaklaştırma yöntemlerinde flokülantlar, koagülantlar, dispersanlar ve bastırıcılar gibi çeşitli reaktiflerin uygulamaları kullanılabilir. Şlam, flotasyon için zararlıdır ve bu işlem genellikle yüzdürmeden önce bir şlam ayırma aşaması gerektirir.

Akım şemasındaki olası bir fark, oksitli cevherler için gravite ile ayırmanın eklenmesiyle oluşabilir. Bazı durumlarda oksitli cevherler, yüzdürme işleminden önce ağır sıvılar ile ayrıştırılması gerçekleştirilir. Ayrıca flotasyondaki kademe sayısının arttırılmasının cevher konsantresinin tenörü ve verimi açısından olumlu olduğu bilinmektedir. Bununla beraber gravite ile zenginleştirmenin etkisinin görülebilmesi için uygulamalar yapılmıştır.

Son araştırmalar temel olarak yeni yüzdürme reaktiflerinin geliştirilmesine odaklanmıştır. Benzohidroksamik asit (BHA) ve oktan hidroksamik asit (OHA) denenen yeni kolektörlerdir. İnce serüzit için BHA ve OHA verimleri karşılaştırıldığında, OHA ile daha yüksek verimler açıkça görülmektedir.

AM28 gibi N-oktilhidroksamat toplayıcılar, sülfür mineral kazanımını azaltmadan karışık bakır sülfür/oksit karışımlarındaki oksit mineral bileşenini kazanmak için başarıyla kullanılabilir.

Ayrıca sodyum dodesil sülfat (SDS) ve Cu^{2+}'nın servantit yüzdürme üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar belirli bir pH aralığı için bakır iyonlarının, özellikle sodyum lauril sülfatın flotasyonda toplayıcı olarak kullanıldığı durumlarda servantitin yüzdürülmesini aktive ettiğini göstermiştir.

Geçtiğimiz yirmi yılda, bir dizi işletme tesisinde tanıtılan yeni bir bastırıcı serisi geliştirilmiştir. Bu bastırıcılardan bazıları (a) bir sodyum fosfat ve lignin sülfonat karışımı (yani 3XD depresan), düşük moleküler ağırlıklı akrilik asit ve sodyum silikat karışımı (bastırıcı 2D) ve sodyum silikatın alüminyum sülfat (bastırıcı SD) ile reaksiyonuna dayanan bir hidrosol içerir. Bu bastırıcılar genelde iyi sonuçlar vermektedir.

SONUÇLAR

Flotasyon dışındaki zenginleştirme yöntemlerinin uygulamaları ön zenginleştirme işlemleri için iri boyutlu cevherlerde kullanılır. Gravite ayırması, manyetik ayırma, elektrostatik ayırma gibi fiziksel zenginleştirme işlemleri düşük seçiciliğine rağmen yüksek olmayan maliyetler sebebi ile kullanılmaktadır. Ancak flotasyonun oksitli metalik minerallerinin zenginleştirilmesindeki rolü yüksek seçiciliği ve ince boyutlarda işlem yapılabilmesi adına daha önemlidir.

- Uygun kolektör tipinin seçimi bu minerallerinin flotasyonu için kritik öneme sahiptir.
- Doğrudan flotasyon ve sülfirleştirme için kullanılan reaktiflere yönelik daha fazla araştırma yapılmalıdır.
- Laboratuvar ve pilot ölçekli deneyler flotasyon optimizasyonun sağlanması için önemli bir parametredir.
- Ayrıca bastırıcı ve dispersant gibi reaktiflerin gang minerallerini uzaklaştırmasındaki verimi de genel verim ve seçicilik açısından önemlidir.

TEŞEKKÜR

Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Gülay BULUT'a ve Prof. Dr. Alim GÜL'e bu çalışmayı yapmam için sağladığı olanaklar ve lisans hayatımdaki yol göstericiliği için teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Güney, A., 1997. Türkiye Çinko Envanteri. *İstanbul Maden ve Metaller İhracatçıları Birlikleri*.

Yüce, A. E., 1998. Türkiye Kurşun Envanteri. *İstanbul Maden ve Metal İhracatçıları Birliği Yayını.*

Bulatovic, S.M., 2010. *Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice.*

Shengo, M.L., Kime, M.B., Mambwe, M.P. & Nyembo, T.K., 2019. "A review of the beneficiation of copper-cobalt-bearing minerals in the Democratic Republic of Congo", *Journal of Sustainable Mining,* s. 226-246.

Qin, X., Deng, J., Lai, H., & Zhang, X., 2017. Beneficiation of antimony oxide ore: A review. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals,*s. 321–329.

Barbaro, M., 2000. Lead And Zınc Ores: Flotation. *Encyclopedia of Separation Science*, s. 3215–3218.

Önal, G. & Ateşok. G., 1994. Cevher Hazırlama El Kitabı, YMGV.

Cevher Hazırlama'da Yapay Zekâ Uygulamaları
Artificial Intelligence Applications in Mineral Processing

A. Esen, B. Benli
Istanbul Technical University, Faculty of Mines, Mineral Processing Engineering Department, Istanbul

ÖZET Hayatımızın her alanında karşımıza çıkan yapay zekâ uygulamalarının cevher hazırlamadaki önemi ve gelişimi bu makale kapsamında değerlendirilmiştir. Günümüzde madencilik ve endüstriyel üretim tesislerinin vazgeçilmez bir unsuru olan üretim süreçlerinin bilgisayar kontrollü otomatik olarak ve çeşitli endüstriyel gerçek zamanlı kontrol sistemleri ile entegre edildiğini görmekteyiz. Otomasyonlarda kullanılan sensörler ve yazılımlar Dördüncü Sanayi Devrimi olan Endüstri 4.0 çağını ve yenilenen yapay zekâ teknolojilerini yakalayacak şekilde gelişmektedir. Bu çalışma kapsamında, öncelikle yapay zekâ konusu genel hatlarıyla ele alınmış ve içinde bulunduğumuz çağı temsil eden Endüstri 4.0 ile ilişkisi irdelenmiştir. Ayrıca cevher hazırlamada kullanılan yapay zekâ teknikleri literatür çalışmalarına dayalı olarak açıklanmıştır. 2017-2021 yılları arasında yapay zekâ teknikleri ile ilgili literatür incelenmiş ve Cevher Ayıklama/Tane Boyutlandırma, Konsantrasyon, Öğütme, Hidrometalurji ve Flotasyon & Flokülasyon olmak üzere 5 kategoriye ayrılmıştır. Bu çalışmada belirtilen teknikler ve endüstriyel ölçekteki uygulamaların sonuçları göz önüne alınarak, ileride cevher tesislerinde yapay zeka uygulamalarının artacağı ve mevcut yöntemlerin gelişeceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Cevher hazırlama; Yapay zekâ; Otomasyon; Endüstri 4.0

ABSTRACT This paper shows the importance of applications of artificial intelligence, which we encounter in every area of our lives, especially in mineral processing. Today, in mineral processing, which is an indispensable element of mining and industrial production facilities, production processes have been integrated with computer-controlled and with several industrial real-time control systems. The sensors and software used in automation are developing in a way to catch up with the fourth industrial revolution and renewed artificial intelligence technologies. In this paper, first of all, the subject of artificial intelligence was discussed in general terms, and its relationship with Industry 4.0 was examined. Moreover, artificial intelligence techniques used in mineral processing are explained based on literature studies. Between 2017-2021, the literature about artificial intelligence techniques was reviewed and separated into 5 processing categories: Ore Sorting/Particle Sizing, Concentration, Milling, Hydrometallurgy, and Flotation & Flocculation. In the results part, considering the techniques mentioned in this study as well as the results of industrial-scale applications, it was stated that artificial intelligence applications in ore plants will grow in the future, and existing methods will improve.
Keywords: Mineral Processing; Artificial intelligence, Automation; Industry 4.0

1 INTRODUCTION

The Mineral Processing Sector is one of the most significant and necessary components of the industry today. So much so that practically all products and goods used in daily life are produced from industrial raw materials, metals, and other minerals that have been processed. As in other fields since the Industrial Revolution, this production process has become autonomous. One of the most important causes for this increase in production is advancements in artificial intelligence. Today, there are numerous applications of artificial intelligence, whose name is frequently mentioned. They have expanded and succeeded in a wide range of applications, from everyday but important applications like weather forecasting (Jaseena &Kovoor, 2020), face recognition (Taskiran et al., 2020), voice assistants (de Barcelos Longo & Padovano., 2019), and spam filtering (Dada et al., 2019) to complex concepts like autonomous cars and robots (McCoy & Auret, 2019). These breakthroughs in artificial intelligence, combined with the rapid growth of the Internet of Things, Big Data, and the fourth industrial revolution, have enhanced interest in data science in a variety of fields, including mineral processing engineering. Although not as widespread as in others, the use of artificial intelligence approaches is being studied in the mineral processing field. There are several AI algorithms, such as CNN (Convolutional Neural Networks), the SVM (Support Vector Machine), the LSTM (Long-Short Term Memory), that can vary in mineral processing depending on the application (Fu & Aldrich, 2020). In this paper, artificial intelligence applications in mineral processing were reviewed regarding Industry 4.0 Applications and current literature studies on the subject between 2017 & 2021 were included.

2 GENERAL INFORMATION

2.1 Definition of Artificial Intelligence

Artificial intelligence is a branch of computer science and an area of research designed to analyze intelligence functions using computer models and to apply them after they are formalized to artificial systems. The purposes of the artificial intelligence studies can be described as: Try to understand, using computer models, the functions of the human brain, to explore the mental capacity of people in acquiring knowledge, learning and inventing through strategies, methods, and techniques, formalization and application of these learning methods as for computer information systems, to develop interfaces between humans and computers to facilitate human computing and develop 'research assistants' for scientific research and inventions.

2.2 Industry 4.0

Many factors are setting the basis for a new industrial revolution, including the influence of technical currents on the global economy, the need for skilled workers, scant production resources, and regional crises. Today demand for flexibility raised in markets. Rapidly changing customer demands and complex supply chains lead to necessitate flexible manufacturing environments capable of quickly and efficiently adapting produced goods to market demands (Nagakawa et al., 2021). As a consequence of these, In Germany, a working group was constituted to develop solutions. They presented a set of implementation recommendations about the term “Industry 4.0” to the German Federal Government in 2011. Industry 4.0 is an industry-technology integration that started years ago and has started to be implemented in developed countries. It is the transformation of Industry 3.0, which began with automation, into Industry 4.0, which contains digitalization concepts like data collection and monitoring, sensors, inter-machine connections, artificial intelligence, cybersecurity, and industrial robots.

2.3 AI & Industry 4.0

The most significant contribution of the Industry 4.0 revolution to manufacturing is the efficient production of intelligent robots. In this way, it is hoped that machines and devices made smart by artificial intelligence will be able to do everything that humans can and struggle to do. It is not, however, limited to this. For example, machines that can produce even in dark environments, i.e., the concept of production in a dark factory, are beginning to be discussed for the first time in conjunction with Industry 4.0 and Artificial Intelligence. Intelligent machines that communicate information, paper, and data using Industry 4.0 and Artificial Intelligence technologies can also produce the most efficiently in low-light environments (Banger, 2018). These smart factories depart from the definition of a place surrounded by four walls where production is conducted by taking an active role in post-production issues such as post-production stock control, customer requests, problems, feedback, product life cycle, and product improvement. It is a factory with a technological structure that can predict malfunctions that may occur in the production process and make the production process more efficient.

3 AI* APPLICATIONS IN MINERAL PROCESSING

3.1 Utilized Techniques

To reduce operating costs, it is vital to operate high-performance machinery and equipment in a mineral processing plant, as well as to provide product quality and variety conditions. Automation saves money by utilizing smart sensors and software. The mining industry's interest in utilizing AI approaches in mineral processing engineering has grown in recent years. To enhance plant efficiency, reduce costs, and increase the trend for automation in mineral processing plants, several artificial intelligence techniques were studied. Modeling, design, and optimization are the main methods in the utilizing of AI in Mineral Processing. Soft computing, which has been used in the modeling of mineral processing applications, is highlighted (Cisernas et al., 2020). Soft computing is a collection of computational techniques that are based on artificial intelligence (Choudhury et al., 2016), including neural network fundamentals, fuzzy logic, and genetic algorithm that in turn provide superiority of humanlike problem-solving capabilities in an environment of uncertainty and precision. (Zadeh, 1994)

3.2 Literature Reviews

Among the applications of the methods is the modeling of mineral processing engaged in core processes such as ore sorting/particle sizing, concentration, grinding, hydrometallurgy, flotation & flocculation. Machine learning applications in mineral processing between 2004 and 2018 were reviewed by McCoy and Auret (2019). The applications from the past to the present are given in this section. This chapter reviews the literature about artificial intelligence techniques separated into 5 categories: Ore Sorting/Particle Sizing, Concentration, Milling, Hydrometallurgy, and Flotation & Flocculation.

3.2.1 General and Lab. Scale Applications

Some examples of ore sorting applications include, for example, image texture modeling methods to estimate size fraction categories of coal particles on conveyor belts (Jemwa & Aldrich, 2012). To find a reliable machine learning classifier for identifying various heavy minerals from sand river samples, Hao et al., (2019) used several approaches like Decision Tree, RF (Random Forest), Bayesian Network, SVM (Support Vector Machines). As a concentration application example, Diaz et al.(2021) proposed a random forest model predictive control for paste thickening processes. To give examples of the grinding process, for instance, Nez et al. (2014) created a fuzzy model for estimating

the weight of a semi-autogenous grinding (SAG) mill in a future time. To control SAG mill circuits, Hadizadeh et al. (2018) used a plant-scale validated MATLAB-based fuzzy expert system. More recently, Villanueva et al., (2020) applied multiple regression techniques for modeling the SAG mill system. To highlight the flotation process, Estrada-Ruiz and Pérez-Garibay (2009), for example, used a multilayer perceptron, a type of neural network, to estimate the mean bubble diameter and bubble size distribution on the mineralized froth surface. Saravani et al. (2014) built a fuzzy model to predict the performance of an industrial flotation column. Meanwhile, Jahedsaravani et al. (2014) forecasted copper recovery, copper concentrate grade, concentrate mass recovery, and water recovery in batch flotation concentrate using a multilayer perceptron.

3.2.2 Plant Scale Applications

Plant scale applications are also available. For instance, in the Gökırmak Copper Plant in the Kastamonu region, FrothSense software and smart sensors are used which enables immediate monitoring of flotation cells using the machine vision technology, and the parameters such as the air and foam speeds are automatically adjusted based on the grade and efficiency results from the cells. Also, the Iranian copper plant could provide another example. Artificial Neural Networks were used to predict Cu, Mo, and Re recoveries in bioleaching tests using a mixed culture of mesoacidophilic microorganisms enriched from the Sarcheshmeh Copper Mine (Abdollahi et al., 2019)

4 RESULTS & CONCLUSION

The advancement of artificial intelligence applications, and thus automation, in mineral processing, will benefit from lower costs such as used reagents, electricity consumed, concentration, and thus more optimized and efficient facility operation. As a result, artificial intelligence techniques should be implemented in mineral processing plants. While there are some examples in specific mineral processing plants, this type of novel application has arrived relatively late in heavy industry sectors such as mineral processing. A probable reason for this could be that companies plan their feasibility and projects for 10-15 years or more since they are hesitant to revise and make changes to previously established mineral processing facilities for financial reasons. This impediment will be overcome as the number of different industrial applications mentioned in the article continues to expand.

ACKNOWLEDGEMENTS

I'd like to thank our esteemed jury, as well as my advisor, Assoc. Dr. Birgül Benli, for her assistance in writing this article.

REFERENCES

Jaseena, K. U., & Kovoor, B. C. (2020). Deterministic weather forecasting models based on intelligent predictors: A survey. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.09.009

Taskiran, M., Kahraman, N., & Erdem, C. E. (2020). Face recognition: Past, present and future (a review). *Digital Signal Processing*, *106*, 102809. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dsp.2020.102809

de Barcelos Silva, A., Gomes, M. M., da Costa, C. A., da Rosa Righi, R., Barbosa, J. L. V., Pessin, G., De Doncker, G., & Federizzi, G. (2020). Intelligent personal assistants: A systematic literature review. *Expert Systems with Applications*, *147*, 113193. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113193

Dada, E. G., Bassi, J. S., Chiroma, H., Abdulhamid, S. M., Adetunmbi, A. O., & Ajibuwa, O. E. (2019). Machine

learning for email spam filtering: review, approaches and open research problems. *Heliyon*, *5*(6), e01802. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01802

Jemwa, G. T., & Aldrich, C. (2012). Estimating size fraction categories of coal particles on conveyor belts using image texture modeling methods. *Expert Systems with Applications*, *39*(9), 7947–7960. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.01.104

Hao, H., Guo, R., Gu, Q., & Hu, X. (2019). Machine learning application to automatically classify heavy minerals in river sand by using SEM/EDS data. *Minerals Engineering*, *143*(August), 105899. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.105899

Núñez, F., Silva, D., & Cipriano, A. (2011). Characterization and Modeling of Semi-Autogenous Mill Performance Under Ore Size Distribution Disturbances. *IFAC Proceedings Volumes*, *44*(1), 9941–9946. https://doi.org/https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.02199

Diaz, P., Salas, J. C., Cipriano, A., & Núñez, F. (2021). Random forest model predictive control for paste thickening. *Minerals Engineering*, *163*(November 2020). https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106760

Estrada-Ruiz, R.H.; Peérez-Garibay, R. Neural networks to estimate bubble diameter and bubble size distribution of Dotation froth surfaces. J. S. Afr. Inst. Min. Metall. 2009, 109, 441–446

Saravani, A.J.; Mehrshad, N.; Massinaei, M. Fuzzy-Based Modeling and Control of an Industrial Flotation Column. Chem. Eng. Commun. 2014, 201, 896–908. DOI: 10.1080/00986445.2013.790815

Jahedsaravani A, Marhaban MH, Massinaei M (2016) Application of statistical and intelligent techniques for modeling of metallurgical performance of a batch flotation process. Chem Eng Commun 203:151–160. https://doi.org/10.1080/00986445.2014.973944

Zadeh, LA. (1965) Fuzzy sets. Inf Control 8:338–353. https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X

Longo, F., & Padovano, A. (2020). Voice-enabled Assistants of the Operator 4.0 in the Social Smart Factory: Prospective role and challenges for an advanced human–machine interaction. *Manufacturing Letters*, *26*, 12–16. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2020.09.001

McCoy, J. T., & Auret, L. (2019). Machine learning applications in minerals processing: A review. *Minerals Engineering*, *132*, 95–109. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.12.004

Fu, Y., & Aldrich, C. (2020). Deep Learning in Mining and Mineral Processing Operations: A Review. *IFAC-PapersOnLine*, *53*(2), 11920–11925. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.712

Cisternas, L. A., & Lucay, F. A. (2020). Multiphase Systems in Minerals Processing. *Minerals*, 1–28.

Çözünmüş Hava Flotasyonunun İnce Boyutlu Sülfürlü Bakır Cevheri Üzerinde Uygulanabilirliğinin Belirlenmesi

Determination of Applicability of Dissolved Air Flotation on Fine Size Sulphide Copper Ore

K. Aydınburun, B. Tunç, Ş. B. Aydın
İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Artan toplum nüfusunun ihtiyaçlarına paralel olarak madencilik ile elde edilen hammadde kaynakları gün geçtikçe azalmaktadır. Günümüzde iri boyutlarda serbestleşen cevherlerin tükenmesinin sonucu olarak daha ince boyutlu cevherlerin işletilmesi zorunluluğu doğmuştur. Flotasyon yöntemi genellikle 200-38 mikron arasında özellikle sülfürlü ve kompleks yapıdaki cevherler için etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak daha ince boyutlu ve içerisinde değerli mineral içeren malzeme artık olarak atılmaktadır. Bu durum hem tesis verimliliği hemde atık yönetimi açısından sorunlar yaratmaktadır. Bu çalışmada flotasyon yöntemlerinden birisi olan çözünmüş hava flotasyonunun uygulanabilirliği incelenmiştir. Çözünmüş hava flotasyonu özellikle atık su arıtımı konuları gibi alanlarda yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Basınçlı havanın su içerisinde çözünmesi ile küçük çaplı kabarcıklar oluşturulması ile çalışan bu yöntemin ince tanelerin kazanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.
Anahtar kelimeler: Çözünmüş hava flotasyonu, sülfürlü bakır minerali, kollektör miktarı

ABSTRACT In line with the needs of the increasing population, the resources of raw materials obtained by mining are decreasing day by day. Nowadays, as a result of the depletion of coarse liberated ores, the necessity of processing thinner-sized ores has emerged. Flotation method is generally used effectively for ores with a sulfuric and complex structure between 200-38 microns. However, the finer-sized material containing valuable minerals is discarded as waste. This situation creates problems in terms of both facility efficiency and waste management. In this study, the applicability of dissolved air flotation, which is one of the flotation methods, has been investigated. Dissolved air flotation is a method widely used in areas such as waste water treatment. The effects of this method, which works by dissolving compressed air in water and forming small diameter bubbles, on the recovery of fine particles were investigated.
Keywords: Dissolved air flotation, sulphide copper mineral, collector quantity

1. GİRİŞ

Günümüzde daha ince boyutlarda serbestleşen cevherlerin varlığı cevher hazırlamanın da değişimi ve yenilenmesini gerektirmektedir. Bu yenileme mevcut cihazların ve proseselerin yeni keşfedilen teknolojik gelişmelere adapte edilmesi aynı zamanda da kullanılan teknolojilerin üzerine ihtiyaçlar doğrultusunda yenilerinin eklenmesi şeklinde olmaktadır. Bununla birlikte modern dünyada atık üretmeden üretim yapmak ve kullanılan tüm

malzemenin değerlendirilmesi artan küresel nüfus ile artık bir zorunluluk halini almaya başlamıştır. Üretilen atıkların geri dönüşümü ve malzemeden maksimum verimi almakta buna çözüm olacaktır. Flotasyon konusunda ise genel olarak uygulanan mekanik hücre flotasyonunda -20 mikron ve daha ince boyutlarda mineral tanelerinin hava kabarcıklarına yapışma olasılığı azaldığından bu boyutlarda serbestleşen değerli mineraller artık olarak atılmaktadır. Bu çalışma kapsamında -38 mikron ve daha ince boyutlu tanelerin çözünmüş hava flotasyonu ile yüzebilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla ince boyutlarda serbestleşen bir sülfürlü bakır cevheri üzerinde çözünmüş hava flotasyon tekniğinin etkisinin belirlenmesi için deneyler yapılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Çözünmüş Hava Flotasyonu

Çözünmüş hava flotasyonu havanın basınç altında çözülmesi ve bir yüzdürme tankında atmosferik basınçta serbest bırakılması ile gerçekleşen bir yöntemdir. Açığa çıkan hava, asılı kalmış parçacıkların içerisinden geçerken yapışma ve yukarı hareket etmelerine sebep olur ve bu parçacıklar yüzeyde bir sıyırıcı yardımıyla toplanabilir. Bu yöntem ince boyutlu malzemeler için uygulanmaktadır.

2.2. Çözünmüş Hava Flotasyonu Su Arıtımı Uygulamaları

1960'ların sonlarından beri Avrupa'da içme suyu arıtımı için çözünmüş hava flotasyonu (ÇHF) kullanılmasına rağmen, Kuzey Amerika'daki birçok içme suyu arıtma için hala yeni bir uygulama olarak bilinmemektedir. ABD'deki ilk ÇHF içme suyu tesisi, 1982'de Lenox, Mass.'da devreye alınan Krofta ÇHF sistemiydi. Çözünmüş hava flotasyonu, çökelmenin etkili olmadığı düşük sıcaklıklarda ham sudan yosun veya renk oluşturan organikleri arıtmak için ideal olan bir arıtma işlemidir.

2.3. Çözünmüş Hava Flotasyonu Cevher Hazırlama Uygulamaları

Çözünmüş hava flotasyonu tekniğinde en önemli parametrelerden birisi kabarcıkların boyutudur. Kabarcık boyutlarının özdeş olması gerekli bir parametredir. Bunun için ortamda iyon bulundurulması kabarcıkların boyut stabilizasyonunu etkileyebilir. Bu tekniğin su arıtımında ve petrol endüstrisinde yaygın kullanımı ve ince parçacıkların yakalanmasındaki başarısı cevher hazırlamada da uygulanabilir olabileceğini düşündürmektedir.

Talk mineralinin çözünmüş hava flotasyonu tekniği ile tuzlu su ortamında yüzebilirliğinin belirlenmesi için yapılan bir çalışmada talkın doğal hidrofobik özelliği göz önünde bulundurularak, çözünmüş iyonların etkisi ile talkın yüzebilirliği incelenmiştir. Deneylerde uygulanacak optimum basınç 40 psi ve en uygun tane boyutu ise -106+38 μm olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda ince boyutlu tanelerin tuzlu su ortamında yüzebilirliği ile ilgili olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Tuzlu su ortamında yapılan deneylerde Na tuzlu su konsantrasyonunun değişiminin deneye etkisi olmazken Mg tuzunun konsantrasyonundaki artışın verimi %14 oranına kadar arttırdığı belirlenmiştir. Bu teknik için örneğin farklı gazlar kullanmak gibi parametre değişiklikleri yapılarak yeni deneylerle desteklenmesinin etkili olacağı belirtilmiştir (Çinku v.d., 2018).

Karadeniz (2019), yaptığı çalışmada elmas tozlarının geri kazanımı için yapılmış çözünmüş hava flotasyonunda 30 g olan öğütülmüş elmas tozları kullanılarak farklı pH, basınç ve beslenen hava ile doymuş su miktarı parametreleri ile toplam miktarı. Çalışma sonucunda basınç ve beslenen doygun su miktarı arttıkça geri kazanılan

elmas miktarının da arttığı gözlemlenmiştir. Elmas kesimi sırasında çıkan tozların ince taneli tozları bu yöntemle geri kazanılabileceği ve pırlanta sektöründe yeniden kullanılarak katkı sağlayacağı belirlenmiştir.

Başka bir çalışmada saf kuvars için çözünmüş hava flotasyonu kollektör olarak amin kullanılarak deneyinde, saf halde kuvars minerallerinden %6 ile %53 arasında kazanım sağlanmıştır. Bu değer aralıkları farklı kollektör konsantrasyonuna göre değişim göstermiştir. Deney sırasında kabarcık çapları sayıca %94'ü 100 mikron altı olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu çalışmada, çözünmüş hava flotasyonu ile yapılan uygulamalarda kabarcık standartizasyonunun oldukça önemli olduğu belirlenmiştir (Englert vd., 2009).

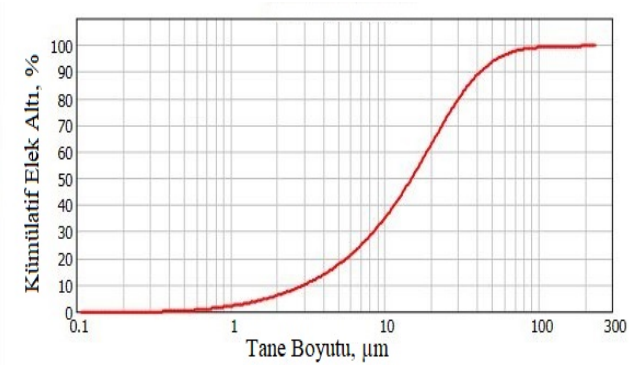
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Malzeme

Çalışma kapsamında kullanılan sülfürlü bakır numunesi Siirt Madenköy bölgesinden temin edilmiştir. Siirt-Madenköy cevher numunesinden seçilen örneklerden yapılan mikroskobik incelemeler sonucu, cevher bileşiminde; pirit, kalkopirit, sfalerit, markasit, pirotin, galen, rutil, hematit, götit, limonit, kalsit, siderit ve kuvars minerallerinin bulunduğu tespit edilmiştir (Ceylan, 2016). Numunenin tamamı -2 mm altına kırılmıştır. Kırılan cevher daha sonra bilezikli değirmende öğütülmüş ve ardından numunenin kimyasal analizi yapılmıştır. Kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.1'de gösterilmektedir. Kimyasal analiz sonucuna göre numunenin %1,40 Cu, %44.10 Fe ve %26.92 S içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Deneylerde kullanılacak -2 mm tane boyutundaki malzeme 1 saat öğütme süresinde ve %60 pülpte katı oranında bilyalı değirmende öğütülerek kontrollü olarak -38 mikron boyutuna indirilmiştir. Öğütme sonrası malzemenin boyut fraksiyonunu belirlemek için Malvern Mastersize 2000 tane boyut ölçüm cihazında analiz yapılmıştır. Numunenin boyut fraksiyonu Şekil 3.1'de verilmiştir. Boyut analizine göre malzemenin d_{80} boyutu 30 mikron civarındadır.

Tablo 3.1. Tüvenan Cevherin Kimyasal Analizi

Element	İçerik (%)
Cu	1,40
S	26,92
Fe	44,10
SiO_2	12,31



Şekil 3.1. Boyut Fraksiyonu Grafiği

3.2. Deney Düzeneği ve Deneyin Yapılışı

Deney düzeneği, basınçlı hava üretmek için kullanılan bir kompresör, basınçlı havanın suyun içerisinde çözünmesi için bir çözündürme hücresi ve flotasyon işleminin gerçekleştirildiği bir flotasyon hücresi olarak 3 ana parçadan oluşmaktadır. Çözündürme tankında 3 adet giriş bulunmaktadır. Şekil 3.2.'de de görüleceği üzere birincisi kompresörden hava girişi sağlayan giriş, ikincisi çözünmüş havayı flotasyon tankına aktaran borunun bağlı olduğu giriş ve üst tarafta hem hücreye su besleme hem de hücre içindeki basıncı boşaltmaya yarayan giriştir. Üstte ve flotasyon tankına açılan kısımlarda vanalar, kompresör bağlantısında ise tek taraflı çalışan bir valf bulunmaktadır. Çözündürme tankındaki çözünmüş hava içeren su, flotasyon tankına ucunda ince

uçlu nozul bulunan bir bağlantı borusu yardımıyla beslenmektedir.

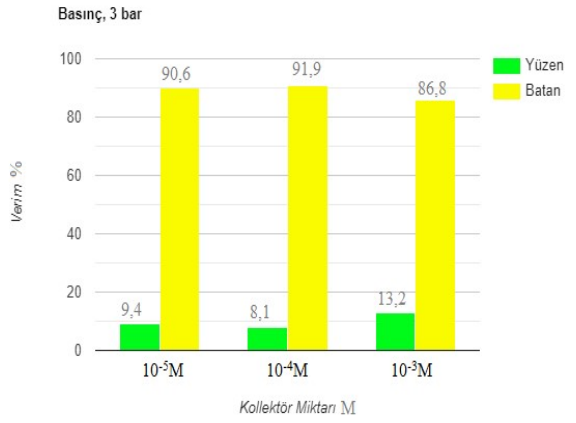
Şekil 3.2. Deney Düzeneği

Deneylerde çözündürme kabındaki su içerisinde, 10 dk boyunca hava çözündürülmüştür. Eş zamanlı olarak bir manyetik karıştırıcı ile ayrı bir beherde %1 pülpte katı oranında 5 g numune kullanılarak toplam hacim 500 ml olacak şekilde karışım hazırlanmıştır. pH 11'de yapılan deneylerde kollektör olarak KEX (potasyum etil ksantat) kullanılmıştır. 5 dk'lık kondüsyonun ardından köpürtücü olarak MIBC (20 mg) ilave edilmiştir. pH düzenleyici olarak kireç kullanılmıştır. Hazırlanan bu çözelti 1 L'lik flotasyon hücresine ilave edilmiş ve manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırılmaya devam edilmiştir. Daha sonra çözündürme hücresinin vanası açılarak su flotasyon hücresine beslenmiştir. Taşma anından itibaren 20 sn süresince yüzen ürün alınmıştır. Yüzen ve flotasyon hücresi içerisinde kalan kısım (batan) ayrı ayrı kurutulup kimyasal analizi yapılmıştır.

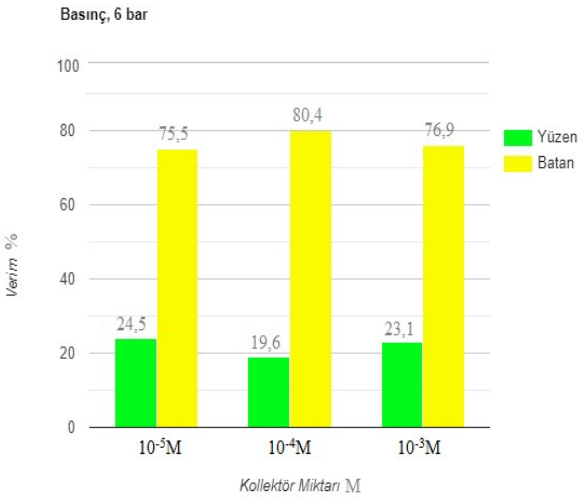
3.3. Deney Sonuçları

3.3.1. Basıncın ve Kollektör Miktarının Etkisi

Çözünmüş hava flotasyonunda basıncın etkisini belirlemek için 6 bar ve 3 bar basınçlarda su içerisinde hava çözündürülmüştür. Aynı zamanda her iki basınçta KEX kollektörünün miktarının etkisini belirleyebilmek için 10^{-3}, 10^{-4} ve 10^{-5} M KEX konsantrasyonunda deneyler yapılmıştır. 6 bar basınçta ve 3 bar basınçta farklı KEX konsantrasyonlarında yapılan deneylerin sonuçları sırasıyla Şekil 3.3'de ve Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında her iki basınçtada bakır verimleri açısından iyi sonuçlar elde edilememiştir. Ancak 6 bar basınçta alınan sonuçların 3 bar basınca göre daha iyi olduğu belirlenmiştir. İlave edilen kollektör miktarlarının yetersiz olduğu daha yüksek konsantrasyonlarda deneyler yapılması gerektiği saptanmıştır.



Şekil 3.3. 3 bar basınçta bakır verimi



Şekil 3.4. 6 bar basınçta bakır verimi

4. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında çözünmüş hava flotasyonu ile ince boyutlu sülfürlü bakır

cevherinin zenginleştirilebilirliği incelenmiştir. Deneylerde Eti Bakır A.Ş'ye ait Siirt Madenköy işletmesinden temin edilen sülfürlü bakır cevheri ile çalışılmıştır. Boyut küçültme işlemleri ile d_{80} boyutu yaklaşık 30 mikron olan malzeme ile basınç ve kollektör miktarının etkisi incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre 6 bar basınç ile elde edilen bakır verimlerinin 3 bar basınca göre daha iyi olduğu ancak kollektör miktarının yetersiz olduğu belirlenmiştir. Daha sonraki çalışmaların 6 bar basınçta ve 10^{-3} M'dan daha yüksek kollektör konsantrasyonlarında yapılması gerekmektedir. Ayrıca KEX kollektörüne ilave olarak bakır için daha selektif olan kollektörlerde incelenmelidir. Deneylerde piritin bastırılması için sadece pH değeri 11 civarında sabitlenmiş, herhangi bir pirit bastırıcısı ilave edilmemiştir. Bu konuda yapılacak daha sonraki çalışmalarda bastırıcı etkisinin de incelenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Atak, S. (2017). *Flotasyon.* İstanbul: İTÜ Vakfı Yayınları

Çinku, K., Bekçi, G., Özdemir, O., 2018. Çözünmüş Hava Flotasyonu (ÇHF) Tekniği ile Talkın Tuzlu Sularda Yüzebilirliği. Madencilik, 2018, Özel Sayı, 9-16.

Englert, A.H., Rodrigues, R.T., Rubio, J., 2009. Dissolved Air Flotation (DAF) of Fine Quartz Particles Using an Amine as Collector. Int. J. Miner. Process, 90, p. 27–34.

Fuerstenau, M., Jameson, G., & Yoon, R.-H. (2007). Froth Flotation. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc.

Karadeniz, M.B., 2019. İnce Taneli Elmas Tozlarının Çözünmüş Hava Flotasyonu (ÇHF) Yöntemi ile Geri Kazanımı Olanaklarının Araştırılması, İstanbul Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.

Wong, J., 2013. Clarifying Treatment: Dissolved Air Flotation Provides Alternative for Treating Raw Water with Light Particles.

Bakır-Kurşun-Çinko Madenciliği ve Üretim Tesisleri
Copper-Lead-Zinc Mining and Production Plants

S.B. Yazıcı, A.A. Sirkeci
İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği, İstanbul

ÖZET Bu çalışma, kompleks bakır-çinko-kurşun cevherlerinin, özellikle dünyadaki zenginleştirme tesislerinden örnekler verilerek, ekonomik değer taşıyan Pb-Cu-Zn mineralleri, rezerv dağılımları ve zenginleştirme yöntemleri gibi konuları ele almaktadır. Ayrıca cevher üretim miktarları, ülkelere göre dağılımları, fiyat – pazar ilişkileri üzerinde de durulmaktadır. Bu cevherlerde karşılaşılan zenginleştirme problemleri ele alınmakta ve konsantre üretim seçenekleri ile birlikte selektif konsantrelerin üretiminde kullanılan günümüzdeki teknikler ve üretim yerleri incelenmektedir.
Anahtar Kelimeler: bakır-kurşun-çinko, flotasyon, kompleks mineraller

ABSTRACT This study contains issues such as economically valuable Pb-Cu-Zn minerals, especially by giving examples from plants around the world, reserve distributions and enrichment methods of complex copper-zinc-lead ores. It also focuses on the amount of ore production, their distribution according to countries, price-market relations. The enrichment problems encountered in these ores are discussed and the current techniques and production plants used in the production of selective concentrates together with the concentrate production options are examined.
Keywords: copper-zinc-lead, flotation, complex ores

1 ANA BAŞLIK

Önemli temel metal malzemeler olan bakır, kurşun ve çinko modern endüstrinin çeşitli alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Sülfürlü cevherler baz metallerin ana kaynağını oluşturmaktadırlar. Bu metaller esas olarak kalkopirit, sfalerit, galen vb. gibi sülfit formlarında bulunurlar.

Kompleks sülfürlü cevherlerin seçimli flotasyonu mineralojik özelliklerine, minerallerin serbestleşme durumlarına ve cevherlerin flotasyon kimyasındaki farklılıklarına bağlı olarak oldukça problemli olmaktadır. Dünyada halen yüksek seçimlilikte zenginleştirilmesi yapılabilmesi için deneysel çalışmalar yapılmaktadır.

Bu tip cevherler bakır, kurşun, çinko ve hatta pirit konsantreleri üretilebileceğinden ve eğer varsa altın/gümüş içeriğine göre diğer metalik cevherlerden çok daha fazla nominal değere sahiptirler. Özellikle bakır fiyatlarındaki artış ve artan talep bu cevherlerin zenginleştirilmesini cazip kılmaktadır.

1.1 Cu-Pb-Zn Yatakları

Bakır-kurşun-çinko cevherleri, bakır-çinko ve kurşun-çinko cevherleriyle benzer yataklardan gelmektedir. Ancak istisnai

olarak bakır, kurşun ve çinko içeren cevherler ekonomik açıdan değerlendirilebilir minerallerin başında gelir. Ayrıca, bu cevherlerden bazıları büyük miktarda değerli metal ve az da olsa kobalt ile nikel de içerirler.

Türkiye mevzubahis madenler bakımından geniş imkânlara sahiptir. Bilhassa MT.A. Enstitüsünün yapmış olduğu jeolojik ve prospeksiyon etüdleri neticesinde bu madenlerimizin hangi jeolojik ünitelere bağlı olduğu ve memleket çapındaki dağılımlarının hangi bölgelerde yoğunlaştığı artık bilinmektedir. Potansiyel bakımından önem sırasına göre 1. Doğu Pontitler Bölgesi, 2. Orta ve Doğu Toroslar Bölgesi, 3. Güney Marmara Bölgesi, 4. Merkezi Anadolu Bölgesi olmak üzere bir sınıflandırma yapılabilir.

1.2 Türkiye'deki Rezerv Miktarları Ve Yerleri

Türkiye'de bilinen bakır yataklarından ancak 2 tanesi, dünya standartlarına göre, büyük bakır yatağı sınıfına girmektedir. Bunlardan birincisi Rize – Çayeli, ikincisi ise Artvin – Murgul yatağıdır. Türkiye toplam metal bakır rezervinin %80'ini teşkil eden bu iki yatağın haricinde kalan diğer bakır yatakları, dünya standartlarına göre küçük veya çok küçük yataklardır.

1.3 Dünya'daki Rezerv Miktarları Ve Yerleri

2019'da Şili, küresel bakır rezervlerinin yaklaşık %23'lük payıyla dünyanın en büyük bakır rezervlerine sahiptir ve onu %10'luk payla Avustralya ve Peru izlemektedir.

1.3.1 Cevher Üretim Miktarları

ICSG'ye göre; dünya bakır cevheri (tüvenan) üretiminde Türkiye 19. sırada yer almaktadır. Dünyadaki bakır üretiminin ancak %0,4 miktarı Türkiye'de çıkarılmaktadır. Bakır cevheri üretiminde Eti Bakır A.Ş.'nin liderlik yaptığı ülkemizde, diğer dikkate değer cevher üreticileri Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş. ve Park Elektrik Üretim Madencilik San. ve Tic. A.Ş.'dir.

1.3.2 Cevher Fiyat – Pazar İlişkisi

Dünyada ve ülkemizde bakır cevheri, bakır konsantresi ve blister bakır fiyatlarının tespitinde Londra Metal Borsası (LME)'nın, New York Metal Borsası (COMEX)'nın bakır fiyatları temel alınmaktadır. Ürün içeriğine göre değerli metaller satış fiyatını artırmakta, istenmeyen empüriteler ise bakırın fiyatı düşürmektedir.

2 KOMPLEKS CEVHERLERİ ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Sülfürlü minerallerinin zenginleştirilmesinde tüm dünyada kullanılan en yaygın yöntem flotasyondur. Flotasyonun uygulanmaya başladığı 1911 yılından günümüze kadar geçen süre içinde farklı minerallerinin flotasyon davranışlarının incelenmesine yönelik birçok araştırma yapılmıştır. Özellikle bakır, kurşun ve çinko metallerinin ana kaynağı olan kompleks sülfürlü cevherlerinin flotasyonu birçok araştırmacının ilgi odağı olmuştur.

2.1 Flotasyon

Bakır-kurşun-çinko polimetalik sülfid cevherlerinin flotasyonunda, bu sülfit minerallerinin ince bir şekilde iç içe gelişimleri ve benzer yüzebilirlikleri problem oluşturur. Bu sorunu çözmek için, yüksek verimli flotasyon reaktiflerinin geliştirilmesi ve kolon flotasyonu uygulaması dahil olmak üzere zenginleştirme işleminin optimizasyonu ile ilgili çeşitli deneysel çalışmalar halen yapılmaktadır.

Bakır-kurşun-çinko cevherlerinin flotasyonunda üç temel zenginleştirme tekniği yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu yöntemler aşağıdaki gibidir;

• Bakır, kurşun ve çinko konsantrelerini ayrı ayrı üretmek için bu cevherlerin sırayla yüzdürüldüğü seçimli bakır, kurşun ve çinko flotasyonu yöntemi.

• Toplu Cu-Pb flotasyonu ve ardından Zn flotasyonu yöntemi. Bakır-kurşun ayrımı, tenörü yükseltilmiş toplu konsantre üzerinde yapılır. Bu, bakır-kurşun-çinko cevherlerinin

flotasyonunda en yaygın olarak kullanılan yöntemdir.
• Toplu Cu-Pb-Zn flotasyonu ve toplu konsantreden seçimli Cu-Pb ve Zn flotasyonu yöntemi. Bu yöntem nadiren uygulanmakla birlikte cevherde birincil bakır mineralleri olarak bornit, kovellin ve diğer ikincil bakır sülfürlerinin olduğu cevherlerde etkilidir.

2.2 Liç

Sülfürlü bakır cevherlerinin çözündürülmesi için sıcaklık ve pH'a bağlı olarak; metal ve kükürdün her ikisinin de çözünebilir hale gelmesi, metalin çözelti ve kükürdün element halinde elde edilmesi hem metal hem de kükürdün çözünmemiş halde elde edilmesi tepkimeleri oluşturulabilir. Kompleks cevherlerden Cu, Pb, Zn gibi metallerin eldesinde uygulanan prosesler arasında ferrik klorür, ferrik sülfat, küprik klorür ve asit liçi bulunmaktadır.

3 ZENGİNLEŞTİRME TESİSLERİ

3.1 Türkiye'den Örnekler

Türkiye'de işletilmekte olan bakır-kurşun-çinko madenleri ve ait oldukları işletmeler aşağıdaki gibidir:
• Artvin-Murgul, ETİ Bakır A.Ş.
• Kastamonu-Küre, ETİ Bakır A.Ş.
• Rize-Çayeli, Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş.
• Diyarbakır-Ergani, ETİ Maden A.Ş.
• Siirt-Madenköy, Cengiz Holding
• Giresun-Espiye, ETİ Bakır A.Ş.
• Giresun-Şebinkarahisar, NESKO Maden
• Balıkesir-Balya, Esan Eczacıbaşı A.Ş.
• Çanakkale-Yenice, NESKO Maden
• Erzurum-İspir (proje kapsamında üretim başlangıcı 2022), Demir Export

3.2 Dünya'dan Örnekler

• Thalanga, Avustralya
• Black Mountain, Güney Afrika
• Antamina, Peru
• Mount Isa, Avustralya

4 SONUÇLAR

Bakır, kurşun ve çinko modern endüstrinin çeşitli alanlarında yaygın olarak kullanılan temel metal malzemelerdir. Günümüz dünyasında ve bundan önceki çağlarda da bu metallerin yeri oldukça önemli olduğundan arama programlarında en önde gelen metallerden olmuşlardır. Dünyadaki üretimleri, sülfürlü cevherlerin madencilik yöntemleri ile çıkarılması ve zenginleştirilmesi ile yapılmaktadır. Flotasyonda halen günümüzde bakır cevherinin zenginleştirmesinde yaygın olarak kullanılan bir zenginleştirme yöntemidir.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Ayhan Ali Sirkeci'ye, ilgisini ve önerilerini göstermekten kaçınmayan Bölüm Başkanımız sayın Prof. Dr. Gülay Bulut'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

KAYNAKLAR

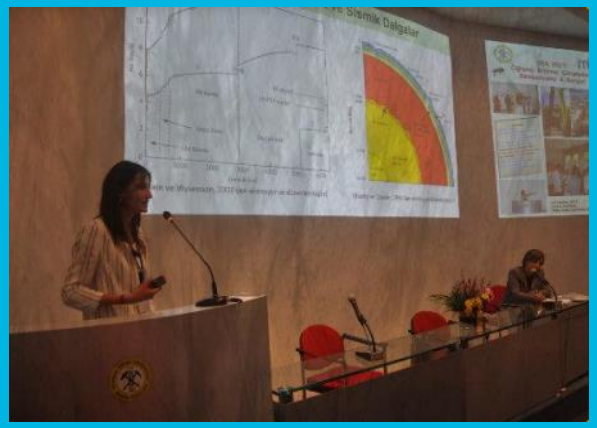
Perek, K. T. (2002). Küre Masif Zengin Bakır Cevherinin Basınç Altında Çözündürülmesi [Fen Bilimleri Enstitüsü]. Doktora Tezi. İ.T.Ü. Maden Fakültesi

Ovalıoğlu, R. (n.d). Türkiye Bakır-Kurşun-Çinko Madenleri Ve Bunların Arama-Değerlendirme Problemleri. https://www.maden.org.tr/resimler/ekler/52c296dfa59522f_ek.pdf

Göktepeli, A. (1974). Dünyada ve Türkiye'de Bakır Rezervi. Bilimsel Madencilik Dergisi. TMMOB Maden Mühendisleri Odası. Volume: 13, Issue: 2. 51-56.

Garside M. Distribution of copper reserves worldwide by country 2019 https://www.statista.com/statistics/605580/distribution-of-global-copper-reserves-by-select-country/

https://www.icsg.org/index.php/statistics/selected-data



P R O G R A M GMT+03:00

9:00 – 9:45 Açılış Konuşmaları
İTÜ Maden Fakültesi Dekanı Prof. Dr. Cengiz Kuzu
İTÜ Rektörü Prof. Dr. İsmail Koyuncu
AZTU Rektörü Prof. Dr. Vilayet Veliyev

I. OTURUM (Sektörden Davetliler)

Oturum Başkanı : Prof. Dr. Fahri Esenli

10:00–10:40 Recebov Mehdi , AzerGold "Azerbaycanın Taşkesen bölgesinde maden yatakları: demir ve kobaltın verimli üretim teknolojileri"

10:40–11:20 Ayhan Koçbay "DSİ su yapıları çalışmaları ve Türkiye'den örnekler"

11:20–12:00 Ahmet Tezcan " Eti Bakır A.Ş. Türkiye ve dünyada madencilik faaliyetleri"

12:00–12:40 Emre Kayışoğlu "Eti Bakır A.Ş. Mazıdağı Gübre ve Metal Geri Kazanım ve Eti Alüminyum A.Ş. Seydişehir Alüminyum Entegre Tesisleri"

12:40–14:00 Çevrimiçi Poster Sunumlar

II. OTURUM (Bitirme Tasarım Projeleri)

Oturum Başkanı Prof. Dr. Hanifi Çopur

14:00 – 17:00 İTÜ Maden Fak. Öğrenci Sunumları

17:00 – 17:30 Kapanış

Konferansa katılmak için ilgili başlığa tıklayınız. Öncesinde www. zoom.us adresinden üyelik işleminin tamamlanması gerekir.

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

Azərbaycan Texniki Universiteti

İ.T.Ü. MADEN FAKÜLTESİ

AZTU METALURJİ VE MALZEME BİLİMİ FAKÜLTESİ

Y E R 2 0 2 1

V I I I . Yerbilimlerinde Öğrenci Bitirme Tasarım Projeleri Sempozyumu ve Sergisi

29 Haziran 2021

Çevrimiçi konferans

DÜZENLEME KURULU

Prof. Dr. Cengiz Kuzu (Maden Fakültesi Dekanı)
Prof. Dr. Lütfiye Durak Ata (İTÜ, Rektör Yard.)
Prof. Dr. Sübhan Namazov (AZTU,Rektör Yard.)
Doç. Dr. Nizami Poladov (AZTU, Dekan)
Prof. Dr. Hanifi Çopur (Maden Müh. Böl. Bşk.)
Prof. Dr. Emin Çiftçi (Jeoloji Müh. Böl. Bşk.)
Prof. Dr. İnanç Türeyen (Petrol DG Müh.Böl. Bşk.)
Prof. Dr. Emin Demirbağ (Jeofizik Müh. Böl. Bşk.)
Prof. Dr. Gülay Bulut (Cevher Haz. Müh. Böl. Bşk)
Doç. Dr. Marziya Aghayeva (AZTU)
Doç. Dr. Sayyada Süleymanova (AZTU)
Doç. Dr. Akif Mensimov (AZTU)

YÜRÜTME KURULU

Doç. Dr. Hakan Tunçdemir (Dekan Yard.)
Doç. Dr. Marziya Aghayeva (AZTU)
Doç. Dr. Şenel Özdamar (Dekan Yard.)
Prof.Dr. Neslihan Ocakoğlu Gökaşan (Dekan Yard.)
Nurcan Sarpen (Maden Fak. Sekr.)
Doç. Dr. Ömür Acaroğlu Ergün (Maden Müh. Böl.)
Dr. Öğr. Üy. Demet Yıldırım (Jeoloji Müh. Böl.)
Dr. Öğr. Üy. Yıldıray Palabıyık (Petrol DG Müh.Böl.)
Doç.Dr. Tuna Eken (Jeofizik Müh. Böl.)
Dr. Öğr. Üy. K. Tahsin Perek (Cevher Haz Müh.)
Araş. Gör. Kürşat Hasözdemir (Maden Müh. Böl.)
Araş. Gör. H.Onur Dönmez (Maden Müh. Böl.)
Arş. Gör. Merve Uygur (Jeoloji Müh. Böl.)
Araş. Gör. M. Şerif Arslan (Petrol DG Müh.Böl.)
Araş. Gör. M. Hilmi Çevik (Petrol DG Müh.Böl.)
Araş. Gör. Ceyhun Erman (Jeofizik Müh. Böl.)
Araş. Gör. N. İlkyaz Dinç (Cevher Haz Müh.)

Bitirme Tasarım Projeleri Sözlü ve Poster Sunumlar

AZTU Öğrenci Sunumu

N. Aydemirova "Vanadyum ile Soğuk Şekillendirilmiş Kalıp Çeliklerinin Dayanıklılığının İyileştirilmesi"

Maden Mühendisliği Bölümü

S. Bozdoğan "TKİ-GLİ Ömerler Yeraltı Kömür Madeninde Çalışan Kesici-Yükleyicinin Kazı Performansının Tahmin Edilmesi"

Bitirme Tasarım Projeleri Sözlü ve Poster Sunumlar

Jeoloji Mühendisliği Bölümü

K. Tolun, B.Çıkrıkcı, S. Çetin "Gürpınar Pekmez (Beylikdüzü-İstanbul) Büyükçekmece Körfezine Bakan Yamaçta Gelişmiş Kütle Hareketinin Mekanizması ve Analizi"

Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü

F. Bolat, D. Çelik, M. İ. Güler "Designing carbon sequestration in a depleted oil reservoir considering sustainability aspects"

Jeofizik Mühendisliği Bölümü

Ö. Geze "Crustal properties across the central NAFZ inferred from receiver functions and the autocorrelation of teleseismic generated body waves"

Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü

S. Gürbüz "Atık Pillerden Lityum, Kobalt, Nikel ve Grafit Gibi Değerlerin Geri Kazanımı"

Bitirme Tasarım Projeleri Poster Sunumları

AZTU Metalurji ve Malzeme Bilimi Fakültesi

A. Mammadov "Pirometalurji endüstrisinde çıkan demir cevheri ürünlerinin kullanım olanakları"
A. Namazov "Sülfür cevherlerinden verimli altının çıkarılması için teknolojinin geliştirilmesi"
A. Aliyeva "Cıva ekstraksiyon teknolojisinin geliştirilmesi"
İ. Elyarzade "Güney Taşkesen demir cevheri yatağında serbest kobalt minerali üretimi için teknolojinin geliştirilmesi"
R. Mammadov "Taşkesen Cevher Rafinerisinde Atık Geri Dönüşüm Teknolojisinin Geliştirilmesi"
F. Hasanzade "Etkili Bakır Üretim Teknolojisinin Araştırılması"

Maden Mühendisliği Bölümü

G. İşlek "Yeraltı Madenciliğinde Dolgu Betonun Yeraltına Naklinin Alternatiflerinin Araştırılması"
T. Aslan "Tümad Altın Madeni Havalandırma Sisteminin İncelenmesi"
İ. Toprak "Tüprag Efemçukuru Yeraltı Madeninde Delme-Patlatma İşlerinin Etüdü"
O. A. Egehan "Esan Konya İnlice Altın Sahası Açık Ocak Şev Stabilite İşleri"
C. Uçar "Küre Bakır Yeraltı Madeninde Kaya Mekaniği Parametrelerine Göre Tahkimat Seçimi"

Bitirme Tasarım Projeleri Poster Sunumları

Jeoloji Mühendisliği Bölümü

N.E.Arlı, E.S.Araç "Kızkapanı (Keşan) Bölgesindeki, Zeolit Oluşumunun Mineralojik-Petrografik İncelenmesi ve Rezerv Değerlendirmesi"
D.D. Gökgöz, A. Uçar "Elazığ Hazar Gölü'nde Depremsel Türbiditlerin Sediment Karotlarında Çoklu Parametre Yöntemlerle Belirlenmesi"
M. Hanamirian "Çatalca Bölgesindeki Granitlerin (Çatalca ve Tepecik) Isı Üretme Kapasitesinin Belirlenmesi"
Ş. Yalçınkaya "Salda Gölü Çökellerinin ve Sularının Biyojeokimyası"
P. Koyuncu, Ö. Keleş "Investigation of Heavy Metals and Rare Earth Elements in İğneada-Mert Lake Placer"

Jeofizik Mühendisliği Bölümü

A. Pekdemir, F. A. Fidan "Ege Denizi - Batı Anadolu Bölgesi Depremlerinin (Mw >6.0) Coulomb Gerilme Değişimleri: 30 Ekim 2020 Mw 7.0 Sisam (Samos) Adası Depremi Örneği"
O. Arıcı "Balıkesir Dursunbey-Demirboku Sırtı Sahasında IP Yöntemi ile Kurşun Aramaları"
A. Yılmaz, S. N. Özdemir "Sismik Yansıma Yöntemi ile İngiltere Wessex Havzası'nda Olası Hidrokarbon Yapılarının Saptanması ve Yorumlanması"
B. Yücetürk "Bulanık Mantık ile Batimetri Verilerinde Hata Tespiti"
B. Güvem "Karadeniz'deki Gaz Hidrat Derinlikleri Kullanılarak Isı Akısı Hesaplanması"

Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü

U. Çakmakçı, E. Gökmen, A. Önder, Ö. L. Toktaş "Characterization and field development design of ITU field, a case study"
E. Adam, B. Köroğlu, B. Göral, T. Kaya "Reservoir characterization, analysis, and field development design of X oil field, a case study"
B. Akçealan, M. İ. Buldu, E. E. Çam, B. Lobut "Full-field development design of an oil field, a case study"
T. Özcan, İ. F. Umasugi "Effect of Number of Wells on the Design of An Underground Gas Storage Facility"
F. Bolat, D. Çelik, M. İ. Güler "Designing Carbon Sequestration in A Depleted Oil Reservoir Considering Sustainability Aspects"

Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü

A. Bayraktar "Cam Atıklarının Yeniden Değerlendirilmesinin Araştırılması"
G. Akça "The Characterization and Mechanical Separation of Metals from Printed Circuit Boards in Printers"
İ. H. Aksu "Otojen / Yarı Otojen Değirmen Dizaynında Uygulanan SAG Öğünebilirlik İndeksi Testi"
A. Esen "Cevher Hazırlamada Yapay Zeka Uygulamaları"
M. Yılmaz "Cevher ve göllerden lityum kazanımı: Teknolojiler ve tesisler"

İTÜ Maden Fakültesi
Ayazağa Yerleşkesi
www.mines.itu.edu.tr

© 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi

© 2021, İstanbul Technical University