

Yerbilimlerinde Öğrenci Bitirme Tasarım Projeleri Sempozyumu

> Editörler Cengiz KUZU Hakan TUNÇDEMİR Neslihan OCAKOĞLU





Yerbilimlerinde Öğrenci Bitirme Tasarım Projeleri Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, YER 2017, Maslak İstanbul, 12 Haziran 2017.

Yerbilimlerinde Öğrenci Bitirme Tasarım Projeleri YER 2017

Editörler

Cengiz Kuzu, Hakan Tunçdemir, Neslihan Ocakoğlu İTÜ Maden Fakültesi e-ISBN: 978-975-561-483-0



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

Temmuz 2017

Tel: +90 212 285 6062 Belgegeçer: +90 212 285 6080

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

YER 2017

Yerbilimlerinde Öğrenci Bitirme Tasarım Projeleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı

Editörler Prof.Dr.Cengiz KUZU Doç.Dr. Hakan TUNÇDEMİR Doç.Dr. Neslihan OCAKOĞLU





Düzenleme Kurulu

Prof. Dr. Cengiz Kuzu (Maden Fakültesi Dekanı)
Doç. Dr. Hakan Tunçdemir (Dekan Yard.)
Doç. Dr. Neslihan Ocakoğlu (Dekan Yard.)
Prof. Dr. Orhan Kural (Maden Müh. Bl. Bşk.)
Prof. Dr. M. Sezai Kırıkoğlu (Jeoloji Müh. Bl. Bşk.)
Doç. Dr. Gürşat Altun (Petrol ve Doğal Gaz Müh. Bl. Bşk.)
Prof. Dr. Argun Kocaoğlu (Jeofizik Müh. Bl. Bşk.)
Prof. Dr. Ayhan Ali Sirkeci (Cevher Haz. Müh. Bl .Bşk)

Yürütme Kurulu

Doç. Dr. Hakan Tunçdemir (Dekan Yard.) Doç. Dr. Neslihan Ocakoğlu (Dekan Yard.) Nurcan Sarpen (Maden Fak. Sekr.) Doç.Dr. C. Atilla Öztürk Doç.Dr. Seda Yolsal Çevikbilen Doç.Dr. Fırat Karakaş Yrd.Doç.Dr. İhsan Murat Gök Yrd.Doç.Dr. Demet Yıldırım Araş. Gör. Dr. Onur Güven Araş. Gör. Aykut Atadeğer Araş. Gör. Beril Karadöller Araş. Gör. Esra Tanısalı Araş. Gör. Gökhan Şans Araş. Gör. Hüseyin Demir Araş. Gör. Merve Uygur Araş. Gör. N. Gözde Okut Toksoy Araş.Gör. Özge Akyıldız Aras. Gör. Yusuf Enes Pural Araş. Gör. Zehra Altan Araş.Gör. Zeynep Çalışkanoğlu Araş.Gör. Zeynep Tarsus

Önsöz

"YER2017, Yerbilimlerinde Öğrenci Bitirme Tasarım Projeleri Sempozyumu ve Sergisi" yoğun bir fakülte ilgisi ve İTÜ Rektörü' nün katılımı ile açılmış; Etibakır, Gülsan Holding ve Türkiye Kömür İşletmeleri' nden konuşmacıların bakır ve kömür madenciliği ile geoteknik uygulamalar konularında yaptıkları sunumlar ile zenginleşmiştir.

Bilindiği üzere **YER2017**, Maden Fakültesi Bölümleri' nden yıl içinde mezun olan öğrenciler ile tez danışmanlarının yoğun emek harcayarak ürettikleri bitirme çalışmalarının bilim camiası ile paylaşılması amacıyla her yıl Haziran ayında yapılmaktadır. Bu yıl da 32 öğrencimizin posterlerini sergilediği, 5 öğrencimizin de sunum yaparak yer bilimleri camiasıyla buluştuğu sempozyum, ayrıca sektörden katılan temsilcilerle akademik şölen mahiyetinde icra edilmiştir.

Bu yıl bir yenilik olarak, **YER2017** çerçevesinde Maden Fakültesi Bölümleri' nin bitirme tezlerinden üretilerek hazırlanan posterler ve sunumlar, tam metinli bildiri formatında olmak üzere 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 23, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü 20, Jeofizik Mühendisliği Bölümü 19 bildiriyle ve birden fazla öğrenci grubuyla oluşturulmuş takım çalışması mahiyetindeki çalışmalarıyla Jeoloji Mühendisliği Bölümü 11 ve Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümümüz ise 13 bildiriyle sempozyuma katkı sağlamıştır.

Yer bilimleri alanında ifa edilen akademik bitirme çalışmaları emek yoğun ve aynı zamanda bilimsel sistematik gerektirmekte ve öğrenciler, araştırma görevlileri ve danışmanları bir araya getirmektedir. Üretilen "**Bitirme Tasarım Projeleri**" ise bir mesleğin üstün nitelikli olarak ilk uygulamaları olmaktadır. Bu nedenle bu türden faaliyetler fakültemizce çok önemsenmekte ve söz konusu çalışmaların daha da kapsamlı ve fayda sağlayan takım çalışmaları şeklinde olması için azami çaba gösterilmektedir.

"YER2017, Yerbilimlerinde Öğrenci Bitirme Tasarım Projeleri Sempozyumu ve Sergisi" nde, yoğun emek harcayan "Düzenleme Kurulu" ve "Yürütme Kurulu" üyelerine ayrıca teşekkür eder, üretilen çalışmaların daha sonra bu türden çalışmaları yapacak öğrenci ve akademisyenler için yol açıcı olacağına inancımı da vurgulamak isterim. YER2018' de buluşmak üzere !

Prof. Dr. Cengiz Kuzu, Maden Fakültesi Dekanı

Temmuz 2017

İÇİNDEKİLER

MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ Bitirme Tasarım Projeleri Bildirileri	13
A. Şimşek, A. Ramazani-Rend, A. Fişne; İmbat Madencilik A.Ş. Eynez Yeraltı Kömür Ocağında Merkezi Gaz İzleme Sisteminin İncelenmesi	15
W. A. Sari, H. Tunçdemir., Ö. Akyıldız ; Geostatistical Estimation of Pt Timah – Indonesia Reserves from Bore Loggings	20
B. Aktaş, O. Esen, A. Fişne; Eskişehir Alpu Havzası Kömür Damarlarının Gaz İçeriğinin Belirlenmesi	26
C. Kündem, C. Erdoğan, H. Tunçdemir; Investigation of the Mechanical Properties of Some Marbles	31
Ç. T. Şen, C. Erdoğan, H. Tunçdemir; Riva Tüneli'nin Stabilite Analizinin Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanan Yazılım ile Yapılması	36
F.F. Gökdeniz, O. Esen, A. Fişne, Y. Akyol; İmbat Madencilik Eynez Ocağında Ocak Havalandırma Direncinin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi	40
F. Karakoç, H. Tunçdemir, B. Koçak, L. Işık; Kademeli Kazılarda Gerilme ve Deformasyon Dağılımının İncelenmesi	45
F. Altun, H. Tunçdemir, Ö., Akyıldız; Bakırköy İDO-Bahçelievler-Kirazlı Metrosu Bakırköy İDO TBM Şaftının Tahkimat Sistemlerinin İncelenmesi	51
G. K. Eser, A. Soylu, H. Tunçdemir; The Work-Time Analysis of Semi-Mechanized Support System in Imbat Mining Incorporation	56
H. A. Azgın, H. Tunçdemir; Yeraltı Maden Açıklıklarında Görgül Olarak Önerilen Tahkimat Sistemlerinin Sayısal Yöntem İle Analizi	61
H. M. Yüksel, C. Kuzu; Tam Mekanize Yeraltı Kömür Madeni Üretim Ayağında Kullanılan Makine ve Ekipmanlar: Çayırhan Örneği	67
H. Artan, C. Balcı; Mecidiyeköy – Mahmutbey Metro Hattı Tünel Açma Makinesi Performans Analizi	72
İ. Arabacı, H. Tunçdemir, Ö. Akyıldız; Akdağlar Madencilik Ayazağa Agrega Ocağı Agregalarının Donma-Çözülme Koşulları Altında Aşınma ve Parçalanma Dirençlerinin Belirlenmesi	77
Latif Işık, Hanifi Çopur; Optimum Design of A NATM Tunnel By Using A Numerical Method	82

M. Öz, C. Erdoğan, Ö. Acaroğlu Ergün; Eti Bakır Küre Bakibaba Yeraltı Maden Ocağı İşletmesindeki Delici Makinaların Performans Analizi	87
N. Duran, H. Tunçdemir, A. Soylu, O. Esen; Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy S16A Şaftındaki Tahkimat Analizi ve Gecikmeler	93
O. Çolak, C. Erdoğan, H. Tunçdemir; Bazı Doğal Taşların Aşındırıcılıklarının İncelenmesi	98
O. Yüksel, T. Hüdaverdi, Ö. Akyıldız; Evaluation of Drilling & Blasting Operations in Tınaz Colliery İşkaya İnşaat A.Ş. Worksite	102
Ö. Comba, M. Seyedrezaei, D. Tumaç; Dudullu Bostancı Metro Tünelinde Çalış an Pasa Basınçlı Tünel Açma Makinesinin (EPB/TBM) Performans Analizi	106
C. Öznur, S. Hojjati, D. Tumaç; Doğuş İnşaat Üsküdar-Çekmeköy Metro Projesinde Kullanılan Darbeli Kırıcı Performans Analizi	111
Ş. T. Metin, H. Çopur; Tuzla Akfırat Atıksu Tüneli EPB TBM Performans Analizi	116
U. Bozoğlu, O. Güven, C. A. Öztürk; Doğal Taş Granitlerinin Dokusal Özelliklerinin Sayısallaştırılması ve Fiziksel ve Kesme Özellikleri İle İlişkilerinin Araştırılması	120
Y. Adıay, A. Ramazani Rend, O. Esen, A. Fişne; Eskişehir-Alpu Kömür Havzasında Bulunan B Sektörüne Ait Kömür Damarlarının Gaz İçeriğinin Belirlenmesi	124
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ Bitirme Tasarım Projeleri Bildirileri	129
B. Dirlik, U. Akın, M. A. Akpolat, R. Karagüzel, M. Erdoğan; Sapanca Gölü Batısının Hidrojeoloji İncelemesi	131
Ç. Culha, A. Orucov, M.E. Gök; The Impact of Ground Properties of Büyükçekmece Gürpınar Region (Istanbul) On The Bearing Capacity And Foundation Design	136
E. Arpacı, M. Karaman, M. Budakoğlu; Göl Suyu Askıda Katı Maddelerinin İz Element Jeokimyası, Acıgöl (Denizli)	141
E. Küçükdurmaz, E. Yeşil, G. Seçer, M. A. Kuru, Y. Çakıroğlu, M. Kumral; Kırklareli Demirköy Civarı Skarn Cevherleşmelerinin İncelenmesi	145
G. Yanardağ, E.V. Yavuz; Afşin - Elbistan Havzası Çöllolar Bölgesinde Yapılmış Sondajlar Yardımı ile Bölgenin Jeolojik Modelinin Oluşturulması	149
M. A. Akbar, H. B. Fithra, E. Çiftçi; Martabe High – Sulfidation Mineralization (Sumatra Island, Indonesia): Its Mineralogy and Genesis	154

M. Ülker, M. Kazımzade, R. Sezer; Çanakkale İli Biga İlçesi Sarnıç Köyü Civarındaki Kalsit Sahasının Jeolojik Jeokimyasal Özellikleri Ve Ekonomik Potansiyeli	158
N. Tuğ, E. Bozkurtoğlu, G. Şans; Büyükçekmece Gürpınar Bölgesi Jeolojik Birimlerinin Zemin Sınıfı ve Geçirimliliğinin Belirlenmesi	162
Ö.Taşdelen, T.Hüseynli, T.Ayvacı ; Sandıklı Güney Doğusundaki Volkanik Kayaçların Petrografisi ve NTE Potansiyelinin Belirlenmesi	167
T. Turgut, G. Uçarkuş; Çınarcık Havzası'nın Aktif Tektoniği ve Büyükada Güneyi Adalar Kıtasal Şelfinin Jeolojik Karşılaştırması	173
Y. Güneş, T. Altıok, B. Ayhan, R. Karagüzel, M. Erdoğan; Büyükçekmece Gölü Doğusunun Hidrojeoloji İncelemesi	176
PETROL VE DOĞAL GAZ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ Bitirme Tasarım Projeleri Bildirileri	182
E. Uslu, M. Dönmez, A. Çatak, M. Çınar; Sayısal Simülatör Kullanarak Buhar Basma Performans Tahmini	184
M. Ridwan, A. Yılmaz, M. Ş. Tarhan, E. D. Korkmaz Başel, Ö. İ. Türeyen, A. Satman ; Gaz Başlıklı Doymuş Petrol Sahasında Yeraltı Gaz Depolaması	189
A.B. Hoşafoğlu, M.D. Özçelik, Ö. Soylu, M.S. Ergül, Ş. Yamanlar; Gaz Yoğuşuk Kuyuların Üretim Sisteminin Tasarımı	194
E. Göçmen, M. Özyağcı, F. Yücekaya, E. D. Korkmaz Başel, Ö. İ. Türeyen, A. Satman; Doğal Gaz Sahasının Geliştirilmesi	199
H. Sarıkaya, R. Çetin, M.S. Ergül, Ş. Yamanlar; Petrol Kuyusunun Üretimi ve Dizaynı	203
A. Bakır, B. Onbaşı, İ. Pala, M. Çınar; Karot Örnekleriyle Yerinde Yanma Tasarımı	207
H. K. Dölek, İ. Gülmez, D. Ermen, İ. M. Mıhçakan; Akaryakıt Sızıntısı ile Kirlenmiş Sığ Yeraltı Katmanlarını İlgili Yönetmelikler Kapsamında İyileştirme Tasarımı	211
M. Altundağ, F. G. Yeşil, E. D. Korkmaz Başel, Ö. İ. Türeyen, A. Satman; Doğal Beslenme Konfigürasyonların ve Kuyu Sayısının Jeotermal Enerji Santralinin Kapasitesinin Tasarımı Üzerinde Etkisi	216
Z. M. Baday, Ş. Alkış, E. D. Korkmaz Başel, Ö. İ. Türeyen, A. Satman; Ağır Petrol Sahasının Geliştirilmesi	221
M. Hansaparov, R. Çapan, S. Gidici, Çınar M; Su Enjeksiyonu için Optimum Debinin ve Enjeksiyon Örüntüsünün Ticari Rezervuar Simülatörü ile Tespiti	226

N. Seyidov, O. Bayrak, A. Atadeğer, G. Altun; Açık Deniz Yatay ve S-Tipi Kuyu Tasarımı ve Paradigm Sysdrill Yazılımıyla Simülasyonu	230
Ş. Altan, M. E. Yıldırım, M. H. Özyurtkan; Doğu Kıbrıs'tan Yunanistan'a Sanal Bir Gaz Boru Hattının Tasarlanması	234
O. Ünal, M. Gündüz, S. Akman, M. H. Özyurtkan; Sysdrill Yazılımı Kullanılarak Denizdeki Yatay bir Sanal Kuyunun Tasarlanması	238
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ Bitirme Tasarım Projeleri Bildirileri	242
A. Annagylyjov, E. Demirbağ; Ham Sismik Kayıtların ECHOS Yazılımı Kullanılarakİncelenmesi	244
A. C. Can; Vibrosismik Kaynak Dalgacığı Modelleme Çalışması	249
A. Uzunalioğlu, N. Ocakoğlu, Z. Altan; Sismik Yansıma Verilerinde Genlik Kazanç Uygulamaları	253
A.A. Öz, H. Kurt, N. G. O.Toksoy; Zaman Ortamı Sismik Kesitlerinde Hız Anomalileri	257
A. Köklü, G. Örgülü; 14 Ocak-2 Mart 2017 Tarihlerinde Meydana Gelen Gülpınar- Ayvacık (Çanakkale) Depremlerinin Kaynak Parametreleri	261
B. Öznal, A. B. Güney; 1912 Mürefte Depreminin (Ms 7.3) Artçışok Alanında Zamana Bağlı b değerinin 1990-2016 Yılları İçin İncelenmesi	266
B. Çelik, A.Kaşlılar, U. Harmankaya; Locating Scattereres by Cross-Correlation of Drill-bit Noise	270
B. Turunçtur, T. Eken, J. M. Confal, T. Taymaz; İki Tabaka Anizotropik Ortamda Görünür S-dalgası Ayrışma Parametrelerinin Davranışları	274
C. Kocabal, T.Eken; Işınım Transferi Teorisinden Yararlanılarak Sismik Moment ve Kaynak Spektrum Analizi	280
C. Erman, S. Yolsal-Çevikbilen; P Dalgası İlk Hareket Yönleri Kullanılarak İtalya Depremlerinin (2012-2016) Odak Mekanizması Çözümlerinin Analizi	285
D. Keleş, S. Yolsal-Çevikbilen; 1967-2013 Yılları Arasında Kuzeybatı Ege Bölgesinde Gerçekleşen Depremlerin (Mw ≥ 5.7) Coulomb Stres Değişimleri	290
D. Ünlü, H. A. Kocaoğlu; Rayleigh Dalgalarından Zemin Sınıflamasında Kullanılan Vs30 Değerinin Doğrudan Kestirimi Yaklaşımının Sınanması	295
E. Gönül, H. Kurt, N.G.O. Toksoy; Tuz Kubbelerinde Düz Çözümle Sismik Modelleme	299

F.Ç.Gündüz, G.Örgülü; Çanakkale Ayvacık Depremlerinin (14 Ocak–2 Mart, 2017, M>4) Dalga Biçimi Modellemesi	304
G. İzgi, H. A. Kocaoğlu; Investigation of Field Parameters for the Use of Multichannel Analysis of Surface Waves Method	308
G. B. Yalçın, A. Kaşlılar; Frequency Domain Spiking Deconvolution	313
H. M. Arslan, T. Eken; P Dalgası Polarizasyonu Sapmalarından Hareketle Üst Mantoda Anizotropik Yön Kestirimi	318
İ. Bayrakçı, T. İşseven, G. Örgülü; Proton Manyetometresi Sensörünün Tasarım ve Üretimi	323
Ö. Bodur, E. Demirbağ; NMO Düzeltmesi ve Sismik Hız Analizi Üzerindeki Etkileri	327
CEVHER HAZIRLAMA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ Bitirme Tasarım Projeleri Bildirileri	331
A. Ballı, O. Güven, A.A.Sirkeci; Albit Ve Ortoklas'ın HF Kullanılmadan Tuz Varlığında Flotasyonla Ayrılma Olanaklarının Araştırılması	333
A.C. Tanrıkulu, K. T. Perek; Computer Aided Design of Coal Preparation Plants	337
A.U.Tarhan, F. Boylu; Ağır Ortam Siklonu Ayırma Performansının Belirlenmesi	341
A. Demirağ, F. Burat; Kuyumculuk Atıklarındaki Altın ve Gümüşün Flotasyon Yöntemi ile Geri Kazanımı	346
B. Güngörmez, H. Baştürkcü, G. Bulut; Effect of Oxalic Acid on Cleaning of Glass Sand	351
B. Sarıoğlu, O. Güven, H. Ateşok; İş İndeksi Tayininde Alternatif Yöntemler	355
B. Yalauç, O. Güven, M. S. Çelik; Şekil Faktörü ve Pürüzlülüğün Kalsit Cevherinin Flotasyon ve Koagülasyonuna Etkisi	360
C. Özdoğan, Z. Yeşilyurt, M.O. Kangal; Enrichment of Muğla-Milas Region Feldspar without using Hydrofluoric Acid	365
K.M. Anbar, Z. Yeşilyurt, A. Güney; Oksitli Bakır Cevherlerinin Flotasyonla Zenginleştirme Koşullarının Araştırılması	369
H.M. Çiftci, H. Baştürkcü, F. Burat; Kuyumcukent Atık Sularındaki Altının Geri Kazanımı	374
M. Yaşar, H. Baştürkçü, B. Benli; Sülfürlü Altın Flotasyon Konsantrelerinin İyileştirilmesinde Biyooksidasyon Yönteminin Kullanılabilirliğinin Araştırılması	378

M. Yaldız, B. Benli; Siyanürlü Suların Geri Kazanımına Yönelik Adsorptif Özellikte Polisülfon-Kil İnce Film Membranı Hazırlanması	382
M.T. Serdengeçti, M.O. Kangal; Iron Removal from Nepheline Syenite	387
M. Yeşilsancak, B. Benli; Madencilik Sularindan Siyanür Gideriminde Membran Filtrasyon Kullanimi	391
N.S. Kılıçoğlu, Z. Yeşilyurt, A. Güney; Bakırlı Çözeltilerden Doğal Kimyasallarla Nano Boyutlu Sıfır Değerlikli Bakır Eldesinin İncelenmesi	395
S. E. Akçin, Z. Yeşilyurt, G. Bulut; Flotation Behaviour of A Wollastonite Ore	399
U. Yontar, H. Baştürkçü, M. Ozer, F. Burat; Concentration of Gold & Silver from Jewelry Waste by Physical Separation Methods	404
U. Çetiner, B. Benli; Langmuır-Blodgett Metodu Kullanılarak Sepiyolit Fiberlerle Kaplanmış Doğal Biyopolimer Bazlı İnce Filmlerin Hazırlanması	408
V. B. Başaran, M. Ozer, A.A. Sirkeci; The Removal of Coal from Clay at Izmir Karaburun Region	412
Z. Yücel, O. Güven, A. Güney; Bursa - Orhaneli Krom Cevherlerinin Flotasyon Özelliklerinin İncelenmesi	417

MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Bitirme Tasarım Projeleri Bildirileri

İmbat Madencilik A.Ş. Eynez Yeraltı Kömür Ocağında Merkezi Gaz İzleme Sisteminin İncelenmesi

Investigation of the Central Gas Monitoring System in İmbat Madencilik A.Ş. Eynez Underground Coal Mine

A. Şimşek, A. Ramazani-Rend, A. Fişne

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu çalışmada amaç; İMBAT Madencilik A.Ş. Soma Eynez Yeraltı Ocağı'nın mevcut havalandırma sistemi bünyesinde bulunan yer altı sensör sistemi verileri kullanılarak ocak havasının değerlendirilmesidir. Ocak havasının değerlendirilmesinde verileri, bir ısınma, yangın veya patlama ile ilişkili olarak yorumlarken izlenen ocak havasının eğilimi belirlenmeli ve grafiksel olarak gösterilmelidir. Bu amaçla hangi yöntem kullanıldığına bakılmaksızın, izlenen atmosferin patlama veya yangının derecesini etkileyebilecek diğer parametrelerin belirlenmesini sağlamak için verilerin incelenmesinde uzmanlığa ihtiyaç vardır. Bu parametrelere sadece mevcut yanıcı gazların seviyeleri değil, aynı zamanda hava içeriği ve bilinen veya şüphe edilen ateşleme kaynakları da dâhildir. Yer altı kömür ocaklarının gaz ve havalandırma parametrelerinin genel olarak izlenebilmesini sağlayan merkezi gaz izleme sistemi, üretim ve verimliliği olduğu kadar iş sağlığı ve güvenliğini de doğrudan etkileyen ocak havalandırmasının düzgün çalışıp çalışmadığını belirlemek için kullanılabilir. Bir merkezi gaz izleme sistemi, gaz örnekleme sistemi, gaz analizörleri ve bilgiyi alan ve kaydeden veya kablosuz bir ağla bağlı sensör sistemi paketinden oluşur. Bu sistemde istenilen verde konumlandırılmış istasyonlardaki havanın izlenmesi otomatik olarak gerceklestirilir.

Anahtar Kelimeler: Merkezi gaz izleme sistemi; Ocak havası; Sensör sistemi;

ABSTRACT Purpose of this project is to evaluate atmospheric status of the mine, by using the underground monitoring system datas of İMBAT Madencilik Soma Eynez Underground Mine's ventilation system. In assessing the mine atmosphere to be monitored when interpreting the data in relation to a heating, fire or explosion the tendency of mine atmosphere should be determined and graphically displayed. Regardless of which method is used for this purpose, expertise is needed when examining the data to ensure that the monitored atmosphere has an explosion or other parameters that may affect the degree of fire. These parameters not only include the levels of available flammable gases, but also air content and known or suspected sources of ignition. The central gas monitoring system, which enables the general monitoring of the gas and ventilation parameters of underground coal mines, can be used to determine whether the mine ventilation, which directly affects the production and efficiency, as well as the occupational health and safety, is functioning properly. A central gas monitoring system consists of a gas sampling system, gas analyzers, and a sensor system package that receives information and records or is connected to a wireless network. In this system, the monitoring of the air in stations located at the desired location is performed automatically.

Keywords: Central gas monitoring system; Mine atmosphere; Sensor system;

1 GİRİŞ

1.1 İmbat Madencilik A.Ş. İşletme Bilgileri

İmbat Madencilik Enerji Turizm Sanayi ve Ticaret A.Ş. 07.02.2002 tarihinde kurulmuş olup Manisa ili, Soma ilcesi, Eynez havzasında bulunmaktadır. 04.10.2004 tarihinde Türkiye Kömür İsletmeleri(TKİ) ile imzaladığı sözleşmeyle yer altı kömür üretimine ve zenginleştirmesi faaliyetlerine başlamıştır. İmbat Madencilik A.Ş. sahayı 14.10.2004 tarihinde teslim almış. Hazırlık faaliyetlerine ise 21.10.2004 tarihinde başlamıştır. Proje sahası, Manisa iline bağlı Soma ilçe sınırlarında ve merkeze yaklaşık 20 km Güney batıda yer almaktadır. Soma İzmir'e karayolu ile 120 km Balıkesir'e 75 km ve bağlı bulunduğu Manisa kent merkezine ise 95 km mesafede bir maden şehridir. İşletmeye ulaşım Soma-Bergama karayolunun 16. kilometresindeki Cenkyeri Mahallesinden ayrılıp güneyde bulunan 11 km'lik asfalt yol ile sağlanmaktadır. 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.

Firmada yürütülen faaliyetler yer altı üretim, yerüstü yıkama ve zenginleştirme ve torbalama faaliyetleri olmak üzere üç ana baslık altında toplanabilir. İsletmede uygulanan yer altı üretim yöntemi; geri dönümlü arkadan göçertmeli çok katlı uzun ayak üretim yöntemidir. Taşta sürülen lağımların kömür damarını kestiği noktalardan itibaren damarın doğrultusuna ve eğimine göre kömür içerisinde alt ve üst taban yolları sürülerek panolar oluşturulur. Pano sınırlarında taban yolları birleştirilerek ayaklar ve kelebelerle birbirine bağlanan katlar teskil edilir. Kömür, damar kalınlığına göre tek kat. 2 kat veya 3 katta üretilmektedir. Birinci katlarda ayak arkasında yapılan delme-patlatma çalışmalarıyla tavan taşı kırılmakta ve böylelikle alt katlardaki ayaklara gelen yük azaltılmaktadır. Birinci kattaki ayaklarda kömürün 2 m'lik kısmı arından üretilir.

İkinci ve üçüncü katlardaki ayaklarda ise kömürün 2 m'lik kısmı arından alınırken katlar arasında kalan yaklaşık 8 m'lik kısım ise ayak arkasından üretilir.



Şekil 1. Arkadan göçertmeli geri dönümlü çok katlı mekanize uzun ayak sistemi

2 MERKEZİ GAZ İZLEME SİSTEMİ

Bir merkezi gaz izleme sistemi, gaz örnekleme sistemi, gaz analizörleri ve bilgiyi alan ve kaydeden veya kablosuz bir ağla bağlı sensör sistemi paketinden oluşur. Bu sistemde istenilen verde konumlandırılmış istasyonlardaki havanın izlenmesi otomatik olarak gerçekleştirilir. Ölçmeye uygun yerlere konumlandırılmış farklı sensörler kullanılır ve ölçülen diğer parametreler gibi gaz içerikleri de raporlar veya alarmlar oluşturmak için kaydedilir ve saklanır. Sistem, arzu edilen bileşim ve içerik aralıkları için en uygun analiz tekniğini seçmede avantaj sağlar. Merkezi gaz izleme sistemi (Telemetri), ocak havasıyla ilgili eş zamanlı bilgi sunduğu için yer altı kömür ocaklarında en sık kullanılan ocak havası izleme sistemidir.

2.1 İmbat Madencilik A.Ş. Merkezi Gaz İzleme Sistemi (Senturion 500)

Yer altında çalışma ortamındaki oksijen miktarı ve tehlikeli gazların sürekli kontrolü gerekmektedir. İmbat Madencilik'te de her vardiyada görevli iş güvenliği tekniker ve mühendisleri tarafından ölcüm gaz dedektörleriyle gazların ölçümleri bu yapılmakta ve rapor edilmektedir. İşletmede, 2009'dan beri devrede olan, Merkezi Gaz İzleme ve Erken Uyarı Sistemi (Senturion 500) ile ocak havası 24 saat boyunca

gözlenebilmektedir. Kontrol odasında kurulu bulunan monitörden yer altındaki tüm ana ve tali vantilatörlerin çalışmaları izlenmekte, durduklarında ise sesli alarm verilmektedir. Ayakların hava dönüş yoluna, hazırlık galerileri ve genel hava dönüş yoluna bağlanan sensörler vasıtasıyla yer altındaki metan karbonmonoksit (CO), (CH₄), karbondioksit (CO2), oksijen (O2), s1cakl1k, hava hızı ölçümleri yapılmakta ve ölçüm dijital ortamda sonucları kayıt altına alınmaktadır. Ocak havasında; oksijen %19'un altına indiğinde, karbonmonoksit %0,005'in (50 ppm) üzerine çıktığında, karbondioksit %0,125'in üzerine çıktığında ve metan %0,7'in üzerine çıktığında Merkezi Gaz İzleme Sistemi alarm vererek yer altını sesli olarak uyarmakta, kontrol odasındaki operatör bu alarmı hem görüntülü hem de sesli olarak almaktadır. Metan limit aşımında alarmın yanı sıra sensörlere bağlı otomatik devre kesiciler ver altı trafosunun enerjisini otomatik olarak kesmektedir. Bu durumda, sadece tali vantilatörler çalışmakta ve o boşaltılmaktadır. derhal Ocak bölge havasında bulunan gazlar, Merkezi Gaz sensörler ve İzlemeye ait kablo ağı vasıtasıyla yerüstünde (Kontrol Merkezi) 24 saat anlık olarak izlenir ve kayıt altına alınır. Kontrol Merkezi'nde Merkezi Gaz İzleme ve Personel Takip Sistemi bulunmaktadır.

3 SONUÇLAR

Bu çalışmada İmbat Madencilik A.Ş. Eynez Yeraltı Kömür Ocağı'nda, ocak havasının değerlendirilmesi gazlar açısından için ocaktaki merkezi gaz izleme sisteminin kayıtlarından yararlanılmıştır. Söz konusu işletmede ocak havası ve havalandırmanın kontrolü merkezi gaz izleme sistemi ile yapılmaktadır. Ocak havalandırma sistemi sürekli olarak oksijen, karbonmonoksit, metan, hidrojen sülfür, hava hızı ve sıcaklık sensörleri ile takip edilmektedir. D8 ve D9 panosu 1, 2 ve 3'üncü kat hava dönüş yollarındaki metan, karbonmonoksit ve oksijen sensörlerinin ve bütün ocak havasının dışarı atıldığı +400 nefeslik galerisindeki metan karbonmonoksit.

karbondioksit ve oksijen sensörlerinin kayıtları incelenmiştir.

Şekil 2'de görüldüğü üzere, D8 panosu 3. kat hava çıkış galerisinde karbonmonoksit değerleri, 4 ppm ile 30 ppm arasında; oksijen konsantrasyonu değerleri, %20,11 ile %20,85 arasında; metan konsantrasyonları da %0,13 ile %0,37 arasında olup bu değerler pano içinde dolaşan havanın ve havalandırma sisteminin güvenli durumda olduğunu göstermektedir.

D9 panosu 3. katı için ölçülen değerler ise Şekil 3'te de verildiği üzere şu şekildedir. Karbonmonoksit değerleri 0 ppm ile 120 ppm arasında olup, ortalama karbonmonoksit konsantrasyonu 52 ppm'dir. Oksijen konsantrasyon değerleri %19,5 ile %20,9 arasında olup, ortalama oksijen konsantrasyonu %20,2'dir. Bu kat için metan konsantrasyonu değerleri ise %0,21 ile %0,66 arasında olup, ortalama %0,40'dır.

Şekil 4'te de görüldüğü üzere +400 galerisinde karbonmonoksit nefeslik konsantrasyonu 0 ppm ile 50 ppm arasında değişmektedir. Ortalama değer 11 ppm'dir. Oksijen konsantrasyonu %19,7 ile %20,9 arasında değişmekte olup, ortalama değer olarak edilmiştir. %20,5 elde Metan konsantrasyonu ise %0,13 ile %0,46 arasında değişmektedir. Ortalama değeri de %0,25'dir.

Sonuç olarak, yer altındaki durumdan haberdar olabilmek, denetleyebilmek ve bir kaza meydana gelmeden önce gerekli müdahaleleri yapabilmek için ocak havasının değerlendirilmesine ihtiyaç vardır. Bunun belirli için yer altında yerlere konumlandırılmış sensörler ile yapılan gaz ölçüm sonuçlarının yeryüzünde bir merkeze eş zamanlı olarak aktarılması ve sonrasında değerlendirilmesi havası ocak izleme sistemlerinden bir tanesidir. Merkezi gaz izleme sisteminin en önemli avantajı ise eş zamanlı bilgi sunması ve bu bilginin değerlendirilmesiyle ocağında yer altı karsılasılabilecek durumlara hemen müdahale şansı verebilmesidir.



Şekil 2. D8 panosu 3. kat hava çıkış galerisinde Graham İndeksi, metan, CO ve oksijen konsantrasyonları.



Şekil 3. D9 panosu 3. kat hava çıkış galerisinde Graham İndeksi, metan, CO ve oksijen konsantrasyonları.



Şekil 4. +400 nefeslik galerisinde Graham İndeksi, metan, CO ve oksijen konsantrasyonları.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın ortaya çıkarılmasında katkıları olan Fatih Fırat Gökdeniz'e, Maden Mühendisi Yakup Akyol'a, Maden Mühendisi Gürşat Hasözdemir'e ve İmbat Madencilik A.Ş.'ye teşekkür ederim. Lisans hayatım boyunca bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşmaktan çekinmeyen tüm bölüm hocalarıma teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Brady, D., 2008. "The Role of Gas Monitoring in the Prevention and Treatment of Mine Fires", University of Wollongong Research Online, Queensland, s. 202-208.
- Chaulya, S. ve Prasad, G.M., 2016. "Gas Sensors for Underground Mine and Hazardous Areas", Sensing and Monitoring Technologies for Mines and Hazardous Areas, s. 161-212.
- Griffin, K.R., Luxbacher, K.D., Schafrik, S.J., Karmis, M.E., 2012. "Comprehensive Ventilation Simulation of Atmospheric Monitoring Sensors in Underground Coal Mines", 14 th US/North American Mine Ventilation Symposium, s. 509-516.
- Mason, P., 2012. "Challenges of Gas Monitoring and Interpretation in Underground Coal Mines Following an Emergency", Coal Operators' Conference, s. 340-344.

Geostatistical Estimation of Pt Timah – Indonesia Reserves from Bore Loggings

Pt Timah Adlı Kalay Madeninden Elde Edilen Sondaj Verileri ile Yapılmış Jeoistatistiksel Bir Çalışma

W. A. Sari, H. Tunçdemir., Ö. Akyıldız

Istanbul Technical University, Faculty of Mines, Mining Engineering Department, İstanbul

ABSTRACT The whole mining process is based on five general phases which starting from the prospecting stage. The first phase of mining stage is considered on the economic potential of the ore that will be mined. In the first stage of mine, prospecting and exploration are two kinds of mining activities that should be considered in order to complete the phase of mine. After these two activities are done, the estimation of reserves as the next step for finding the economic potential will be applied by the principle method of geostatistical estimation. This graduation project is the result of field observations and geostatistical analysis to determine the mining reserve estimation in geostatistical principle by GS+ program. This undergraduate thesis is done as the result of exploration activities to take the bore loggings in open pit mining of PT TIMAH, Bangka Island as a general overview of tin mining in Indonesia, which is one the state pen-supply of tin in the world. In conclusion, reserve estimation is done in accordance with kriging technique to examine the distribution variable of data that resulting on good correlation values between thickness and grade as the z variates.

Keywords: Geostatistical analysis, Kriging, GS+ Software, Reserve estimation.

ÖZET Madencilik süreci arama çalışmaları başta olmak üzere süreci kabaca beş adımdan oluşmaktadır. İlk adım, üretilecek olan madenin ekonomik potansiyelini ortaya çıkarmak olacaktır. Bunun için rezervin miktarı ve tenörünü belirlemek gerekmektedir. Bu çalışmada, rezerv ve tenör tahmini GS+ yazılımı yardımıyla jeoistatistiksel yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Bangka adasında bulunan ve dünya kalay ihtiyacının bir kısmını karşılayan PT TIMAH adlı madende yapılan keşif çalışmaları sırasında elde edilen sondaj verileri kullanılmıştır. Sonuç olarak, rezerv hesabı kalınlık ve tenör değerleri esas alınarak kriging metodu ile yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Jeoistatistik, Krigging, GS+ Yazılımı, rezerv tahmini

1 PROFILE OF PT TIMAH

1.1 Location and Proficient Territory

History of PT. Timah (Persero) was initiated in the Sultanate of Palembang which began in the 17th century in the area of Melawang in the South Pacific. Excavation of tin ore was first performed at the River Olim, Toboali, Bangka Island. Within the Sultanate of Palembang, VOC (Vereenigde Oostindische Compagnie), also known as Kongsi (cooperate) Trade or the Dutch East Indies Company purchase agreement tin monopoly. Indonesia is one of the main tin ore producers in the world. Largest tin reserves are in Bangka Belitung, especially on the island of Bangka Sumatra island with an area of 12 700 km². Based on geographical location, Bangka Island is located at 10 LS (latitude) - 30 LS and 1050 BT (longitude), 1080 BT bordering the South China Sea in the north, the east side is bordered by Gaspar Strait, Java Sea in the south and Bangka Strait in the west.



Figure 1: The area of Mining business license (IUP) PT TIMAH (Persero) Tbk, which is located on the islands of Bangka Belitung and Riau Islands.

1.2 Determination of Reserves and Resources

Determination of resources and reserves in PT TIMAH refer to Article KCMI (the Committee for Mineral Reserves Indonesia) 2011. KCMI Code is intended as a minimum standard in the reporting of exploration results such as resources, mineral reserves and coal according to international standards that can be used to meet needs in the mining business. The tin mineral resources contained in Bangka Belitung is an alluvial deposits and primary sludge. Validation and verification of data are performed based on the database and compilation of data in Micromine for collar and assay, boreholes, borehole analysis and data constrained area. The validation process of database is carried out to ensure the correctness of the data in the field (collar. assay, recovery. concentration and co-ordinates).

2 GEOSTATISTICAL ESTIMATION BY GS+

In this study we will deal with the exploration data from PT TIMAH to be processed for reserve estimation. First of all, the borehole data is collected from the exploration activity and will be converted into excel data to be processed by GS+ for geostatistical estimation. For the general reserve estimation there are several methods that can be applied. In general, reserve estimation is usually done in conservative methods such as triangle, polygon, crossing, geological block and any other convention methods. Geostatistical analysis is provided

by GS+ to demonstrate and measure spatial relations in the data that assist in geological parameters. The map which is done by GS+ program is formed from the kriging data which then import into the map section. GS+ is aiming to make the most confidence result of the geostatistical analysis especially for reserve estimation. Statistical practice of GS+ is available for autocorrelation analysis, parametric statistics, and fast interpolation that can be analyzed in geostatistical technique.

2.1 The Data for GS+ Analysis

Two kinds of analyzing data is formed in excel data of x, y and z. From Appendix 1, the drilling data will be attached into GS+ program and divided into two processes which complete with raw data thickness and These data is modified for grade. geostatistical model data with the factor of data accuracy in general process of statistical concept. The data is filtered by using filter command in GS+ menu. The purpose of this command is to calculate and defining the regulate data range. Below are the data range of GS+ imported data in thickness and grade parameters as seen from Figure 2.1 and 2.3. From two figures above there is no difference between the ranges of imported data with the range to use. For that reason, it can be conclude that there is no missing values within the data.

	Ra	inge	Rang	e to	use
X direction	602231.33	- <mark>603094.76</mark>	602231.33	-[603094.76
Y direction	9850751.66	- 9851118.40	9850751.66	- [9851118.40
Z variate	0.00	- <mark>348.6</mark> 3	0.00	- [<mark>348.6</mark> 3

Figure 2.1. : Filter command for thickness.

	Ra	nge	Rang	e to i	use
X direction	602231.33	- 603094.76	602231.33	- [603094.76
Y direction	9850751.66	9851118.40	9850751.66	- [9851118.40
Z variate	0.60	7.50	0.60	- [7.50

Figure 2.2. : Filter command for grade.

2.2 Descriptive Statistical Analysis

GS+ program provides the descriptive statistical analysis by the Data Summary window with the separation of X, Y coordinates analysis and for the Z variate. Geostatistical analytical data will be derived from the descriptive statistical analytical in specific data of thickness and grade data. In general term, the transformed command is used to normalize the data. Below in Figure 2.3. is the normal distribution of histogram in specification of thickness and grade data:.



Figure 2.3. : The histogram of thickness Table 4.1. Summary statistics of thickness

Mean	3.8152
Standard Deviation	1.3377
Sample Variance	1.7893
Minimum Value	0.600
Maximum Value	7.500
n (n missing or exclude)	230 (0)
Skewness (se)	-0.07 (0.16)
Kurtosis (se)	-0.72 (0.32)



Figure 2.4. : The histogram of grade (Untransformed and Transformed)

As it can be seen from the Figure 2.4 above, the histogram of cutoff grade is differentiate into two types of the frequency distribution. The figure on the right is the frequency distribution which has not been transformed yet. After the transformation of log-normal formed, the aim of transformation is then showed by the figure on the left as normal frequency distribution.

Table 2.1. Summary Statistics of Grade (Untransformed)

Mean	8.960
Standard Deviation	27.182
Sample Variance	738.885
Minimum Value	0.00
Maximum Value	348.63
n (n missing or exclude)	230 (0)
Skewness (se)	9.46 (0.16)
Kurtosis (se)	107.73 (0.32)

2.3 Semivariance Analysis

In this section of this research, semivariance analysis is done in thickness and grade which depend on Z variate of these two parameters. For the semivariance analysis in GS+, there is an Active Lag Distance command that verify semivariance calculation by providing ranges on the data given.

2.3.1 Isotropic Variogram

Semivariance analysis The in geostatistical methodology is completed in autocorrelation window command with several options for the variogram calculation. Active lag distance and lag class distance interval in this command are two parameters that should first be determined. The range of semivariance is presented by putting nominal number into the active lag distance which has the following of lag class distance interval.



thickness.



Figure 2.6 . Isotropic variogram of grade.

The minimum and maximum distance of this parameters is representing the minimum and maximum distance between all points. The GS+ provide a calculation for the semivariance statistics in each interval of class distance. Semivariogram is consisted based on this calculation result from the analysis. An axis orientation of isotropic analysis is showed in all direction for the spatial variability of geotechnical method. The skewing of variogram is resulted by the pairing points of two main parameters in isotropic variogram that exposed from the Separation Distance (h) and Semivariance points.

2.3.2 Isotropic Variogram Model

The autocorellation of isotropic variogram is evaluated by the separation distance in semivariance analysis. Lower semivariogram is represented at smaller separation distance which resulting in greater autocorrelation. In the isotropic analysis of semivariance, there are five models of isotropic variogram with three parameters of specific term, nugget variance, sill and a range as seen from Figure.

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range A0 or 3A0	Proportion C/(Co+C]	r2	RSS
Spherical	0.223	1.637	176.40	0.864	1.000	4.593E-05
C Exponential	0.112	2.191	361.50	0.949	0.998	8.347E-04
C Linear	0.415	1.667	155.49	0.751	0.974	0.0136
C Linear to sill	0.320	1.606	133.30	0.801	0.999	7.403E-04
C Gaussian	0.489	1.669	477.60	0.707	1.000	1.400E-04

Figure 2.7. Isotropic variogram model of thickness

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range A0 or 3A0	Proportion C/(Co+C]	r2	RSS
Spherical	0.712	1.709	174.30	0.583	1.000	3.028E-06
C Exponential	0.459	1.825	219.00	0.748	0.999	1.301E-04
C Linear	0.958	1.756	184.32	0.454	0.925	0.0137
C Linear to sill	0.334	1,623	80.20	0.794	0.917	0.0150
C Gaussian	0.338	1.632	266.70	0.793	0.928	0.0132

Figure 2.8. Isotropic variogram model of grade

2.4 Kriging Analysis

Kriging analysis interpolation as an technique the important factor for is mapping producing GS+ result. The interpolation locations are depending on the range of x-y grid intervals. Interpolation range will give the value of the area that based on the direction of X-direction and Ydirection length. The range of grid intervals are determined in minimum and maximum value of X-coordinate and Y-coordinate. Ordinary and simple kriging are two types of kriging in geostatistical method of GS+. Kriging analysis is done in accordance with different Z values and the same value of X,Y-coordinates.



Figure 2.9. Kriging analysis.

3 OUTPUT RESULT OF GS+

In this study, we will deal with the result of interpolation data that give an output process as can be seen on mapping section in the GS+. The standard format of GS+ is denoted on 2-d and 3-d maps as the output of interpolation thickness analysis. For illustration of tin mine in 2D and 3D environment, Figure 5.1 and 5.2 may be drawn by mapping tool of GS+ software. It should be here noted that they are not topographical map but showing the thickness distribution of tin mine in the specific coordinates.



Figure 3.1. 3-d map of thickness.

Table 5.1. Area of Thickness in 2-d map

Range of Colors	Area (m ²)
Blue	38521.0687
Green	223659.7593
Orange	125181.5358
Red	153366.152
Purple	13705.0284
Total Area	554 433.5442

In Figure 5.2, the area of each range of colors is measured by AutoCAD program by selecting them with polyline tools and the area covered by these polylines. Below in the Table 5.1. is the area of this map according to their thickness in range of colors.

Another estimation for current study is done for the grade distribution as seen from the Figure 3.1 and 3.2. Same process in AutoCad software done for the determination of area intervals as seen from the Table 5.2. X, Y-coordinates of the maps give direction on map and standard deviation with the estimation are relied on Z variance. The maps are concluded with the legend that shows the alteration of contour.



Figure 3.2. 3-d Map of grade

The contour of maps are filled with the contour line with several colors difference. The number of contour can be set on while creating the map as the output of GS+. There are 15 colors that is set for the maps contour in this study of geostatistical method. The map contour is identified the break point of the map with a specific value.

Table 5.2. Area of	Grade in 2-d map
--------------------	------------------

Range of Colors	Area (m ²)			
Green	576172.4055			
Orange-Red	340427.5518			
Blue	136784.5341			
Purple	44706.8554			
Total Area	1 098 091.347			

4 CONCLUSION

This undergraduate thesis is done based on the exploration phase in mine that focus on the result of drilling activities. The samples are taken from one of the mine company in Indonesia named PT Timah. This mine company is producing tin ore as the mayor production. Reserve estimation is completed from 230 drilling activities which are presenting on the appendix 1 with detail information. The aim of this graduation project is to estimate several points based on the known points from drilling activities by principle of geostatistical methodology. As it is mentioned that geostatistical practice is applied for the purpose of this graduation project so gs+ was used based on this principle. After all process which is done by this program, 2-d or 3-d map will be resulting as an output in accordance with the basic reserve estimation approaches. This undergraduate thesis is focused on the map forming based on distribution data of thickness and grade. The area of these two parameters is then be compared by doing the calculation using autocad program. The total

area of thickness and grade are respectively resulting in 554 433.5442 m2 and 1 098 091.347 m2. As it can be seen from the output result of gs+, the area of thickness is as high as the area of grade. At last, the technique to excavate reserves is decided according to this comparison. One may decide where the shaft or entrance main gates should be driven in order to build an optimum mining process due to the proximity of thicker and high grade areas.

REFERENCES

- Clark, I. and Harper W., 2001, Practical Geostatistics 2000. Ecosse North America LIc, Columbus Ohio.
- Bhandari, D., 2007, Comparison of Recoverable Reserve Estimation Techniques. Heritage Branch, Ottawa.
- Robertson, G.P., 2008. GS+: Geostatistics for the Environmental Sciences. Gamma Design Software, Plainwell, Michigan.
- Isaaks, E.H. and Srivasta R.M., 1989, Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York.
- Pratiwi, D. N., 2015. Perencanaan Penambangan Timah Darat Satuan Unit Kerja
- Perencanaan Operasi Produksi Bidang Perencanaan Tambang PT Timah (Persero) Tbk.
- Standar Nasional Indonesia, 1999. Klasifikasi Sumber Daya Mineral dan Cadangan.
- Sinclair, J., 1969. Quarrying, Opencast and Alluvial Mining. England: American Elsevier Publishing Company.
- Suprapto, S. J., n.d. Potensi Prospek dan Pengusahaan Timah Putih di Indonesia.

Eskişehir Alpu Havzası Kömür Damarlarının Gaz İçeriğinin Belirlenmesi

Determining the Gas Content of Coal Seams at the Eskişehir Alpu coal basin

B. Aktaş, O. Esen, A. Fişne İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Kömür damarlarında metan gazı varlığı madencilik tarihi boyunca başa çıkılması gereken bir problem olarak görülmüştür. Bu noktada gaz içeriğini belirleme çalışmaları ile yeraltı maden ocaklarında metan kaynaklı oluşan, yangın, ani gaz ve kömür püskürmesi ve patlama gibi olayların önüne geçilebilmektedir. Ayrıca havalandırma planlaması aşamasında ocak için gerekli hava miktarı belirlenmekte ve iş güvenliği açısında uygun bir çalışma ortamı sağlanmaktadır. Çalışmada havza ve jeolojik yapı tanıtılarak, gaz içeriğini belirleme çalışmalarında kullanılan doğrudan gaz içeriği ölçme yöntemi hakkında bilgi verilmiştir. Yer üstü arama sondajlarından alınan numunelerin yayılan, kayıp ve artık gaz miktarları söz konusu yöntem kullanılarak hesaplanmış, ayrıca öğütülen numunelere kısa analiz yapılarak kömürün nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon içeriği belirlenmiştir.

ABSTRACT Methane gas which exists in a coal seam, is considered as an important problem to deal with during the mining history. Against to methane problems that occur in an underground coal mine, the gas content determinations are very helpful while taking precautions in terms of coal and gas outbursts, mine fires and explosions. In addition, these determinations provides many benefits in optimum required air amount planning for mine ventilation plans and also in terms of occupational health and safety. The aim of this undergraduate thesis is determining the gas content of coal seams in Eskişehir-Alpu basin by using direct gas content determination method. In this study, basin and geological structure were introduced and some information was given about direct methods that used for determination of gas content. Quantity of desorbed, lost and residual gases which were provided by exploration drilling samples. Besides, following completion of desorption experiments, the coal samples were analyzed for ash, moisture, volatile matter, and fixed carbon to determine the coalification stage of coal seams. Keywords: Gas Content, Coal Mining, Methane.

1 GİRİŞ

Kömür damarlarındaki metan gazı varlığı, madencilik tarihi boyunca başa çıkılması gereken bir problem olarak görülmüştür.

Kömürleşme sürecinde, her bir kömür damarının geçirdiği jeolojik değişimlerin ve çökelleri oluşturan organik içeriğin farklı olmasından dolayı aynı havzadaki kömür damarlarının gaz içeriği ve miktarı açısından farklı karakteristik özellikler göstermesi, günümüzde gaz içeriği belirleme çalışmalarının ivme kazanmasını sağlamıştır.

Aynı zamanda gaz içeriğinin belirlenmesi, yeraltı madenlerinde can ve mal kaybına sebep olan metan kaynaklı yangın, patlama, ani gaz ve kömür püskürmesi gibi olayların yaşanmasını engelleyerek iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanmasının yanı sıra planlama aşamasında havalandırma sisteminin tasarımlandırılmasında da önemli bir yere sahiptir.

Bu çalışmada, Eskişehir Alpu kömür havzasının gaz içeriğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışma alanı Eskişehir ili Alpu ilçesinin Sevinç, Ağapınar, Çavlum köylerini kapsamaktadır. Bölgede yapılan beş adet yer üstü arama sondajının kestiği 17 adet damardan alınan 116 adet numuneye ASTM D7569-10 standardında açıklanan doğrudan gaz içeriği belirleme yöntemi olan USBM (United States Bureau of Mines) yöntemi uygulanmıştır.

2 UYGULANAN YÖNTEMİN TANITILMASI

doğrudan gaz iceriği Calisma, ölcme vöntemlerinden USBM tekniği kapsamında yapılmıştır. Kullanılan yöntem, bakir kömür damarlarından sondaj ile alınan örneklerden cözülen gaz miktarının zamanın fonksiyonu olarak belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde, toplam gaz miktarı yayılan gaz, kayıp gaz ve artık gaz olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır. Kayıp gaz; kömür damarından numunenin alınarak sızdırmaz bir kaba verlestirilene kadar gecen sürecte kaybolan gaz miktarıdır. Yayılan gaz; numunenin sızdırmaz kap icinde bulunduğu süreç boyunca yaydığı gazdır. Artık gaz ise; numunenin 200 mesh altına öğütülmesi sonucunda ortaya çıkan gazdır.

Kömürün toplam gaz içeriği; kayıp gaz, kap içinde yayılan gaz ve laboratuvarda belirlenen artık gaz miktarının toplamıdır (Gray,2011).

Aşağıda bu bileşenlerin belirlenmesinde izlenen yol kullanılan yöntem esas alınarak açıklanmıştır.

2.1 Numunelerin Alınması

Numuneler sahada açılan ATA21, ATA27, JTK22, JTK23 ve AK40 numaralı sondaj kuyularından alınmıştır. Numune sayıları Çizelge 1'de verilmiştir. Sadece kömür damarları değil, kömür damarından bir önceki ve bir sonraki jeolojik birimler de numunelendirilmiştir. Söz konusu sondaj kuyularından alınan 60 santimetre uzunluğundaki karot numuneleri sızdırmaz numune kaplarına (kanister) konulup, boşluk hacmi saf su ile doldurulduktan sonra kanister vanaları kapatılmıştır. Damarın kesilmesinden itibaren geçen süredeki kayıp gaz miktarının olabildiğince az olması için numunelendirme mümkün olan en kısa sürede gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Numune Sayıları

Kuyu/Damar	A0	А	В	С	D
ATA21	4	15	4	7	8
ATA27	0	9	3	6	0
JTK22	0	2	3	2	0
JTK23	0	0	2	2	0
AK40	0	29	15	5	0
Toplam = 116					

2.2 Yayılan Gaz Miktarının Belirlenmesi

Yayılan gaz miktarı, numunelerin sızdırmaz kap içerisinde bulunduğu süreçte yaydığı gaz miktarıdır. USBM tekniğinde yayılan gaz miktarı, vanaları kapatılan kanisterlerin daha önce rezervuar sıcaklığında hazırlanmıs olan havuza verleştirilip, ölcümlerin termal perivodik olarak vapılması ile belirlenmektedir. Çalışmada, gaz yayılımı ölçümleri ilk 1 saat boyunca 5 dakikada bir vapılarak desorpsiyon eğrisinin daha kararlı olması amaçlanırken takip eden ölçümlerde süreler yayılan gaz miktarına göre daha uzun aralıklara cekilmiştir. Sahada ortalama 3 gerçekleştirilen boyunca ölçümü gün numuneler İTÜ Maden daha sonra İş Havalandırması Güvenliği ve Laboratuvarı'na getirilerek, gaz yayılımı sona erene dek ölçümler sürdürülmüştür. Ardından desorpsivon eğrileri elde edilmiştir. ATA21 kuyusuna ait örnek bir desorpsiyon eğrisi Sekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Örnek bir desorpsiyon eğrisi

2.3 Kayıp Gaz Miktarının Belirlenmesi

Kayıp gaz, kömür numunesinin damardan kesilip kanister içerisine yerleştirilinceye kadar geçen sürede numuneden yayılan gaz miktarıdır. Kayıp gaz miktarı doğrudan ölçülememektedir. Kömür örneklerinden yayılan gaz miktarının zamanın kareköküne bağlı değişimi eğrisi (Şekil 2) üzerinde geriye dönük ekstrapolasyon yapılarak tahmin edilmektedir.



Şekil 2: Kayıp gaz miktarının tahmini.

Bu nedenle toplam gaz içeriğinin güvenilirliği en az olan bileşeni kayıp gaz miktarıdır.

2.4 Artık Gaz Miktarının Belirlenmesi

Artık gaz miktarı ise gaz yayılımının sona erdiği aşamada numunelerin 200 mesh altına öğütülmesi sonucunda ortaya cıkar. çıkarılan Kanisterlerden her bir karot numunesinden alınan 3 adet 50'şer gramlık sızdırmaz halkalı değirmende örnek. öğütülerek açığa çıkan gaz miktarı ölçülmüş artık gaz miktarı belirlenmiştir.

3 KÖMÜRÜN KİMYASAL ANALİZİ

Kömürlerin kimyasal özelliklerinin belirlenmesi. kömür damarlarının karakterizasyonu sırasında ve olusumu kazandığı çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri yasıtması ve temiz kömürün gaz içeriğinin belirlenmesi açısından önemlidir. cercevede iceriğinin Bu havzada gaz belirlenmesi amacıyla alınan kömür örneklerinin nem, kül, ucucu madde ve sabit karbon değerleri belirlenmiştir.

İncelenen kömür örneklerinin kısa analizleri ASTM D-3172 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

miktarının belirlenmesi Kül amacıyla yaklaşık bir gramlık öğütülmüş numune oda yerleştirilmiş sıcaklığındaki fırına ve sıcaklığı dakikada 8°C artışla 815°C'ye yükseltilmiştir. saat bu sıcaklıkta 1 bekletildikten fırından cıkartılan sonra numuneler deksikatör verleştirilerek soğuması beklenmistir. Fırına verilmeden ile tartılmıs önce hassas terazi olan numuneler tekrar tartılmış ve aradaki farktan kül miktarları belirlenmiştir.

Nem miktarının belirlenmesi için etüv 106°C'ye ısıtılır ve tartılan yaklaşık 1 gramlık numune ağzı açık bir şekilde etüve yerleştirilir. 1saat bekletildikten sonra ağzı kapatılarak çıkarılır ve oda sıcaklığına gelince tartılır.

Uçucu maddenin belirlenmesi için daha önce 815°C'ye ısıtılan kül fırını 900°C'ye ısıtılır. Gereken sıcaklığa ulaşan fırına, önceden tartılmış olan yaklaşık 1 gramlık 2 adet numune yerleştirilir ve 7 dakika bekletilir. 7 dakika sonunda çıkartılıp soğumaya bırakılan numuneler yeniden hassas terazide tartılarak numunelerin uçucu madde içeriği belirlenir.

Sabit karbon değerleri ise nem, kül ve uçucu madde miktarları toplamının 100'den çıkarılması ile bulunmuştur.

4 SONUÇLAR

Desorpsiyon ölçümlerinden elde edilen verilerden hareketle aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- AK-40 kuyusunda orjinal bazda gaz içerikleri 0,14-0,48 m³/ton arasında değişmektedir. Ortalama gaz içeriği 0,297 m³/ton'dur.
- ATA021 kuyusunda orjinal bazda gaz içerikleri 0,06 ila 0,50 m³/ton arasında değişmektedir. Tüm damarların ortalama gaz içeriği 0,282 m³/ton'dur.
- ATA027 kuyusunda orjinal bazda gaz içerikleri 0,02 ila 0,40 m³/ton arasına değişmektedir. Tüm damarların ortalama gaz içeriği 0,171 m³/ton'dur.
- ➢JTK22 kuyusunda orjinal bazda gaz içerikleri 0,10 ila 0,13 m³/ton arasında değişmektedir. Tüm damarların ortalama gaz içeriği 0,117 m³/ton'dur.
- ➢JTK23 kuyusunda orjinal bazda gaz içerikleri 0,01 ila 0,12 m³/ton arasında değişmektedir. Tüm damarların ortalama gaz içeriği 0,075 m³/ton'dur.

Kısa kimyasal analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- AK-040 sondajında orjinal bazda kül değeri 8,26-56,72 arasında, nem değeri 13,50-22,53 arasında, uçucu madde 9,65-35,78 arasında ve sabit karbon değerleri 5,05-36,79 arasında değişmektedir. Ortalama nem içeriği 18,46 iken ortalama kül içeriği 30,81 bulunmuştur.
- ATA021 sondajında orjinal bazda kül değeri 6,15-76,60 arasında, nem değeri 5,36-30,21 arasında, uçucu madde 11,37-34,73 arasında ve sabit karbon değerleri 6,67-37,02 arasında değişmektedir.

Ortalama nem içeriği 21,14 iken ortalama kül içeriği 26,39 bulunmuştur.

- ATA027 sondajında orijinal bazda kül değeri 9,28-70,01 arasında, nem değeri 13,27-28,18 arasında, uçucu madde 13,93-31,63 arasında ve sabit karbon 2,79-35,26 değerleri arasında değişmektedir. Ortalama nem içeriği 23,51 iken ortalama kül içeriği 22,97 bulunmuştur.
- JTK22 sondajında orjinal bazda kül değeri 3,91-23,53 arasında, nem değeri 30,21-35,22 arasında, uçucu madde 24,51-32,13 arasında ve sabit karbon değerleri 21,75-31,93 arasında değişmektedir. Ortalama nem içeriği 32,82 iken ortalama kül içeriği 9,81 bulunmuştur.
- JTK23 sondajında orjinal bazda kül değeri 4,03-8,60 arasında, nem değeri 34,69-35,79 arasında, uçucu madde 29,56-31,10 arasında ve sabit karbon değerleri 26,05-29,88 arasında değişmektedir Ortalama nem içeriği 35,37 iken ortalama kül içeriği 5,92 bulunmuştur.

Desorpsiyon ölçümleri ve kısa analiz verilerinin ışığında Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5' de toplam gaz içeriğinin derinlik, nem ve küle bağlı değişimi verilmiştir.



Şekil 3: Toplam gaz içeriğinin derinliğe bağlı değişimi.



Şekil 4: Toplam gaz içeriğinin nem içeriğine bağlı değişimi.



Şekil 5: Toplam gaz içeriğinin kül içeriğine bağlı değişimi.

Gaz içeriğinin nem, kül ve derinliğe bağlı değişimi literatürle benzerlik göstermektedir. Gaz içeriğinin nem içeriğinin artması ile düşmesi ve derinliğe bağlı olarak damarların gaz içeriğinin artması beklenen bir sonuçtur. Eskişehir-Alpu sahası kömür damarlarının gaz içeriği 0,297 - 0,075 m³/t değişmekte olup, bu sondajların kestiği kömür damarları az gazlı ya da gazsız olarak nitelendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- ASTM D3172-13, 2013, Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke, ASTM International, West Conshohocken, PA
- Diamond, W, Levine J, 1998, Measuring the gas content of coal, *A Review, International Journal* of Coal Geology, Volume:35, s 311-331.

Gray, I, 2011, Gas Content Measurement and its Relevance to Outbursting, *11th Underground Coal Operators' Conference*, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Sf,291 – 296.

Investigation of the Mechanical Properties of Some Marbles Bazı Mermerlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

C. Kündem, C. Erdoğan, H. Tunçdemir İstanbul Technical University, Mining Engineering Department, Istanbul

ÖZET Mermerlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, mermerlerin ekonomik değerlerinin tesbiti açısından önemlidir. Fiziksel ve mekanik özellikler mermerlerde, petrografik, mineralojik ve yapısal özelliklerine göre değişimler göstermektedir. Bu değişimleri tespit etmek amaçlı olarak Marmara mermeri, Denizli traverteni, Konya siyah mermeri, Burdur beji ve Ordu Ünye mermeri olmak üzere 5 farklı mermer çeşidinde, tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, nokta yükleme basınç dayanımı ve Schmidt çekici deneyleri uygulanmış ve gerekli veriler analiz edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda Marmara mermeri, Denizli traverteni, Konya siyah mermeri için tek eksenli basına dayanımı sonuçları sırasıyla ortalama 530,9 kg/cm², 437,5 kg/cm², 552,6 kg/cm², 443,82 kg/cm², 114,8 kg/cm² bulunmuştur. Dolaylı çekme deneyi sonucunda yine aynı kayaçlar için elde edilen çekme dayanım değerleri 36,27 kg/cm², 43,41 kg/cm², 45,91 kg/cm², 55,16 kg/cm², 19,43 kg/cm² 'dir. Bunlara ek olarak taşınabilir deneylerden olan nokta yükleme ve Schmidt Çekici deneyi de yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: mermer, mekanik özellikler, tek eksenli basma dayanımı, schmidt hammer, çekme dayanımı

ABSTRACT Investigation of mechanical and physical properties of marbles is important for economical valuation of natural stones. The mechanical properties of natural stones can be varied with petrographical, mineralogical and structural properties of these stones. According to them, the mechanical properties of 5 five marbles, Marmara marble, Denizli travertine, Konya black marble, Burdur Beige, Ordu Ünye marble, are investigated by carrying out uniaxial compressive strength, Brazilian tensile strength, Schmidt hammer rebound value and point load index test. The average uniaxial compressive strength values of Marmara marble, Denizli travertine, Konya black marble, Burdur beige ve Ordu Ünye marble are 530,9 kg/cm², 437,5 kg/cm², 552,6 kg/cm², 443,82 kg/cm², 114,8 kg/cm², respectively and Brazilian tensile strength values have been found as 36,27 kg/cm², 43,41 kg/cm², 45,91 kg/cm², 55,16 kg/cm², 19,43 kg/cm², respectively. In addition to that, portable tests which is Schmidt hammer rebound and point load, is also carried out on these natural stones. Keywords: marble, mechanical properties, uniaxial compressive strength, schmidt hammer,

Keywords: marble, mechanical properties, uniaxial compressive strength, schmidt hammer, tensile strength

1 INTRODUCTION

Marbles and natural stones are used as structural and artistic design materials. Their selection criteria are mainly based on their colour, brightness and mechanical properties. One of the main mechanical properties of these materials is their strength which can be obtained with different tests. The 5 samples of marbles are obtained from different regions where is in Marmara, Burdur Beige, Denizli Travertine, Konya Black and Ordu Unye as in 30x30x13 cm dimensions that given in Figure 1. The some physical properties of them are given in Table 1. The cores were taken from these samples by using core drilling machine of NX (54mm in diameter) core sized. According the test program, the required amount of cores for each samples were drilled. Then, the cores were resized in cutting machine to claim required test dimensions. All samples are classified as their origin and test type.



Figure 1. Marbles which is used in the study

Table 1. Density and unit volume weight of samples

Marble name	А	В	С	D	Е	
Unit Volume						
by Weight	2.71	2.5	2.71	2.7	2.24	
gr/cm ³						
Density gr/cm ³	2.73	2.72	2.72	2.71	2.36	
A: Marmara marble						
B: Denizli travertine						
C: Konya black marble						
D: Burdur beige						
E: Ordu Ünye marble						

In this study, the different samples from 5 different locations are investigated by 4 different test which are uniaxial compressive strength, brazilian tensile strength, point load and schmidt hammer. The mechanical properties of samples will be shown in test result section.

2 INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF MARBLE

The one of the main mechanical properties of marble is strength. The strength of marble are can be obtained directly from uniaxial compresive strength and tensile strength and indirectly from schmidt hammer rebound value and point load test. In this study, these tests have been carried out in Istanbul Technical University Mining Engineering Department Rock Mechanics and Natural Stones Laboratory.

2.1 Uniaxial Compressive Strength

Uniaxial compressive strength (UCS) is one of the main parameters of rock strength. The samples are cylindirical NX, (54mm) diameter, core samples. A minimum of five UCS determinations is recommended for statistical significance of the resulting average. A cylinder of rock with a diameter to height ratio of 1:2 (54mm/108mm), with parallel ends in placed in a hydraulic press fitted with a pressure gauge and subjected to axial loading.

$$\sigma_c = F/A \tag{1}$$

 σ_c = Uniaxial compressive strength (kg/cm²) F = Maximum Failure Load (kg)

A = Cross-sectional area of the core sample (cm^2)

In the UCS test, a specimen of crosssectional area A is loaded with an increasing force F until it reaches its maximum load bearing capacity, so it fails. During the test, stresses are measured. It preferable to record the stresses and the corresponding axial strains with increasing stress. The strain may be calculated from dial gouge installed between the platens of the press or by strain gauges bonded to the rock specimen. In a UCS test, axial shortening of the specimen is observed. Strain gauges may also be attached to measure the radial or transverse strain.

In the case of most brittle rocks, the failure is sudden and often violent loss of strength. The resulting peak stress F/A is called Uniaxial Compressive Strength of Specimen as shown in Equation 1. This test is the single and cheap, most widely used descriptor of the strength of particular rock type (Ulusay, 2005).

The correction equation if there is no appropriate diameter to height ratio can be applied which is given in Equation 2.

$$UCS_{cor} = UCS_{measured} / (0.88 + 0.24(d/l))$$
 (2)

 UCS_{cor} : Corrected UCS (kg/cm²) UCS_{measured}: Measured UCS (kg/cm²) d= diameter (cm) l= length (cm)
2.2 Brazilian Tensile Strength

It is also known as Indirect Tensile Test. Because the tensile strength is calculated indirectly by this method. Equation 3 is used in calculations.

It is difficult to determine the tensile strength of rock. The most common test for determining the tensile strength of metals i.e. the direct-pull test, does not work with rocks. Indirect methods are therefore used to determine the tensile strength. Bending tests and Brazilian test; a core is subjected to compressional diametric loading which induces tensile failure of the specimen. Indirect, or Brazilian, tensile strength is measured using NX core samples cut to an approximate 0.5 length-to-diameter ratio (54-27/54mm). In bedded/foliated rocks, particular attention should be given loading direction with respect to bedding/foliation (Karpuz and Hindistan, 2012).

 $\sigma_t = 2.F / \pi.L.D$ (3) $\sigma_t = Brazilian Tensile Strength (kg/cm2)$ D = Diameter of the core sample (cm) F = Maximum Failure Load (kg) L = Length of the core sample (cm)

2.3 Point Load Strength Index

The Point Load Strength test is intended as an index test for the strength classification of rock materials. It may also be used to predict other strength parameters such as the uniaxial compressive and the tensile strength. The testing machine consist of a loading frame, which measures the force required to break the sample, and a system for measuring the distance between the two platen contact points. Rock specimens in the form of either core, cut blocks, or irregular application lumps broken by of are concentrated load through a pair of spherically truncated, conical platens. The load is applied diametrically to 50-55 mm core by means of two hardened steel points attached to a hydraulic ram. The specimen fails in tension and the relationship of the force at failure and the specimen diameter gives the point load index (I_s) used for calculation of point load strength index

 (I_{s50}) which can be calculated from Equation 4-6.

 $Is = P/D_e^2$ (4)

$$F = (D_e/50)^{0.45}$$
(5)

$$Is_{50} = F. Is$$
 (6)

 I_s = Point load strength (MPa)

P = The force at failure (N)

 $D_e = Equivalent core diameter (mm)$

 I_{s50} = Point load strength index (MPa)

2.4 Schmidt Hammer

The Schmidt Hammer was developed in 1948 for non-destructive testing of concrete hardness, and was later used to estimate rock strength. It consists of a spring-loaded mass that is released against a plunger when the hammer is pressed onto a hard surface. The plunger impacts the surface and the mass recoils; the rebound value of the mass is measured either by a sliding pointer or electronically. Hammer rebound readings are considered consistent and reproducible (Katz, et., 2000).

There are two types of hammers: L-type for rocks and N-type for concrete. It is so easy to apply. This method provides to calculate compressive strength of rocks.

There are 3 different test procedures can be performed in Schmidt Hammer test:

Test procedure 1 – Recording twenty rebound values from single impacts separated by at least a plunger diameter and averaging the upper ten values

Test procedure 2 – Taking the peak rebound value from ten continuous impacts at a point and averaging the peaks of the three sets of tests conducted at three separate points.

Test procedure 3 – Taking the peak rebound value from twenty continuous impacts at a point and averaging the peaks of the three sets of test conducted at three separate points (Nasuf and Tunçdemir, 2015).

3 TEST RESULTS

The numerical data obtained as a result of the tests performed are seperated into 4 groups based on the tests. All groups have all data about 5 different marble samples.

3.1 Uniaxial Compressive Strength

The UCS test has been applied to 5 core samples of each marble type. The results of the test is given in Table 2.

3.2 Brazilian Tensile Strength

The Brazilian tensile strength test (BTS) has been applied to 10 Core samples of each marble type. The result of the test is given in Table 2.

3.3 Point Load Strength Index

Point load strength index test has been applied to 5 core samples of each marble type that is given in Table 2.

Table 2.	UCS,	BTS,	and PLI	of sample	es
----------	------	------	---------	-----------	----

Marble	UCS(kg/cm ²)	BTS (kg/cm ²)	PLI (kg/cm ²)
Marmara Marble	530.9	36.27	29.86
Denizli Travertine	437.5	43.41	28.89
Konya Black Marble	552.6	45.91	29.98

Burdur Beige Marble	443.82	55.16	13.30
Ordu Unye Marble	114.8	19.43	2.37

3.4 Schmidt Hammer

Schmidt hammer test applied to marble samples before coring operation. The 3 procedures of schmidt hammer has different rebound value which is given in Table 3.

Table 3. Schmidt hammer rebound values ofsamples with 3 procedures

Marble				
Туре	1	2	3	Average
Marmara	52.2	57.4	56.0	55.2
Marble				
Denizli	48.1	47.7	50.0	48.6
Travertine				
Konya	60.1	62.9	61	61.3
Black				
Marble				
Burdur	63.5	67.5	66.3	65.8
Beige				
Marble				
Ordu	24.8	36.9	41.5	34.4
Unye				
Marble				

3.5 Analysis of Test Results

The relationship between test results has been analyzed. There are strong relationships between point load strength index - UCS and schmidt hammer rebound value-UCS which can be seen in Figure 2.



Figure 2. Relationships between test results

According the results there are a high relationship between procedure-3 schmidt hammer-UCS and point load strength index-UCS which obtained formulas is given in Table 4.

Table 4. Obtained formulas from test results

Relationship	Equation	\mathbb{R}^2
Point load strength index-UCS	UCS= $28.141.(I_{s50})^{0.5783}$	0.9314
Schmidt hammer (Procedure- 1)-UCS	UCS=0.0409.(Rv) ^{2.5052}	0.8078

4 CONCLUSION

The tests which are applied to our sample of marbles gave some results. These results have some relations between each other. The relationships between the test result has been formed. There are a high relationship between point load strength index, Schmidt hammer and UCS has been found from the results.

The formulas which are occurred by analysis can be changed if the different marble will be used in tests. It is recommended to carry out further tests to obtain general formulas for these experiments.

REFERENCES

- Erkin, N., Tunçdemir, H., 2015. *Rock Mechanics Lecture Notes*, Istanbul Technical University
- Karpuz, C., Hindistan, M.A., 2012. *Kaya Mekaniği İlkeleri ve Uygulamaları*, TMMOB, Ankara, 346s.
- Katz, O., Reches, Z., Roegiers, J.C., 2000. Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 37, 723-728.
- Ulusay, R., 2011, Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri, TMMOB, Ankara, 167s.

Riva Tüneli'nin Stabilite Analizinin Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanan Yazılım ile Yapılması

Stabilization Analysis of Riva Tunnel By Software Using Finite Element Method

Ç. T. Şen, C. Erdoğan, H. Tunçdemir

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

H. Nurnur

EMAY Engineering and Consultancy Incorporated Company, İstanbul

ÖZET

Tez kapsamında EMAY Engineering and Consultancy Incorporated Company tarafından projesi yapılmış Riva Tüneli jeoteknik raporu detaylı olarak incelenmiştir. Tez çalışmasına konu olan kesimde yapılan sondajlar ve laboratuvar deneyleri sonuçlarına göre yapılan mühendislik jeolojisi çalışmaları irdelenmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda, Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM) ilkelerine göre inşa edilmiş olan tünel için kazı ve destekleme tiplerinin seçimi gözden geçirilmiştir. Bu incelemeler doğrultusunda gereken hesaplamaları yapabilmek için PLAXIS 2D programının kullanılmıştır. Sonrasında, ilgili kesim için, sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan PLAXIS 2D programı kullanılarak stabilite analizleri yapılmıştır. Tünel kazısından sonra oluşan deformasyon miktarları incelendiğinde en kötü durumda tünel kaplamasında 1,1 santimetre deplasman olacağı görülmüştür. Hesap sonuçları ile arazi ölçümlerinin birbirini desteklemesi, bu yapılan modellemenin tutarlı olduğunu göstermektedir.

ABSTRACT

In this study, Riva Tunnel Project, prepared by EMAY Engineering and Consulting Inc. was examined. As a first step, the geotechnical report of the tunnel has been examined in detail. The engineering geology studies conducted according to the results of the drillings and laboratory tests carried out in the area subject to the thesis study have been examined. In the light of this information, the selection of excavation and support types for the tunnel constructed according to the NATM (New Austrian Tunneling Method) basis has been examined. The use of PLAXIS 2D program has been learned to make the necessary calculations in the direction of these examinations. Stability analyzes were then performed for the relevant section using the PLAXIS 2D program, which solves the problem with the finite element method. When the amount of deformations formed after the tunnel excavation was examined, it is observed that at the worst case, there will be a 1.1 cm displacement on the tunnel cover. The results of the calculations and the support of the land metrics show that this numerical modeling with the finite element method is successful.

1 TÜNELİN ÖZELLİKLERİ

1.1 Tünelin Coğrafi Konumu

Tez kapsamında incelenecek olan Riva Tüneli Anadolu yakasındaki ilk tünel olup Poyraz — Paşaköy anayolu üzerinde derinlikte bulunmaktadır. Orta tünel özelliğinde olan yapı eşit uzunlukta olmayan tüpten oluşmaktadır. Km: Sol 2 tüp 103+829,36 - 104+456,088 aralığında 624 Sağ metre uzunluğunda; tüp ise Km:

103+839,844 – 104+456,141 aralığında 564 metre uzunluktadır. Her bir tüpü dört şeritlik olmak üzere iki tüplü olarak inşa edilmiştir.

1.2 Saha Jeolojisi

Bölgede yapılan sondaj çalışmaları sonucunda Tünel, Fliş fasiyesinin oluşturduğu (kumtaşı ara seviyeli silttaşı – çamurtaşı) birimlerden geçmektedir. Hâkim birim, silttaşı ve çamurtaşı olmakla beraber

aralarında maksimum kalınlığı 50 santimetre olan kumtaşı ile yer yer kiltaşı seviyelerine rastlanmaktadır. Fliş fasiyesinde yapılan ölçümler sonucunda tabakaların ortalama eğim yönü ve eğim açısının 30/80 olduğu Tabanda görülmüstür. silisiklastik sedimentler ile baslar üste volkanoklastik çökeller ile son bulur. Flişler, koyu yeşilimsi, ayrışmış külrengi - açık kahverengi yer yer kızılımsı, orta – kalın ve düzgün katmanlıdır; alt düzeylerde çakıl ve çakılcıklı orta - kaba kum boyu, üst düzeylerde ise ince – orta kum gereç egemendir. boyu Başlıca, yarı yuvalanmış, yuvarlanmış kuvars, mika, feldspat, az mafik mineral ve kuvarsit, kireçtaşı, kumtaşı çakmaktaşı, türünden litoklast kapsar. Fliş tabakalarında yerel olarak kömürleşmiş bitki parçaları da yer almaktadır (Emay, 2016).

1.2.1 Homojen Bölgelendirme

Çizelge 1'de verilen Riva Tüneli'nin homojen bölgelendirmesinde portal bölgeleri, tünel üzerinde genelde zayıf zemin/kaya koşullarının olduğu sığ örtü kalınlığının bulunduğu kesimler, derin kırılma – sık eklem ve ayrışma potansiyeli olan birimler, su taşıyıcı zonlar, fay zonları, uyumsuzluk kesimleri vüzevleri ve derin dikkate alınmıştır.

Cizelge	1 H	omoien	Bölgel	endirme
Çizcige	1.11	omojen	Durger	chunne

Kesim No	Kilometre Arahğı			Kesim Uzunluğu (m)	Kesim Özelliği	
	Sol	Başlangıç	103 + 829,936	80		
1	Tüp	Bitiş	103 + 910,000		Giriş	
•	Sağ	Başlangıç	103 + 893,844	26	Portali	
	Tüp	Bitiş	103 + 930,000	30		
	Sol	Başlangıç	103 + 910,000	00		
2	Tüp	Bitiş	104 + 000,000	50	Orta Derin Tünel	
2	Sağ	Başlangıç	103 + 930,000	75		
	Tüp	Bitiş	104 + 005,000	15		
	Sol	Başlangıç	104 + 000,000	200	Derin Tünel	
2	Tüp	Bitiş	104 + 290,000	250		
2	Sağ	Başlangıç	104 + 005,000	205		
	Tüp	Bitiş	104 + 300,000	295		
	Sol	Başlangıç	104 + 290,000	65		
4	Tüp	Bitiş	104 + 355,000		Orta Derin	
-	Sağ	Başlangıç	104 + 300,000	70	Tünel	
	Tüp	Bitiş	104 + 370,000	10		
	Sol	Başlangıç	104 + 355,000	101		
5	Tüp	Bitiş	104 + 456,088	101	Çıkış	
2	Sağ	Başlangıç	104 + 370,000	86	Portali	
	Tüp	Bitiş	104 + 456,141			

1.2.2 Kaya Kütlesi Sınıflama Sistemleri

Riva Tüneli için kaya kalite sınıflamaları RQD, Q ve RMR yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Tünelin üstünde çalışılan kesimi için RQD değeri 72 olarak bulunmuştur. Q – Barton sınıflaması hesapları sonucunda Q değeri 6,336 olarak ve final RMR değeri 57 olarak bulunmuştur (Emay, 2016).

2 JEOTEKNİK DEĞERLENDİRME

Riva Tüneli için yapılan ayrıntılı jeoteknik değerlendirmede bu tünellerin destekleme – sağlamlaştırma ve iyileştirme önlemleri alınarak geçebileceğini göstermiştir. Riva Tüneli için kaya kalite sınıflamalarından yola çıkılarak kaya destek sınıflamaları belirlenmiştir.

2.1 Karayolları Teknik Şartnamesi Kaya Destek Sınıfı

Riva Tüneli'nin derin tünelli kesimi yani 104+100 kesimi için belirlenmiş olan Q ve RMR değerlerinin teknik şartname doğrultusunda belirlenen sınıfları aşağıdaki Çizelge 2'de verilmiştir.

U N	V A		Q-H	КТŞ	RMR	R-KTŞ	
K.N		K. /	4	Q	Q KTŞ		KTŞ
	Sol	Baş.	104 + 000				
2	Tüp	Bit.	104+290	6,33	B1	57	B2
3	Sağ	Baş.	104+005	6			
	Tüp	Bit.	104+300				
K.T.Ş	. : Kara	ayolları	teknik şartna	amesi ka	iya dest	ek sınıfı	
RMR: Rock mass rating							
K.N: Kesim no							
K.A.:	Kilom	etre aral	ığı				
K.A.:	Kilom	etre aral	ığı				

Çizelge 2. KTŞ destek sınıfı

3 DESTEKLEME ELEMANLARI VE ANALİZLER

3.1 Destekleme Elemanları

Karayolları Teknik Şartnamesi ve kaya kalite sınıflamaları göz önüne alınarak Riva Tüneli'nin derin tünelli kesiminin imalatında kullanılması öngörülen tip, ilgili kesitlere göre belirlenmiştir. Çizelge 3'te belirlenen destekleme elemanlarının özeti verilmiş olup ilgili hesaplamalar, bu çizelgedeki değerler doğrultusunda yapılmıştır (Karayolları, 2013).

Çizelge 3. Belirlenen destekleme elemanları

Destekleme	Tipi \ KTŞ	B2
	Çap	1,5" *
	Kesim	Üst yarı - Omuz *
Ön Süren	Aralık	30 cm *
	Uzunluk	6 m *
	Bindirme Boyu	1,5-2m *
Püskürtme Beton	Tip	C25/30
	Kalınlık	25 cm
Püskürtme Beton	Tip	C25/30
	Kalınlık	20 cm
Püskürtme Beton **	Tip	C25/30
	Kalınlık	5cm
Çelik Hasır	Tip	Q221/221
	Adet	2 kat
Çelik Hasır	Tip	Q188/188
	Adet	2 kat
Çelik Hasır **	Tip	-
	Adet	-
Kafas İkan	Tip	3 donatılı
Kales iksa	Özellik	$2x\phi 26+\phi 32\ mm$
Kaya Bulonu	Tip	PG-SN
	Çap	32 mm
	Boy	4-6 m
	Aralık (RadyalxBoyuna)	1,75 x 1,5-2,0 m
Kaya Bulonu	Tip	-
	Çap	-
	Boy	-
	Aralık (RadyalxBoyuna)	-
Kaya Bulonu **	Tip	PG
	Çap	14 mm
	Boy	12 m
	Aralık (YatayxDüşey)	2,0 x 2,0 m
Ayna Dest	teklemesi	-
Deformasyo	n Toleransı	5 cm
Yapım T	oleransı	10 cm

*Gerektiğinde uygulanacaktır.

** Fliş biriminin tabakalarının eğim durumlarına göre gerektiğinde tünel aynası püskürtme beton + çelik hasır + kaya bulonu ile desteklenecektir.

3.2 Analizler

Tez kapsamında seçilen kesit tünelin B2 kaya sınıfı özelliğindeki Fliş birimi içerisinde açılmış kesimi temsil etmektedir. Tünel üzeri örtü kalınlığı yaklaşık olarak 76 metredir. Riva Tüneli'nin 104 +100 kesitinde yapılan tünel stabilite ve yüzey oturma analizleri, sonlu elemanlar metodu ile çözümleme yapan PLAXIS 2D programi ile yapılmıştır (Plaxis, Modelleme isleminde program 2016). tarafından olusturulan elemanların, daha hassas bir analiz için özellikle tünel cevresinde daha sık bulunmalarına dikkat edilmiştir. Oluşturulan hesap modeli Şekil 1'de verilmistir.



Şekil 1. PLAXIS 2D hesap modeli

Gerçekleştirilen analizlerde tüm kazı aşamaları modellenmekte olup, kazı sırasında ilgili zemin birimi inaktif hale getirilirken; destekleme sırasında ise destekler uygulama sırasına göre aktif hale getirilmektedir. Bu nedenle analizde kazı – destek aşamaları toplam 27 adımda yapılmıştır.

4 SONUÇLAR

Analiz sonucunda sıra ile iki tünele ait kazı ve destekleme aşamaları tamamlanmış olup analiz sonuçları aşağıda verilmiştir. Analiz sonucunda tünelin 104 + 100 kesitine ait tüm kazı aşamaları için zeminde ve destek sisteminde oluşan deplasmanlar, destek sistemine etki eden kuvvetler, zeminde oluşan gerilmeler ve yenilme zonları elde edilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Analiz sonuçları

Tünel	Deplasmanla	r (cm)	1,11
Çevresinde	Gerilmeler	En çok	0,84
Oluşan	(kN/m^2)	En az	-5 064
	Deplasmanla	r (cm)	1,2
	Normal	En çok	95,49
T."	Kuvvetler (kN/m)	En az	-1 013
I unei Kaplamasında	Eğilme	En çok	7,9
Oluşan	Momentleri (kNm/m)	En az	-11,08
	Kesme	En çok	115,1
	Kuvvetleri (kN/m)	En az	-81,08
Bulonlara	Normal	En çok	24,89
Etki Eden	Kuvvetler (kN/m)	En az	-0,19

Analiz sonuçları Riva Tüneli'nin incelenen bölgede yol açacağı yer değiştirmelerin içinde tolerans sınırları kaldığını ve belirlenmiş destek sistemlerinin yeterli olduğunu göstermiştir. Tünel kaplamasına etki eden kuvvetlerin tolerans sınırları içinde olduğu görülmüştür. Şekil 2 ve Şekil 3'te verilen Tünel kaplamasında yaklaşık olarak 1,2 santimetre deplasman oluştuğu gözlenmiş ve santimetrelik toleransa 5 uyduğu Yapılmış olan iç kaplama görülmüştür. malzemelerinin dayanımının depremsellik açısından da yapılan analiz sonucu uygundur. Tez kapsamında sonlu elemanlar yöntemi kullanan yazılım ile analiz yapılmıştır. Daha sonrası yapılması gereken işlerden biri de değişik tahmin yöntemlerini (sonlu farklar vb.) kullanan yazılımlarla ortamın çözümlenmesi ve burada bulunan sonuçlarla, karşılaştırma yapılmasıdır.

Şekil 2. Tünel çevresinde oluşan toplam deplasmanlar





Şekil 3. Püskürtme betonda oluşan deplasmanlar

TEŞEKKÜR

Teze konu olan Riva Tüneli'nin projesini yapan EMAY Engineering and Consultancy Inc. firmasında çalışmakta bulunan ve kullanılan yazılımın öğretiminde büyük katkısı bulunan, her türlü desteği ve ilgiyi esirgemeyen Yüksek Maden Mühendisi Herman Nurnur'a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca tezin hazırlanmasında yardımları bulunan arkadaşım Yelda Turgut'a teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- EMAY Uluslararası Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş., 2016. *T2 (Riva) Tüneli Kesin Proje Jeoteknik Raporu*, Rapor No: KMO-K-3T02-1F-T-001.
- Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013. Karayolu Teknik Şartnamesi, KGM, Ankara, 431 s.
- PLAXIS, 2016. *Plaxis 2D Manual*, Plaxis, Delft Hollanda, 66 s.

İmbat Madencilik Eynez Ocağında Ocak Havalandırma Direncinin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi

Measurement and Analysis of Air Resistance on Imbat Coalmine

F.F. Gökdeniz, O. Esen, A. Fişne

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Y. Akyol İmbat Madencilik A.Ş., İzmir

ÖZET Bu çalışmanın amacı, İmbat Madencilik Soma Eynez Yeraltı Ocağı'nda gerceklestirilen havalandırma dirençlerinin ölçmeler vardımıvla belirlenmesidir. Havalandırma şebekelerinin planlanmasında, gerekli hava dağılışının sağlanmasında ve vantilatör tesislerinin tasarım ve seçiminde, ocaktaki hava yollarının dirençleri büyük önem taşımaktadır. Bir havayolunun direnci, o yolun kesit alanı ve şekline, tahkimat türüne, uzunluğuna, galeri ya da kol üzerinden geçen hava miktarına, hava yolundaki basınç farkına ve yüzey pürüzlüğüne bağlı olan sürtünme katsayısına göre değişmekte olup her havayolu için direnç değerleri de farklılık göstermektedir. Değişik özelliklere sahip galerilerde, panolarda ve hava kapılarında direnç tespiti için gerekli ölçmeler yapılmıştır. Bu ölçmeler sırasıyla:1-Hava miktarının (Q) hesaplanması için, kesit alanı (S) ve hava hızı (V) ölçmeleri, 2-Direncin (R) hesaplanması için her bir pano, galeri ve koldaki basınç farklarının (h) ölçülmesi, 3-Ocak havasının yoğunluğu ve nem miktarının tespiti için psikometri ve mutlak basınç ölçmeleridir. Yapılan ölçmelerden elde edilen sonuçlarla hava yollarının dirençleri ve sürtünme katsayıları hesaplanmıştır. Ayrıca bulunan sürtünme katsayısı değerlerin literatürde verilen değerlerle karşılaştırılması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Havalandırma şebekeleri; Havalandırma direnci; Sürtünme katsayısı;

ABSTRACT Purpose of this project is to determine the ventilation resistances performed by İmbat Madencilik Soma Eynez Underground Mine's with the help of measurements. In the planning of ventilation networks, in providing the necessary air distribution and in the design and selection of ventilator facilities, the resistance of the airways in the mine is great importance. The resistance of an airline varies depending on the resistance, the crosssectional area and shape of that path, the length of the support, the length, the amount of air passing through the gallery, the pressure difference between certain distances in the cable, and the friction coefficient depending on surface roughness. In the galleries with different properties, measurements were made to determine the resistance in the panels and air doors. These measurements are as follows: 1-For calculation of the air quantity (Q), the crosssectional area (S) and air velocity (V). 2- Measurement of pressure differences (h) in each panel, gallery, and on the way to calculate resistance (R). 3- Psychometry and absolute pressure gauges for the determination of the intensity and humidity of the hearth air. The resistances and friction coefficients of the roads measured by the results obtained from the measurements made are calculated. From the results obtained, the relationship between the resistance and the cross-sectional area is graphically expressed for the airways in operation. In addition, the results of the measurements were compared with the values given in the literature.

Keywords: Ventilation system; Ventilation Resistance; Friction coefficient;

1 GİRİŞ

1.1 İşletme Bilgileri

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü bünyesinde bulunan İR75153 nolu ruhsat sahasının çalışma alanı, Manisa ili Soma ilçesinin 25-30 km güneybatısındaki Eynez Mahallesi Karanlıkdere Mevkiinde yer almaktadır. İşletmeye ulaşım Soma-Bergama karayolunun 16. kilometresindeki Cenkyeri Mahallesinden ayrılıp güneyde bulunan 11 km'lik asfalt yol ile sağlanmaktadır. 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. Soma Eynez kömür sahası kömür damarının kalınlığı ortalama 28 metredir. Damar kalınlığı pano bazında değişkendir. Sahada üretim yeraltı işletme yöntemiyle gerçekleştirilmektedir, yeraltı üretim yöntemi olarak da "Geri dönümlü arkadan göçertmeli çok katlı uzun ayak yöntemi" kullanılmaktadır. Sürülen damarını lağımların kömür kestiği noktalardan damar doğrultusuna ve eğimine göre kömür içerisinde alt ve üst taban yolları sürülerek panolar oluşturulur. Pano sınırlarında taban yolları birleşerek ayakları oluşturur ve kelebelerle bağlanarak katlar teşkil edilir. Damar kalınlığına ve tektonik yapıya göre tek kat ya da üç katta üretim gerçeklestirilir.



Şekil 1. İmbat Madencilik Eynez Ocağı'nın 3DS Max programı ile çizilen şematik gösterimi

2 OCAK HAVLANDIRMASI VE HAVALANDIRMA DİRENCİ

Yeraltı maden işletmeciliğinde, bir ocağın açılışından kapanışına kadar üzerinde titizlikle durulması gereken ve vazgeçilmez konulardan birisi, hatta en önemlisi ocağın havalandırılmasıdır.

Havalandırma problemleri değişik şekillerde karşımıza çıkabilir. Örneğin yeni vantilatör tesislerinin hesabı, var olan bir şebekenin ıslahı, yeni üretim yerlerinin eklenmesi, daha derin kotlarda üretime geçilmesi, üretimin artırılması, bir veya birkaç vantilatörün yerlerinin değiştirilmesi, yeni hava giriş kuyularının eklenmesi veya çıkarılması, tamamen yeni bir ocağın havalandırma projesinin yapılması ve bunun gibi sorunlar sayılabilir.

2.1 Havalandırma Direnci

Hava akışında sürtünmeden dolayı oluşan yük kayıpları toplam kaybın % 70-90' ını oluşturmaktadır. Bu nedenle düzenli hava akışını sağlamak için sürtünme kaybına neden olan havalandırma direncini belirlemek gerekmektedir.

2.1.1 Güzergâh ve ölçüm noktaları seçimi

Ölçüm yolunun seçim prensibi: Maden havalandırma sisteminin özelliklerini yansıtan en uzun havalandırma yolu ana yol olarak kabul edilir ve diğerleri yardımcı test yolları olarak değerlendirilir. (Cheng, & Wang, 2011)

2.2 Direnci Etkileyen Faktörler

Havalandırma direncinin değişik faktörler etkilemektedir. Direnci belirlemede $R=\alpha.(L.P/S^3)$ kullanılan: esitliğinden görüleceği gibi direnç ,'L' hava yolunun uzunluğu, 'P' hava yolunun çevresi ve α sürtünme katsayısı ile doğru, 'S' kesit alanının küpüyle ters orantılıdır. Ayrıca a sürtünme katsayısı da değişik faktörlere bağlı olarak her hava yolu için değişik değerler almaktadır. Aşağıdaki dirence etki eden faktörler ve etkileri ele alınarak açıklanmıştır.

3 HAVALANDIRMA DİRENÇLERİNİN TESBİTİNDE YAPILAN ÖLÇMELER

Havalandırma şebeke problemlerinin çözümünde hava yollarının dirençlerinin doğru ölçülmesi gerekmektedir. Dirençlerin ölçülmesinde genellikle iki yol izlenir.

- Dirençlerin hazırlanmış tablo yardımı ile hesaplanması
- Dirençlerin ölçmelerle hesap edilmesi

Bir hava yolunun direncinin ölçmelerle hesabı zaman alıcı olduğundan, çok hassas olmayan problemlerin çözümü için gerekli direnç değerleri, genellikle tablolar yardımı ile hesaplanmaktadır. Bu çalışmada ocak direnci ölçmelerle hesap edilmiştir. Esas olarak ölçülen parametreler: mutlak basınç, kuru ve yaş sıcaklık, atmosferik basınç, galeri kesiti, hava hızı, ölçüm noktaları arasındaki uzunluktur.

3.1 Kesit Alanın Ölçülmesi

Havalandırma hava yolu dirençlerinin tespit edilmesinde hava yolunun kesit alanının olarak ölçülmesi büyük doğru önem taşımaktadır. Direncin hesabında kullanılan, direnç (R) ile kesit alanı (S) arasında $R=1/S^3$ orantısı vardır. Burada kesit ölçümünde yapılabilecek dirence bir hata, küpü mertebesinde yansıyacaktır. Bu nedenle kesit ölçmelerinin büyük bir hassasivetle yapılması gerekmektedir.

3.2 Hava Hızının Ölçülmesi

Ocak yollarındaki hava hızı birkaç cm/s'den 10-15 m/s veya daha büyük değerlere erişecek şekilde çeşitli sınırlar içinde değişir. Kuyu ve galerilerde ortalama hava hızı 1-5 m/s arasında değişmektedir.

Hava hızı kavramı, genellikle ortalama hava hızını ifade etmekte olup, birim zamanda bir kesitten geçen hava miktarının kesit alanına olan oranıdır. Bir hava yolunda hava hızı, hava yolunun kesit alanına bağlı olarak artmakta ya da azalmaktadır. Hava hızları istenen ölçme hassasiyetine göre değişik ölçme yöntemleri ile ölçülmektedir.

Ocaklarda hava hızları genellikle anemometreler ile ölçülmektedir. Ayrıca anemometreye ek olarak yeni bir ölçüm yöntemi olan mikro-sıcaklık manometresi ile hava hızı ölçümü İmbat Madencilikte geliştirilmiş olup anemometre ile benzer sonuçlar alınmıştır. (Tuncel, 1991).

3.2.1 Mikro-sıcaklık manometresi ile hava hızı ölçülmesi

ilerlemesi ile ikinci nesil Teknolojinin mikrosistem teknolojileri gibi uygun özellikler yeni sistemlerin ve ölçüm amacıyla keşfedilmesi 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. Bu manometre türü SDP600 serisinin dijital diferansiyel basınç sensörleri, düşük bir diferansiyel basınçta (10 Pa) bile yüksek hassasiyet ve doğruluk ile mükemmel bir uzun vadeli kararlılık sağlar.

3.2.2 Mikro-sıcaklık manometresinin yapısı

Mikro sıcaklık manometresinin içinde SPD600 serisi diferansiyel basınç farkı sensörü bulunmaktadır. SDP600 sensör ailesi, yüksek hacimli uygulamalar için tasarlanmış Sensirion'un dijital diferansiyel basınç sensörleri serisidir. Havanın ve agresif olmayan gazların basıncını mükemmel doğruluk ve kayma olmadan ölçerler.

Sensörler, \pm 500 Pa'ya (\pm 2 inç H₂O / \pm 5 mbar) kadar bir basınç aralığını kaplar ve ölçüm aralığının alt ucunda bile olağanüstü doğruluk sağlar.



Şekil 2. Mikro-sıcaklık manometresinin iç yapısı. (Sensirion, 2017)

3.2.3 Mikro-sıcaklık manometresi ölçüm sonuçları

Mikro sıcaklık manometresi ile Doğu-8 ve Doğu-9 panolarında, yeni desandre ve nefeslikte basınç farkı ölçmelerinin sonuçları aşağıdaki gibidir. Doğu-8 panosunun ana nakliyat galerisinde basınç farkı 0.50-5.00 Pa arasında değişmektedir. Desandre ve nefeslik kısımlarında ise bu değerin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 1. Mikro-sıcaklık manometresi ile ocağın çeşitli yerlerinde alınan ölçümler

ÖK	BF	K	AH	HM	HMD	BHH
1	4,76	13,50	2,09	28,22	1692,90	2,18
2	4,14	13,29	2,26	30,04	1802,12	2,03
3	3,53	13,84	2,01	27,82	1669,10	1,88
4	0,84	18,84	1,06	19,97	1198,22	0,91
5	0,45	12,71	0,64	8,16	489,59	0,67
6	1,52	16,00	1,52	24,32	1459,20	1,23
7	0,31	11,39	0,61	6,97	418,24	0,55
8	8,45	12,80	2,93	37,50	2250,24	2,91
9	13,01	21,00	1,97	41,43	2485,98	3,61
10	0,76	7,80	0,18	1,40	84,24	0,87
11	3,01	10,27	0,18	1,85	110,92	1,73
12	4,83	13,00	1,30	16,94	1016,34	2,20
13	13,61	11,41	3,51	40,01	2400,89	3,69
14	10,49	7,38	2,68	19,77	1186,34	3,24
15	50,11	8,71	7,09	61,75	3705,23	7,08
16	67,36	7,25	8,03	58,18	3490,64	8,21
17	70,26	7,20	8,97	64,58	3875,04	8,38
18	49,09	9,14	8,10	74,06	4443,50	7,01
ÖK:	Ölçüm	Yapıla	n Kon	um, B	F: Basınç	Farkı
(Pa),	K: Kes	sit (m ²),	AH:	Anemor	netre ile Ö	lçülen

(Pa), K: Kesit (m²), AH: Anemometre ile Olçulen Hava Hızı (m/s), HM: Hava Miktarı (m³/s), HMD: Hava Miktarı (m³/dk), BHH: Basınç Farkı ile Ölçülen Hava Hızı (m/s)



Şekil 3. Anemometre ve mikro-sıcaklık manometresinin ölçüm sonuçlarının ilişkisi

3.3 Basınç Ölçmeleri

3.3.1 Mutlak basınçların ölçülmesi

Barometreler mutlak basıncı, yani atmosfere göre fark basıncını ölçmek için kullanılır. Barometreler dâhili belleği sayesinde yaklaşık 900 veri kaydedilebilir. Barometrik basıncın yanı sıra bu barometreler ile sıcaklığı ve göreceli nem oranını da ölçmek mümkündür.

3.3.2 Basınç farklarının ölçülmesi

Ocak içerisinde basınç değişimleri barometrik veya manometrik yöntemlerle tespit edilir. Bu çalışmada ise manometrik yöntem uygulanmıştır.

Manometrik yöntemde ise basınç farklarının belirlenmesinde manometreler kullanılmaktadır. Manometre ile vapılan ölçme işlemi, bir okumayla doğrudan basınç ölcülebilmesinden farkının dolavı barometreye kıyasla daha basit ve hassastır. Fakat ölçme işlemi oldukça uzun zaman almaktadır. Manometreler değişik tip ve vapılarına göre sınıflara ayrılmaktadır. Ocaklarda basınc farkı okumaları icin en uygun olanları dijital manometrelerdir.





4 SONUÇLAR

Bitirme çalışması ile İmbat Madencilik Soma Eynez yeraltı ocağının havalandırma Ocağın direnci tespit edilmistir. sebekesinin bilgisayar havalandırma ortamında oluşturulması ve analizi için Ventsim Visual 4 havalandırma simülasyon kullanılmıştır. Programa programi veri olarak öncelikle işletme tarafından hazırlanan üretim planı dxf dosya formatında havalandırma sebekeleri girilmiş ve oluşturulmuştur. Daha sonra şebekeyi oluşturan her bir hava yolu için geometrik şekil ve boyut, sürtünme faktörü gibi parametreler programa girilmiştir. Avrıca ocağa verilecek toplam hava miktarı farklı kriterler dikkate alınarak hesaplanmış ve hava dağılımı program yardımıyla analiz edilmistir.

İmbat Madencilik Eynez Ocağı'nda yapılan ölçmeler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özet olarak verilmiştir.

Ocakta bulunan hava yolları için ölçmeler sonucu bulunan sürtünme katsayıları çizelge 2. de görülmektedir.

Çizelge 2. Çeşitli hava yollarına göre bulunan sürtünme katsayıları(McPherson,1993)

Hava Yolunun Tipi	α Sürtünme Katsayısı (kg/m3)	McPherson (1993)
Çelik Bağ Tahkimatlı Desandre ve Galeriler	0,003554	0,0040
Üst Taban Yolları	0,008758	0,0075
Alt Taban Yolları	0,008879	0,0075
Mekanize Ayaklar	0,068219	0,0650



Şekil 5. Ventsim yazılımı ile ocak direnci sonucu

TEŞEKKÜR

Bitirme calismamin çıkarılması ortaya fakültedeki araștırma sırasında ve çalışmalarına katılmam konusunda desteklerini esirgemeyen tez danışmanım Doç.Dr. Abdullah FİŞNE' ye ve lisans havatım boyunca bilgi ve deneyimlerini paylaşan bölüm hocalarıma tüm teşekkürlerimi İmbat sunarım. Ayrıca Madenciliğe tüm katkı ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Cheng, G., Wang, W., & Wang, F., 2011. Measurement and Analysis of Air Resistance on Baishan Coalmine. Advanced Materials Research Online (1662-8985), Vol. 402, pp 648-653 doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.402.648 Trans Tech Publications, Switzerland
- McPherson, M., J., 1993. "Subsurface ventilation and environmental engineering". Thomson Press Limited, India, s.138.
- Prosser, B., S., & Loomis, I., M.,. 2004. Measurement of Frictional Pressure Differentials During a Ventilation Survey. 10th North American Mine Ventilation Symp., Alaska.
- Sensirion. "Differential Pressure Sensors SDP600 Series". Son güncelleme 26 Mayıs 2017. https://www.sensirion.com/en/flowsensors/differential-pressure-sensors/digitaldifferential-pressure-sensors-without-zero-pointdrift/
- Tuncel, Z. "T.T.K., Üzülmez Taşkömürü İşletme Müessesesinde havalandırma dirençlerinin ölçmelerle tespiti". Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi,1991.

Kademeli Kazılarda Gerilme ve Deformasyon Dağılımının İncelenmesi

An Investigation into Stress and Deformation Distribution on Sequential Excavation

F. Karakoç, H. Tunçdemir İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

B. Koçak, L. Işık TTS Uluslararası Mühendislik ve Mimarlık Şirketi, İstanbul

ÖZET Günümüz tünel teknolojileri sonucunda, dünya genelinde en çok kullanılan tünel açma yöntemlerinin başında tünel açma makinesi ile kazı ve yeni Avusturya tünel açma yöntemi kullanıldığı belirtilebilir. Artan tünelcilik projelerinin iyileştirmesi için, güvenli sınırlarda kalarak, zaman ve maliyet anlamında en uygun değerlere ulaşmak hedeflenmektedir. Bu bağlamda NATM ile kazılması planlanan bir tünel için sonlu elemanlar yöntemi ile çözümleme yapan, iki boyutlu analiz programı olan Phase2 (RS2) kullanılmıştır. Bu çalışma boyunca her analiz için aynı olan zayıf kaya koşulları ve aynı tahkimat elamanları kullanılarak toplamda 12 farklı kademeli kazı tipinin Phase2 programı ile numerik modellemesi yapılmış ve tünel çevresinde oluşan gerilme ve deformasyon dağılımları incelenmiştir. Tünel çevresinde bütün kazı tipleri için sabit noktalar belirlenmiş ve analiz sonuçları mukayese edilirken bu noktalar kullanılmıştır. Yapılan 12 farklı analiz sonucunda, kademeli kazı yapılırken tünel etrafında oluşan deformasyonu minimize etmek amacıyla kazılan parçaların boyutlarının birbirlerine oranlı olmaları gerektiği kanısına varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kademeli kazı, NATM, Deformasyon, Sonlu elemanlar yöntemi.

ABSTRACT Today's tunneling technologies, it can be stated that the excavation with Tunnel Boring Machine (TBM) and New Austrian Tunneling Method (NATM) are mostly used ones of tunnel opening methods in the world. It is aimed to reach the most suitable values in terms of time and cost, while staying within the safe limits, for the improvement of the increasing tunneling projects. For this reason, two-dimensional analysis program Phase 2 was used for a NATM tunnel. During this study, numerical modeling of the 12 different sequential excavation types with the same weak rock conditions and the same support elements for each analysis were carried out with Phase2 program and the mean stress and deformation distributions formed around the tunnel lining were investigated. Fixed points were determined for all excavation types around the tunnel and these points were used when the analysis results were compared. As a result of 12 different analyzes, it was concluded that the size of the excavated parts must be proportional to each other in order to minimize the deformation around the tunnel when the excavation is done gradually.

Keywords: Sequential excavation, NATM, Deformation, Finite Element Method.

1 INTRODUCTION

More recently in developing countries, tunneling activities have been increasing due to growth of population and the need of better transportation network. These tunneling activities can be classified on the basis of usage areas which are subway tunnels, highway tunnels, infrastructure and storage bin tunnels etc. related to communities current and future plans. While the activity of underground opening excavations has been increased rapidly starting from in the beginning of 1950s, tunneling methods have various been developed. One of the outstanding tunneling method is New Austrian Tunneling Method (NATM) which is also called as sequential excavation method (SEM). The New Tunneling Method (NATM) Austrian provides that geological stress of surrounding rock mass to stabilize the tunnel itself and the main idea of NATM is that. Also, tunnel face is excavated by using multi step excavation schemes so as to reduce collapse risks. Since, the excavation method and sequencing schemes have significant influence on stress distribution and deformation of rock.

Current thesis related to numerical analysis of a tunnel zone containing from dolomite which has mechanical and physical properties are given in the Table 3.1. and the same support elements are installed for comparing every partial excavation modelling and they are given as Table 3.2., Table 3.3. and Table 3.4.

1.1 Methods of Analysis;

Firstly, the literature about this project and the engineering geology has been researched. During the literature search, finite element method is chosen and explained in detail. Then, one of the most common tunneling method is searched in order to apply different partial excavation types. After completed literature search rock mass properties are determined so as to analyze in different partial excavation types. When it is reached the satisfying information about the rock mass and support systems, support elements have been determined. As a result of those all studies, numerical analysis is performed for twelve different partial excavation types are given in the Figure 3.1. In case of the loads and support systems for each excavation are balanced in a Phase 2 computer program that is a finite element program for soil and rock applications, then the results are obtained.

this thesis study, different partial In excavation types are created in a fixed crosssection NATM type tunneling opening in the quality homogenous poor rock mass formation in order to obtain numerical results of mean stresses around opening and total displacements values created by those stresses. Also, it was analyzed to get lowest deformation and optimum stress distribution after excavation of tunnel face by using finite elements methods on Phase2 software.

2 LITERATURE SEARCH

2.1 Finite Element Method

The Finite Elements Method (FEM) is a type of numerical evaluation for analyzing boundary value problems and structural, solid mechanics problems in engineering. Finite Elements Method (FEM) has been used for many years ago. Finite Element Method was firstly used in the aerospace industry in the early 1950s and followed with structural and solid mechanics applications. The main ideas of Finite Element Method are based on Ritz Technics that are found in 1909. The solution part of problem is divided into several smaller parts so as to analyze deeply in case of apply this method and the exhibition of function is chosen as polynomial. FEM is generally used in a system that contains complex material properties. It evaluates the problems by minimizing an associated error function by using variation methods (Isik, 2017). The calculation process of this method are listed below respectively;

• Creation of mathematical model from physical problem

• Formulate the problem

• Solution domain is subdivided into smaller part which is called as a mesh. A discrete model is constructed.

2.2 New Austrian Tunneling Method (NATM)

"The New Austrian Tunneling Method (NATM) was developed in 1950s and it has been first published in "Water Power" magazine by Prof. L von Rabcewicz in November, 1964. Today, NATM is a wellrecognized technique due to its success in a variety of conditions ranging from hard to soft rock, soft stable ground to weak, friable and unstable ground" (Tatiya, 2005). The new Austrian tunneling method is commonly thought of as applying to a form tunnel support comprising rock bolts, shotcrete and steel arches. Besides, it is called as sequential excavations method (SEM) because of the fact that excavation is made by multi steps. The NATM provides that geological stress of surrounding rock mass to stabilize the tunnel itself and the main idea of NATM is that.

Principle of NATM

"A basic principle in the NATM is to take advantage of the load-bearing capacity of weak rocks. This is achieved by utilizing the property rock masses have to dilate or bulk as they yield. During this process the high ground stresses close to tunnel dissipate and the surrounding rock mass is transformed from a loading body into a load- carrying element. Only a reduced support is therefore needed to confine the unstable ground close to the tunnel" (Austin & Robins, 1995).

This principle is achieved practically by allowing the rock masses around the underground opening to deform in a controlled way as you see in the Figure 2.1. The rock support has therefore mainly a confining function to stabilize the rock masses that deform.



Figure 2.1.Contracted after the tunnel is opened. (Copur, 2009).

2.2.1 Excavation and support principle of NATM

There are two types of support elements in New Austrian Tunneling Method (NATM) which are initial (temporary) support elements and final (permanent) support elements. Initial support elements are placed on the tunnel lining and deform. After that, final support elements placed on the tunnel lining and these permanent support element supply stability of tunnel. Multi stage excavation model and application view is given below as Figure 2.2.



Figure 2.2. Cross-sectional and application view of NATM (Sharifzadeh, Daraei, & Broojerdi, 2012).

3 NUMERICAL TUNNEL MODELS INVESTIGATION

3.1 Procedure

In this study, it is aimed to analyze 12 different partial face excavation type into stress and deformation distribution on sequential excavation. Partial face excavation types that are analyzed by using finite element method on Phase 2 (RS2) software are given below as Figure 3.1.



Figure 3.1. Analyzed excavation models.

Rock mass properties are chosen poor rock condition to analyze because of the fact that considerable differences of stress and deformation values are seen easily in different partial face excavation conditions. Current thesis related to numerical analysis of a tunnel zone containing from dolomite those mechanical and physical properties are given in the below Table 3.1. Where samples are taken cannot be given because of copyright of projects and it's obtained from TTS engineering firm.

Table	3.1.	Rock	mass	properties	of	analyzed
rock.						2

RMR	35
GSI	47
σc (MPa)	26.7
Poisson's Ratio	0.3
y (MN/m3)	0.024
Ei (MPa)	3500
K0 Value	0.7

The same cross section has been analyzed in that investigation of stress and deformation distribution on Sequential Excavation (SEM). Determined points which is used for graphing on investigation and the cross section is given below as Figure 3.2.



Figure 3.2.Cross section of analyzed the tunnel.

Generally, NATM excavation method of the ground is supported using steel sets, shotcrete, and rock bolts. In this thesis, the same supporting elements are used to sustain the opening against the stresses in all numerical methods. The properties of support elements are shown in the Table 3.2., Table3.3. and Table 3.4.

Table 3.2.Strength properties of sprayed concrete.

Reinforce	Sprayed concrete	
Thickness	0.3	
Modulus of Elast	23500	
Poisson's I	0.15	
$\sigma_{c}(MP)$	25	
σ_t (MP	1.8	
Unit Weight	(MN/m^3)	0.024
able 2.2 Strong	th mean ant	ing of staal anab

Table 3.3. Strength properties of steel arch.

Types	IPN 160	
Unit Weight	(kg/m)	17.9
Cross-sectional Area	(mm^2)	2280
Depth	(mm)	160
Moment of Inertia	(mm^4x10^6)	9.35
Modulus of Elasticity	(MPa)	200000
Poisson's Ratio	(v)	0.25
σ_{c}	(MPa)	365
σ_{c}	(MPa)	365

	Table	3.4	. Strength	properties	of rock	bolt.
--	-------	-----	------------	------------	---------	-------

Reinforcement	SN-PG Bolt
D (mm)	28
E (MPa)	210000
σ_t (MPa)	0.225
$\sigma_{t_{res}}$ (MPa)	0.02
Туре	Fully bonded

3.2 Analysis

I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI and XII partial face excavation types that given in the Figure 3.1. are analyzed to obtain mean stress values and corresponding total displacement distribution values and results of numerical models for IV. Excavation sequences are given at Table 3.4.



Firstly, mean stress distributions are investigated in the different multi step excavation types. Then, analyses outputs have been made table and graphed. The mean stress distribution values are given below as Figure 3.3.



Figure 3.3. Mean stress distribution on the determined points.

The stress distribution on the determined points change according to excavation size of parts on the faces. Therefore, stress distribution increases by the parts of excavation on the bench of tunnel face going up. For instance, mean stress around the points A, B, and I, G takes the maximum value in large stage size excavations and by the decreasing of excavation size so, increasing of stage number they take the lower value according to other excavation types. On the other hand, mean stress distribution on points C, D and E goes down decreasing of width top heading by excavation. Also that case is true of bottom points H and I.

Secondly, displacements values of the investigation on the determined points are obtained. After that, analyze results are made graphed. Displacements values are given as the Figure 3.4.



Figure 3.4. Graph for displacements values.

It can be observed from Figure 3.6., displacements values change with the parallel to stress distribution. Besides, as you see in the Figure 3.4., the maximum deformation is seen at the VII excavation type owing to the fact that there are high differences between the top heading, bench and invert section excavations of NATM.

Finally, subsidence values on the ground surface are observed after the analysis. Ten different points are determined on the region occurring subsidence. Then, output of analysis are made graph and it is given below as Figure 3.5.



Figure 3.5. Graph for subsidence values.

Behavior of subsidence values are parallel to deformation characteristics of tunnel. The excavation type which has high deformation quantities has the high subsidence values as it is seen the similarity of displacement and subsidence graphics. For example, VII model has also highest subsidence quantity as it has the highest deformation on the tunnel circumference. Subsidence values on the determined points shows the differences between each other as you see in the Figure 3.5. due to the fact that maximum displacement is going to be top of the tunnel center and it decreases from center to right and left directions.

Finally, total displacement changes by number of stages on the basis of top heading, bench and invert excavations is empirically analyzed depends on the displacements on the determined points on the tunnel circumferences. Excavation is divided into three sections which are top heading, bench and invert after that displacements are observed on the points according to where the points are by the number of stages. Then, a graphic of total displacement change by number of stages is obtained and given below as Figure 3.6.



Figure 3.6. Graph of total displacement change by the number of stages.

As it is seen in the Figure 3.6., total displacement value decreases with the number of stages on the excavation section. Therefore, if excavated area increases in the one stage, displacement value goes up parallel to each other. Consequently, it could be said VIII models is optimum partial excavation type and the VII model is not useful model so as to prevent high displacement and stress values in the poor rocks.

4 CONCLUSION

In conclusion, by using Phase 2 computer program which is a finite element program, 12 different partial excavation models are analyzed into mean stress and deformation distribution on sequential excavation method. While analyzing all models, same rock mass properties that are given in the Table 3.1. and the same support elements that are given as Table 3.2., Table 3.3. and Table 3.4. are used and investigation has been made by using finite element method. After these data are processed data to Phase 2 program, various deformation, mean stress and subsidence values are observed. Then, all results are made into a table that includes the 9 different fixed points on the tunnel circumferences. After that, they are evaluated and graphed on the excel program.

Finally, in this thesis study, it is obtained that when excavation size of a stage increases compared to other stages, mean stress distribution and displacement distribution will tend to increase. Therefore, according to those results subsidence also increases. Furthermore, in sequential excavation method (SEM), the factor that has impact on mean stress distribution and displacement is not only stage number but also partial excavation model has significant influences on stability and displacement characteristics of tunnel. To illustrate, number of stages are equals at I and II numerical modellings and I excavation type is stable whereas II is unstable. Also, it could be said that increasing of stage number does not mean low deformation as it is seen in the Figure 3.4. The greatest displacement quantity is on the VII excavation model. Even though VII model has more excavation stage than I, II, III, IV, V and VI excavation models. Then, all results are observed and Figure 3.6. is created. Consequently, if it is needed to choose an excavation model, Figure 3.6. Gives that top heading section should be excavated with the stage number of 3 and bench section should be excavated with the stage number of 2-3 and the last excavation stage invert section should be excavated with the stage number of 2-3. In the direction of these information optimum excavation model is VIII. Therefore, when looking at Figure 3.6. lowest displacement value is at that partial face excavation model and the maximum is the VII. All in all, it is obtained that stress and displacement distribution does not only depend on number of excavation stage but also excavation model and order of excavation stage.

FOREWARD

In this thesis, I offer my endless gratitude to my dear friend Hacı Ahmet AZGIN and to my precious family for their endless supports.

KAYNAKLAR

- Austin, S. A., & Robins, P. J. (1995). Sprayed Concrete: Properties, Design and Applications. Whittles.
- Bieniawski, Z. (1989). Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley & Sons p.251.
- Çopur, H. (2009). Large Section Underground Openings. Lecture Notes. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Işık, L. (2017). *Optimum Design Of A Natm Tunnel By Using A Numerical Method*. İstanbul: ITU Graduation Project.
- Sharifzadeh, M., Daraei, R., & Broojerdi, M. S. (2012). Design of sequential excavation tunneling in weak rocks through findings obtained from displacement based back analysis. *Tunnel and Underground Space Technology.*, 10-17.
- Tatiya, R. (2005). *Civil excavation and tunnelling*. ICE Publishing.

Bakırköy İDO-Bahçelievler-Kirazlı Metrosu Bakırköy İDO TBM Şaftının Tahkimat Sistemlerinin İncelenmesi

Inspection of the Bakırköy İDO-Bahçelievler-Kirazlı Metro Line Bakırköy TBM Shaft Fortification Systems

F. Altun, H. Tunçdemir, Ö., Akyıldız

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET

Metro kazıları büyük şehirlerde yaşamı olumsuz yönde etkileyen çalışmalardır. Ancak şehir içi toplu taşımanında en ideal yolu raylı sistemlerden geçmektedir. Metro tünellerinin kazılabilmesi için, yaklaşım tünelleri veya şaftlarla tünel eksenine ulaşılması gerekir. Düz arazi koşullarında ise yaklaşım tünellerinin kullanımı pek mümkün olmayacağı için şaftlar tünel eksenine ulaşmanın tek yoludur. Şaftlar kazı makineleri, segment, çelik donatılar ve işçilerin giriş çıkışı için kullanıldığı gibi TBM tarafından kazılan pasanında şaftlardan yeryüzüne alınmasınıda sağlamaktadır. Bu çalışma, Bakırköy İDO-Bahçelievler-Kirazlı metro hattının Bakırköy İDO istasyonu ve aynı zamanda TBM'in gireceği şaftın tahkimat sistemleri hakkındadır. Çalışmada önce proje hakkında bilgiler verilmiş ve bu bilgiler doğrultusunda yapılacak şaftın tahkimat sistemleri anlatılmıştır. Şaftın tahkimat sistemleri diyafram duvar, forekazık, strut, kiriş ve ankraj'dan oluşmaktadır. Bu çalışmada hedeflenen amaç, ankrajların delgi sürelerine ve yapımına etki eden faktörleri belirleyip bu zamanı kısaltmaya yönelik önerilerde bulunmaktır.

Anahtar kelimeler: Metro kazısı, TBM, Tahkimat.

ABSTRACT

Metro excavations are works that affect daily life of metropolitans negatively. Hence, the ideal public transportation tools are railway systems. Approximation tunnels and shafts should reach to tunnel axis in order to dig metro tunnels. Shafts are only tools in plain terrain because approximation tunnels can't be used. Shafts maintain entrance and exit of digging tools, segments, steel materials and workers in addition to soil and rock which is excavated by TBMs.

This project is about the fortification systems of the TBM mount shaft and Bakırköy İDO-Bahçelievler-Kirazlı line of Metro İstanbul. Initially, information about this project provided, than the fortifications are explained according to those informations. Diaphragm wall, fore pile, strut, beam and anchors consist of the fortification systems of this shaft. The aim of this project is to find the factors to focus on improving the time spent for the construction of the anchors.

Keyword: Metro Tunnel Excavation, TBM, Support Design

1 GİRİŞ

İstanbul'un çok göç alması plansız bir kentleşmeye ve popülasyonun artmasına sebep olmaktadır. Bunun sonucunda ulaşım problemleri ortaya çıkmaktadır. İstanbul'da şehir içi ulaşım sorununa en etkili çözüm yolu metro sistemlerinin yapımıdır. 2000 yılında açılan Taksim-4.Levent metrosundan sonra mevcut hatlara ilave istasyonlar yapılmış ve yeni metro hatları inşa edilmiştir. Metro tünellerinin kazılabilmesi

için tünel eksenine inmek gerekmektedir. Tünel eksenine düz arazi koşullarında inmenin tek yolu şaft ile kot farkını aşmaktır. İstanbul'da yapım çalışmaları devam eden projelerden biri olan Bakırköv ÍDO TBM kazısının istasyonuna tünel ile açılabilmesi için bir TBM şaftı yapılmıştır. saftlarının tahkimat sistemlerinin, TBM saftın tüm faaliyetleri boyunca ayakta kalabilmesi için su sızdırmazlığı oldukça önemlidir. Bu calışmada, Bakırköy İDO TBM şaftının tahkimat sistemleri incelenmiş ve yapılan



Şekil 1.1: BBKM yer bulduru haritası (Yüksel Proje, 2016)

2 BBKM PROJE BİLGİLERİ

Bakırköy İDO-Bahçelievler-Kirazlı Metrosu (BBKM) (Şekil 1.1), ağır metro sınıfında yüksek kapasiteli metro projesidir. 9 km uzunluğunda ve 8 istasyonlu BBKM ihalesi kapsamında, hattın tüm inşaat ve elektromekanik işleri yüklenici firma olan Aga Enerji tarafından yapılacaktır.

Proje ile İDO iskelesi; Özgürlük meydanı istasyonunda Marmaray'a, İncirli istasyonunda otogar-Havalimanı hattına ve kirazlı istasyonunda ise Kirazlı-Metrokent ve Kirazlı-Otogar-Yenikapı hattına bağlanacaktır. İstanbul'un kalabalık ilçelerinden olan Bağcılar, Başakşehir ve Bahçelievler bu sayede ulaşım noktalarına bağlanabilecektir. rahatlıkla Proie kapsamında yapılacak inşaat işleri; her biri yaklaşık 6,2 km uzunluğunda çift tüp mekanize (TBM) ile açılacak hat yolu tünelleri (hattın nispeten daha kısa kesiminde de NATM ile açılacak hat yolu ve kuyruk tünelleri bulunmakta), 8 adet istasyon inşaatı, hatlar arası geçiş imkanı sağlayan

makas yapılarının inşaatı ve hat yolu tünellerinde birbirine geçiş imkanı sağlayan bağlantı tünelleri olarak söylenebilir (Yüksel Proje,2016).

2.1 Güzergah Jeolojisi

İstanbul, erken Paleozoyik'ten günümüze değin süren geniş zaman aralığında oluşmuş cok sayıda kaya birimlerini kapsayan ve değişik fazda oldukça karmaşık tektonik hareketlerinin etkin olduğu bir bölgede yer alır. Projenin İncirli-Bakırköy İDO arası kesiminde Cekmece formasyonuna ait hakim Bakırköv üvesinin olduğu görülmektedir. Bu formasyon alttan üste doğru genel bir sıralama ile kum-çakıl, kil, marn-kireçtaşının egemen olduğu üç farklı düzeyi kapsar. Öte yandan, sondajlar esas hazırlanan alınarak jeolojik profil incelendiğinde, incirli-Bakırköy İDO arası kesiminde inşaat faaliyetleri şu formasyonlardan geçecektir: Güncel dolgu malzemesi. Bakırköy Üyesi (Tçeb) ve Güngören Üyesi (Tçeg) (Yüksel Proje, 2016).

Güncel dolgu malzemesi, birim kil, silt, kum, çakıl ve blok boyutundaki ayrıl malzemeyi içermektedir. Bakırköy Formasyonu, tabaka araları yeşil killi, genelde değişik kalınlıkta beyaz renkli beyaz ve kirli mactralı kireçtaşlarından oluşur. Bakırköy formasyonunun alt dokanağı, ayırtlandığı kesimlerde Güngören formasyonu ile yanal ve düşey geçişlidir. Genelde 25-40 m. Kalınlık gösteren Bakırköy formasyonunun kuzeye kalınlığı azalır. Bu kalınlık 10-15 metreye kadar düşer (Yüksel Proje, 2016).

Başlıca kum-kil arakatlı killerden oluşan birimin, adını aldığı güngören semti dolaylarındaki yüzeylemesi yoğun kentleşme yüzünden çoğunlukla yok olmuştur. İstif bol mikalı, çapraz katmanlı kum-kil ardalanmalı düzeyle başlar; koyu külrengi, yeşil renkli, bitki kırıntılı killer istifin egemen kaya türünü oluşturur.

3 ŞAFT İMALATI

Saftların, işin devamı boyunca ayakta kalmaları ve şafttan tünellere su sızmalarını önlemesi beklenir. Şafttan su sızmalarının artması, şaft ve tünel içinde çalışan makine ve personele zarar vereceği gibi tünel içinin çamurla kaplanmasına ve dolayısıyla kötü şartlarına yol açmaktadır. Su çalışma gelirinin fazla olması durumunda calısmalar tamamen aksamakta ve durabilmektedir. Bu nedenle kum, kil, alüvyon ve kireçtaşı gibi akıcı ve sulu ortamlarda bir şaftın görevini yapabilmesi için diyafram duvar, forekazık gibi bir takım özel geçirimsizlik özelliğine sahip önlemler almak gerekmektedir (Ocak, 2007).

Projede Bakırköy İDO istasyonuna TBM başlangıç şaftı açılmıştır. Şaftın geometrisi dikdörtgen şeklinde olup genişliği 27 m, uzunluğu 180 m ve derinliği de 34 m'den oluşmaktadır. Projenin hız kazanması amacıyla şaft kazısı 90+90 m olmak üzere iki aşamaya ayrılmıştır. İlk aşamanın kazısında belli bir mertebeye ulaşıldıktan sonra ikinci aşamaya başlanılmıştır.

Kazıya başlamadan önce şaftın yapılacağı bölgenin bütün çevresine geçirimsiz diyafram duvarlar yapılır. Diyafram duvarlar birincil panellerden ve ikincil oluşmaktadır. Kalınlıkları 100cm ve genişlikleri ise birincil panellerin 2,8 m birincil panellerin ise 3,13 m'den oluşmakta bindirme mesafesi ise 17,5 cm'dir ve toplamda 158 adet yapılmıştır. Daha sonrasında sistemin birlikte çalışması amacıyla diyafram duvarlar 1m kadar üstten kırılıp bu kısıma başlık kirişleri yapılır. Başlık kirişi imalatından sonra 1. ve 2. ayıran ara cepheye ve TBM aşamayı forekazıklar havuzuna geçici kesişen yapılmıştır. Ara cephe de yapılan forekazıklardan 16 adet donatılı ve 17 adet de donatisiz olmak üzere 33 adet yapılmıştır. TBM havuzuna ise tamamı donatısız olmak üzere 86 adet yapılmıştır.

Diyafram duvar ve forekazıkların imalatından sonra şaft kazısına başlanılabilir. Şaft kazısı boyunca yapılan işlerin daha kolay takip edilebilmesi amacıyla cephelere isim verilmiştir bunlar sırasıyla: Kuzey, Güney, TBM ve Batı cephesidir. Geçirimsiz duvarların desteklenmesi ankraj ve strutlar ile sağlanmaktadır. Kuzey ve Güney cephesinin TBM cephesine yakın olan 30 m'lik kısmına parcalarının ve diğer TBM makine indirilmesi ekipmanlarının amacıyla bu kısımın açık kalması için bu bölgede destekleme elemanı olarak ankrajlar tercih edilmiş şaftın diğer kısımları ise strutlar ile desteklenmektedir. Ankrajlar -1 kotundan -9 m kotuna kadar düşeyde 2'şer m aralıklarla imal edilmiş daha alt kotlarda ise 1,5 m'lik aralıklara sahiiptir yatayda ise 1,75 m'lik aralıklarla yapılmışlardır. Ankrajların -1 kotunda toplam uzunluğu 25 m olup her bir kot düşüşünde 1'er m boyları kısalmakta ve en alt kotta 14 m olmakta ayrıca kök boyları her kademede sabit kalıp 8 m olmaktadır. Şekil 3.1 de detayı verilen ankrajların toplam sayısı ise 675 tir (Şekil 3.2).



Şekil 3.1: Tipik Ankraj detayı (Dayıoğlu, 2010)



Şekil 3.2: Anrkajların kotlara göre uzunlukları

Strutların yatayda ki mesafeleri 6 mdir. Şaft kazısının bir kademesinin yapılması ise şu sekildedir: Kazıva ankrajların vapılacağı bölgeden +2,60 kotundan -1 kotuna kadar kazma ekskavatörler ile islemine başlanılmıştır daha sonra ankrajlar yapılmış ankrajların 1 haftalık germe süresinin beklendiği süre zarfında ara cepheye doğru şaftın ortasından kazıya devam edilmiştir. Şaftın ortasından kazılmasının nedeni ise ilk kademe de başlık kirişine atılacak strutların altında topuk kalması ve kirişi desteklemesi için bu bölgenin altı kazılmamıştır. Strutlar tamamen verleştiğin de ise topuklar alınmıştır (Başeski, 2008).

3.1 Yerinde yapılan çalışmalar

Bakırköy İDO TBM şaftında ankrajların is zaman etüdü, 22-29 Ağustos, 1-7 Eylül, 20-27 Eylül ve 1-10 Ekim 2016 tarihlerinde yerinde yapılmıştır. Bir ankrajın yapımı sırasıyla şu şekildedir: Ankraj deliğinin delinmesi. deliğin temizlenmesi. ankraj demetlernin verleştirilmesi ve zaman kaybetmeden enjeksiyonun yapılmasından oluşmaktadır Bu işlemlerin yapımı gözlenmiş süreleri çizelge halinde ve yapım sunulmuştur (Çizelge 3.1).

Tarih				Yapılan İşle	er		
	Ι	Π	III	IV	V	VI	VII
22-29	46	3504	91	3204	421	719	1360
Ağustos							
1-7 Eylül	34	2711	68	2710	359	661	1720
	- 0						
20-27 Eylül	60	3732	99	3980	561	615	1715
1-10 Fkim	47(7)*	2462	80	2820	381	470	821
1 10 LKIIII		2702	00	2020	501	770	021
Toplam	187	12409	338	12714	1722	2465	5616

Çizelge 3.1: Ankrajların iş zaman etüdü

I: Yapılan ankraj adedi, II: Ankraj delgi süresi (dk), III: Ankraj deliğinin temizlenme süresi (dk) IV: Ankraj demetlerinin hazırlanma süresi (dk), V: Ankraj demetinin yerleştirme süresi (dk)

VI: Ankraj deliğinin enjeksiyon süresi (dk), VII: Arıza ve gecikmeler (yemek ve çay molaları) (dk)

*: Germe islemi başarısız olan ankrajlar

22-29 Ağustos tarihlerinde yapılan ankrajların toplam boy uzunluğu 22 m ve

ankrajların ortalama yapım süresi 76 dk'dır.

1-7 Eylül tarihlerinde yapılan ankrajların boy uzunluğu 21 m ve ankrajların ortalama yapım süresi ise 79 dk'dır. 20-27 Eylül tarihlerinde yapılan ankrajların adeti 60'dır. Ayrıca bu tarihte yapılan ankrajların boy uzunluğu 19 m olup ortalama yapım süre 64 dk'dır ve son olarak 1-10 Ekim tarihlerinde yapılan ankraj adeti 40 tanedir çizelge 3.1' de gösterilen parantez içindeki 7 adet ankraj germe testini geçemediği için III-VII numaralı işler tekrar yapılmış yani delgi işlemi yapılmamıştır. Bu tarihte yapılan ankrajların boy uzunlukları 18 m olup yapım süreleri ortalama 62 dk'dır.

4 SONUÇLAR

Bakırköy İDO TBM Şaftı sahil kenarında yapıldığı ve akıcı bir formasyona sahip olduğundan zor şartlar altında yapılmıştır. Ankrajların yapımı 4 farklı tarih aralığında incelenmiş ve Çizelge 3.1'de toplam süreleri belirtilmiştir. Buna göre Ankraj yapım işleminde 12714 dk'lık bir süre ile olan fazla paya sahip ankrai en demetlerinin hazırlanması işlemi %36'lık bir paya sahiptir. Daha sonra en fazla paya sahip olan iş ise ankraj delgi işlemidir, delgi işlemi için geçen süre 12409 dk'dır ve % 35 gibi bir paya sahiptir. Ankraj deliğinin açılması sırasında yapılan ankraj demetleri, delik açılmadan önce yapılmalı ve delik delme işlemi bittikten sonra deliğin yanına getirilmedir; bu gecen süreyi azaltmak için daha fazla işçi burada çalışmalıdır. Arıza ve gecikmeler hariç diğer yapılan işler beklenilen süre zarfı içinde yapılmıştır. Arıza ve gecikmeler ise toplamda 5616 dk sürmüş ve işin %16 lık bölümünü almıştır. Arızaya sebep olan nedenler kısaca şu şekilde özetlenebilir.

Sahil kenarında yapılan bir şaft olduğu için şaft içine deniz suyu çok miktarda gelmektedir ve 4 Eylül tarihinde Dalgıç pompanın bozulmasından dolayı şaft içindeki su drene edilememiş ve 1 günlük vardiya kaybına neden olmuştur ayrıca 22 Eylül tarihinde portal vincin kopmasından dolayı iş kazası yaşanmış ve çalışma aksamıştır.

Bunun için makinelerin bakım ve onarımı vaktinde yapılmalı, kullanılacak makinalar çalışma alanında olmalı ve çalışanların motivasyonu yüksek tutulmalı ayrıca çalışanların tecrübeli kişilerden seçilmesine dikkat edilmelidir.

TEŞEKKÜR

Teze konu olan BBKM projesini yapan Aga Enerji firmasında çalışan ve tez yapımı için yardımcı olan Abdülkadir Ceviz ve Burak Yeşilyurt'a teşekkür ederim.

Ayrıca bilgi ve tecrübeleri ile tezin hazırlanmasında büyük katkısı bulunan tez danışmanım Doç. Dr. Hakan Tunçdemir ve Ar. Gör. Özge Akyıldız'a teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

Başeski O., 2008. "Derin kazılarda iksa sistemi üzerine bir inceleme", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Dayıoğlu M., 2010. "Derin kazıların incelenmesi ve derin kazı uygulaması üzerine bir örnek: Harbiye Kongre Merkezi derin temel kazısı", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ocak İ., 2007. "Metro kazılarında zor zemin şartlarında şaft inşası; Kadıköy-Kartal Metrosu örneği".

Yüksel Proje Uluslararası A.Ş, 2016. İncirli-Bakırköy İDO Arası Geoteknik Anahat Raporu, İstanbul.

The Work-Time Analysis of Semi-Mechanized Support System in Imbat Mining Incorporation

İmbat Madencilik'teki Yarı Mekanize Tahkimat Sistemlerinin İş-Zaman Etüdü

G. K. Eser, A. Soylu, H. Tunçdemir

Istanbul Technical University, Department of Mining Engineering, İstanbul

ABSTRACT The study focuses on the movement of semi-mechanized support systems in the direction of coalface. It based on the observations in the underground coalmine of Imbat Mining Incorporation. The observations lasted 11 weekdays between August 1, 2016 and August 15, 2016. The data was collected in shift between 08:00 am and 04:00 pm.

The production method in Imbat Mining coalmine, which is longwall mining method with collapsing backside, is described. Besides, the possible faults in this system are examined with the reasons and results, and the precautions that can be taken are stated. The movement of whole support system in the production gallery is demonstrated in the cycle of work-shift. In addition to this, work-time data for step of support units is indicated and analyzed.

Keywords: Semi-Mechanized Support System, Shield, Longwall Method

ÖZET Bu çalışma, yarı mekanize tahkimat sistemlerinin aynaya doğru yürütülmesi hakkındadır ve İmbat Madencilik bünyesindeki yeraltı kömür madeninde yapılan gözlemlere dayanmaktadır. Gözlemler, 1 Ağustos 2016 ve 15 Ağustos 2016 tarihleri arasında, hafta içi, 08:00-16:00 arasında yapılmıştır.

Bu çalışma içerisinde, İmbat Madencilik yeraltı ocaklarındaki yarı mekanize sistemle arkadan göçertmeli uzun ayak madenciliği anlatılmıştır. Daha sonra, yarı mekanize tahkimat ünitelerinin yürütülmesi sırasında yapılabilecek hatalar; bu hataların sebepleri, sonuçları ve önlemleri verilmiştir. Ayrıca, ünitelerin yürütülmesi sırasında uygulanan vardiya-iş döngüsü belirtilmiştir. Buna ek olarak, 20 tahkimat ünitesi baz alınarak, ünitelerin yürütülmesinin iş-zaman etüdü tutulmuş ve analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yarı-Mekanize Tahkimat Sistemi, Şilt, Uzun ayak madenciliği.

1 INTRODUCTION

1.1 Imbat Mining Incorporation

Imbat Mining Incorporation, which has been established in 2002, operates an underground coal mining and coal-processing plant in Manisa – Soma Eynez location as required the royalty contract between TKİ and the company.

Eynez Basin at which Imbat Mine is located, is 125 km away from Manisa, 25 km from Soma. Transportation is provided via highway where is 11 km away from Cenkyeri Village in south direction.

1.2 Preliminary Information about the Study

This study focuses on the first floor in the East-9 Panel. There are 89 support units in it. The support unit enumeration is started from the head of the floor. The numeric data is gathered from 20 of 89 support units. First five support units are not taken into the account because they are not pillar for obstructing ventilation and entrance & exit of the gallery. In other words, from 6th to 25th support units are observed in this study.

The observation started on August 1, 2016 and terminated on August 15, 2016 and the weekends did not include. The data was collected in shift between 08:00 am and 04:00 pm.

In this study, technical information of support units in semi-mechanized system is given. Then, the possible faults of system are indicated. Finally, the cycle of shifts, the movement steps of support units and the interpretation of numerical data are collected in the title of "The Work Time Analysis about the Movement of Support System".

2 SEMI-MECHANIZED SUPPORT SYSTEM

2.1 Technical Information of Support Units

semi-mechanized hydraulic In support system, the support units line up side by side along the production gallery. A support unit composes a shield, four hydraulic props which have capacity of 50 tons, a control panel, 28 hoses, a valve, and two pistons in each support unit. Two of props support the shield at the coalface, and the rest support it at collapsing area. If it is necessary, an extra prop is used for support the roof (Ekici & Satılmış, 2014). Additionally, extra props must be used at head and end of the production gallery. It must be also used where the shields are disconnected.

The most advantage of semi-mechanized support is that the coal which remains at roof can be mined from collapsing area of floor. Plates are placed at collapsing area of shields and there are actuating arms connected to plates. These plates are utilized for mining of back coal and breaking of large sized coal with movements up and down (Ekici & Satılmış, 2014).

There are some components in the semimechanized support system. The pressurized fluid water with boron oil comes to the galleries from central tank with main pumps. The beam along production gallery connects all shields and ensures the integrity of support. A chassis provides the connection between the front props and the shield. There are valves that hydraulic hoses are connected on the props. One side of valves is closed with blind flange and the hose connections are at the other side. Back plates and actuating arms are at the collapsing side of the support units. Back plates provide mining of coal at backside and breaking coal blocks. There are six actuating arms on the support unit to move the main parts. A rubber covering is used in front of the support unit while blasting at coalface for protecting the hoses and props. Sole plate is used since the props are not stuck to the ground and floor heave is avoided by decreasing the floor pressure (Birön & Arioğlu, 1985).

2.2 The Faults in Operation of Semi-Mechanized Support System

There are some faults because of wrong applications of semi-mechanized support system. These faults are crucial as those lead to security vulnerability. For example, there was an accident in a longwall coalmine in Colorado, USA resulted in fatally injury because of whipping action of unsecured hydraulic hose in 2000 (Mine Safety And Health Administration, 2001). In addition to this, an operator dead because of interaction with hydraulic fluid due to hose failure while taking a sample of the fluid (Marley, 2012). Crucial faults that affect work place safety are listed below (Eser, 2017):

• <u>Fault:</u> The changing hose connections

<u>Result:</u> If the changed connections are not reverted, as it should be, the arm actuates the beam not the shield and it causes severe accidents.

<u>Prevention:</u> Only the qualified personnel should connect the hoses to the valve.

• <u>Fault:</u> The leaving one side of hoses without connection

<u>Result:</u> It can cause the accident due to pressurized fluid when actuating it.

<u>Prevention:</u> If the breakdown is fixed in a short time, the hoses are not dissembled without that the new parts are came to relevant gallery instead of broken ones. If it takes a long time, the hoses are removed the system and the valve is closed with blind flange.

• <u>Fault:</u> The non-perpendicularity of the props to the shield

<u>Result:</u> The props are damaged and it necessitates many welding and cutting operations. Thus, these operations can create hazard in underground due to methane gas. Additionally, the wrong position of the props causes that while moving of the beam, the shields also move. It threats also the safety in working place.

<u>Prevention</u>: Supervisors should control the props regularly in every shifts and pay attention to the angle between the props and shield.

• <u>Fault</u>: Sufficient base for props

<u>Result</u>: The props do not load up the roof and it causes security vulnerability. For example, the props with sufficient base may hit the conveyor and valves may deform because of crash to the beam while blasting at coalface.

<u>Prevention</u>: The preventions are the base of props should be in deep at least 70 centimeters and the missing sole plates should be put into place.

• <u>Fault</u>: The not emptying the production gallery while moving the beam

<u>Result</u>: That somebody stays in the relevant gallery while moving of the beam can cause severe accident.

<u>Prevention</u>: The operation is done at the end of the shift. After the operation, hoses, valves, and pins must be controlled for the next shift to prevent possible accidents.

• Fault: Unattached chassis

<u>Result:</u> It causes that the front props are also independent from the shield.

<u>Prevention:</u> All pins must be controlled regularly and broken pins must be changed immediately. Besides, the pins are secured with bolts. Moreover, the roof holes should not drilled too long.

• <u>Fault:</u> The discharging of the upper side of the shields

Result: It affects work safety adversely.

<u>Prevention:</u> The blasting holes should be controlled supervisors and the unsuitable holes should not be filled. Wedging of unstable coalface prevents of discharging of blocks over the shield. Besides, the back props should not be raised for mining back coal. Back coal is mined by only movement of back plate.

• Fault: The misdirected support units

<u>Results:</u> It leads to damaging of security pins and changing the direction of beam.

<u>Preventions:</u> The directions of the shields must be controlled before stepping of the units. Additionally, the units that remain behind of the alignment of gallery should be moved forward.

• <u>Fault:</u> The excessive height difference between shields

<u>Result:</u> The pins are damaged and the movement of beam gets difficult.

<u>Prevention:</u> The height difference between shields should not be more than six centimeters. The lower support unit must be raised and the deepening the base for upper support unit to decrease its height should be avoided.

• Fault: The breaking of safety pins

<u>Result</u>: The shields are disconnected to the beam. In inclined galleries, disconnected shields leans the other shields in bottom elevation.

<u>Prevention:</u> The safety pins in system must be controlled regularly and the pressure of props arranged properly for not overloading the springs and safety pins.

In addition to above, there are faults such as placing wedge between the support unit while movement, leaning the drilling machine and bit to the support unit and postponing the welding. Besides, the reason of increasing central pressure must be investigated as a fault.

2.3 The Work-Time Analysis about the Movement of Support Units

2.3.1 The Cycle of Shifts

• Shift Zero: The support units are moved by remaining some of them as pillar.

• Shift Two: The support units that remained as pillars previous week are moved.

• Shift Three: The beam and the conveyor are shifted to the coalface.

2.3.2 The Steps of Support Units' Movements

The support units in groups of four are moved in the following steps:

- Drilling and blasting,
- Cleaning the area after blasting,
- Moving the back props,

- Cleaning the base of props,
- Moving the front props.

2.3.3 The Interpretation of Data

It is highlighted that while the average time of drilling and blasting is lasting an hour and 32 minutes in shift zero, it takes 53 minutes in shift two (Table 1). The difference between them results from increasing the blasting faces in shift two. In shift zero, coalface is drilled and blasted at one face because of parallel support units. On the contrary, in shift two, the holes are drilled at three sides and the blasting becomes more efficient. In shift two, cleaning after blasting lasted an average of one hour and 31 minutes. However, it took an average of two hours and 46 minutes in shift one because of overloading the conveyor. Back props are stepped approximately 49 minutes in both shift one and shift two. After moving of the back props, prop bases are cleaned about 39 minutes in shift zero and 45 minutes in shift two. Finally, although the step of front props took 26 minutes in shift zero, it lasted 45 minutes in shift two. This time lag derived from changing a damaged pressurized hose.

Table 1: The average times for shift zero and shift two

S	Ο	Т	Р
	1	01:32:24	25%
, t, o	2	02:46:42	44%
hif	3	00:48:30	13%
SN	4	00:39:00	11%
	5	00:26:30	7%
	1	00:53:00	17%
ά Γ	2	01:31:06	29%
Shif Two	3	00:49:06	16%
	4	00:45:20	14%
	5	01:14:06	24%

S: Shift, O: Operation, T: Average Time (hh:mm:ss), P: Percentage of Operation, 1: Drilling and blasting, 2: Cleaning the area after blasting, 3: Moving the back props, 4: Cleaning the base of props, 5: Moving the front props

The conveyor and the beam are moved in shift three. The step of the conveyor has an average time of three hours and 42 minutes. In addition, the beam is moved about 25 minutes (Table 2).

S	0	Т	Р			
Shift	6	03:42:36	90%			
Three	7	00:25:00	10%			
S: Shift,	O: Operati	ion, T: Ave	rage Time			
(hh:mm:ss), P: Percentage of Operation,						
6: The movement of conveyor, 7: The movement						
of beam						

There was no operation in such shifts because of some situations which were shifting the staff to another floor and patching the band conveyor.

3 RESULTS

The results obtained in this study are listed below:

• It is observed that the time difference for each operation between unit groups or days is caused by performance of staff.

• The failures are generally repaired in relevant shift except of failures that causes fatal security vulnerability; therefore, there is no important production loss.

• It is seen that in case of disastrous failures such as breakdown of band conveyor, the production is stopped until the failure is repaired.

• It is indicated that these faults result from staff mistakes, inefficient supervising, and controlling the system inadequately.

• To prevent the faults, the staff must be educated and held examinations regularly.

• The controlling of the system must be done precisely at the head and end of the shift, and in the shift.

REFERENCES

- Birön, C. & Arıoğlu, E. (1985). *Madenlerde Tahkimat İşleri ve Tasarımı*. İstanbul, Teşvikiye, Türkiye: Birsen Kitabevi.
- Ekici, A. & Satılmış, U. (2014). İmbat Madencilik Soma Eynez Sahasında Mekanizasyon Uygulamaları. *Türkiye 19. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı* (pages 423-433). Zonguldak: Türkiye Maden Mühendisleri Odası.
- Eser, G.K. (2017). The Work-Time Analysis of Semi-Mechanized Support System in Imbat Mining

Incorporation. Graduation Project, ITU, Faculty of Mines, İstanbul.

- Marley, J. (2012). A Brief Review of Fluid Power System Safety in Australia. *Health & Safety Research & Practice*, 4(2), (pages 22-32). Australia.
- United States Department Of Labor Mine Safety And Health Administration, (2001). Underground Coal Mine Fatal Machinery Accident December 4, 2000. Colorado, USA.

Yeraltı Maden Açıklıklarında Görgül Olarak Önerilen Tahkimat Sistemlerinin Sayısal Yöntem İle Analizi Numerical Analysis of Empirically Proposed Support System in Underground Mine Openings

H. A. Azgın, H. Tunçdemir

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Yer altı madenciliği yöntemleri ile kazı çalışması yapılmakta, bu açıklıklar kullanım süresi ve emniyet etkisine göre tahkimat edilmektedir. Bakir gerilmelerin boyut ve yön değiştirmeleri, düzensizlik, fay durumu, yeraltı suyu, formasyon mühendislik özellikleri gibi önemli parametreler hem kazı hem de tahkimat sistemlerinin en verimli ve en ekonomik işletilmesi için kullanılmaktadır. Bu bağlamda, kaya kütlesini sınıflama sistemleri önerilmiş ve bu öneriler ile beraber gözlemler ile görgül tahkimat sistemleri önerilmiştir. Bu çalışma boyunca üç farklı homojen formasyonun mühendislik özellikleri belirlenmiş, RMR ve Q kaya sınıflama sistemlerine göre tahkimat sistemleri önerilmiştir. Artan teknolojinin kapasitesi ve modelle imkânları sayesinde kaya mekaniğine uyarlanan sayısal yöntemler araştırılmış ve sonlu elemanlar sayısal yöntemi bu çalışmada RS2 programı sayesinde kullanılmıştır. Görgül yöntemler ile önerilen, tahkimat sistemlerinin sayısal modeli oluşturulacak tahkimatsız ve tahkimatlı durumdaki açıklığın olası değişimi gözlenmiştir. Sayısal sonuçlar her bir açıklık türü için elde edilmiş ve tahkimat sistemleri karşılaştırılarak uygun tahkimat sistemi önerilmiştir. Anahtar Kelimeler: Tahkimat tasarımı, kaya sınıflama sistemleri, sayısal yöntemler, sonlu elemanlar sayısal yöntemi, Rock Solid 2D (RS2) program

ABSTRACT The underground mining methods is carried out in the ground that the excavated opening is supported according to the duration of use and safety effect. Important parameters such as magnitudes and direction of in-situ stress, discontinuities, fault, groundwater condition, formation engineering properties are used for the most efficient and economical operation of both excavation and supporting system in mine openings. In this case, rock mass classification systems have been proposed along with observations, and empirical support requirement and categories. During this study, engineering properties of three different homogenous formations were determined, and empirical supporting system based on RMR and Q rock classification systems were proposed. Numerical methods adapted to rock mechanics were investigated by means of increasing capacity of the technology and model possibilities and the numerical method of finite elements was used in this study through RS2 program. A possible behavior of the opening under unsupported and supported case was observed, which would be a numerical model of the support systems suggested by empirical methods. Numerical results have been obtained for each type of opening and the appropriate support system has been proposed by comparing the support systems.

Keywords: Design of support system, rock mass classification, numerical methods, finite element numerical method, Rock Solid 2D (RS2) software

1 INTRODUCTION

The aim of the thesis is to model case underground mine having three homogeneous rock classes in different ground conditions, and use the rock mass rating and Q rock classification systems to propose a support system requirement empirically, and analyze the system in RS2 software numerically. The project is done with the help of TTS International Engineering and Architecture firm located in Istanbul, and the project started at the beginning of March, 2017.

After, numerical modelling is done with proposed size and shape of permanent, and rectangle openings. Rocscience Rock and Solid (RS2) 2D finite element analysis application with the help of RocData software is used support analyses in order to obtain the best support element based on results like mean stresses, total displacements, yielded elements and strength factor values created around the openings, and compare the results of each supporting system to others. Furthermore, proposed options of supporting units for each formation is compared, and the best supporting system is selected based on numerical method outputs.

1.1 Support Systems

Supporting of an underground excavation is used to improve the stability and maintain the load bearing capacity of rock mass around opening. There are two main types of supporting methods. One is the rock support (passive support) such as wooden, steel sets, and pillar supports. The other is the reinforcement (active support) such as rockbolts, and shotcrete supports (Hoek, Kaiser, & Bawden, 1998).

1.2 Rock Mass Classifications

Rock mass classification is the categorizing the rock masses into groups or classes in terms of their similar characteristics such that the behavior of the rock mass can be predicted and used in the design of a project. In other words, rock mass classification is the process of the induction from intact rock to rock mass (Bieniawski, 1989).

Q-Barton, RMR-Bieniawski, RQD-Deere, Geological Strength Index (GSI)-Hoek are the most well accepted classification systems between them in tunneling and mining industries.

2 NUMERICAL METHODS

Due to empirical and analytic methods have limited capacity because of complex geometry, material anisotropy, heterogeneous formations, non-linear behavior, geological features such as faults and intrusions, computer-based numerical methods can be used to approximate the needed parameters for the stabile and efficient excavation, and support design. The most commonly used numerical methods are divided into three classes: continuum, discontinuum, and hybrid modelling (Gundewar, 2014).

2.1 Finite Element Method

The Finite Element Method (FEM) concept is that a structure can be divided into a finite number of smaller unit finite dimensions called as `elements`. Then the original structure is considered as an assemblage of these elements connected at finite number of joints called `nodes`. The properties of these elements are formulated and combined to obtain the solution for entire structure. Scheme of the modelling can be listed as below:

- Element creation from model
- Assign material properties
- Prescribe loads
- Redistribute any unbalanced loads

• Solution of new equilibrium state: implicit (most commercially, linear equations solved as standard matrix reduction techniques) or explicit.

3 UNDERGROUND SUPPORT DESIGN CASES

The three different rock mass groups were selected based on the Table 3.1 RMR group, and the direct verbal communication to TTS Engineering firms located in Istanbul.

Table 1. The calculation of the Q and GSI values from empirical formulas (Zhang, 2017).

No	Correlation	RMR Values		
		62	45	25
1	RMR = 9 * lnQ + 44	7.39	1.12	0.12
2	RMR = 5.9 * lnQ + 43	25.04	1.40	0.05
3	RMR = 5.4 * lnQ + 55	3.66	0.16	0.00

Table 1. The calculation of the Q and GSI values from empirical formulas (Zhang, 2017).

4	RMR = 10.5 * lnQ + 42	6.72	1.33	0.20
5	RMR = 8.7 * lnQ + 38	15.78	2.24	0.22
6	RMR = 9 * lnQ + 49	4.24	0.64	0.07
7	RMR = 15 * lnQ + 50	2.23	0.72	0.19
8	RMR = 7 * lnQ + 36	41.03	3.62	0.21
9	RMR = 6.4 * lnQ + 50	6.52	0.46	0.02
10	RMR = 5.4 * lnQ + 40	58.80	2.52	0.06
Avera	ge Q	17.14	1.42	0.11
11	GSI = RMR - 5	57.00	40.00	20.00
12	GSI = 0.7 * RMR + 22.3	65.70	53.80	39.80
13	$\mathrm{GSI} = 9 * \mathrm{lnQ} + 44$	69.57	47.16	24.48
Avera	ge GSI	64.09	46.99	28.09

Table 2. Material engineering properties.

RT	σ	Ei	c	ф	k	ν	γ	mi
1	105	36.7	2.3	54.5	0.66	0.23	2.6	22
2	70	17.9	1.2	44.3	0.67	0.2	2.4	16
3	35	9	0.5	28.4	0.76	0.28	2.2	10

RT: Rock Types, σ_c : Uniaxial compressive strength (MPa), E_i: Modulus of elasticity (GPa), c: cohesion (MPa), ϕ : Friction angle (°), k: ratio of vertical to Horizontal stress, v: Poisson's ratio, γ : unit weight (t/m³), mi: Hoek-Brown failure material constant for Intact rock

Underground mine openings can be classified as permanent and temporary. The permanent openings that must be stable for entire mine life involves incline, ramp, shaft, production galleries, while the temporary openings that is opened for a short period of time can be crosscuts, main/sublevel galleries etc. Two type of underground openings have been selected in order to carry out support design requirements and analysis of numerical methods.



Figure 1. Underground openings geometries and sizes.

3.1 Empirical Methods for Support Design

Based on the assumed RMR and empirically calculated Q system classification, strength and classification of rock masses are used to design of support system requirements in order to evaluate them in numerical methods and compare the proposed options of support for proposed opening dimensions.

3.1.1 RMR support design

Bieniawski proposed a chart containing recommendations like unsupported span time, support requirements, and a classification table for support elements. Based on RMR design procedure, the support requirements of permanent main galleries and temporary opening and each samples are determined.



Figure 2. Determination of unsupported span time based on RMR, A: permanent openings, B: temporary openings.

3.1.2 Q support design

The support requirement of proposed openings in the given rock types are done by using Barton's De and ESR values.

US	ToO	А	Н	ESR	De						
1	Р	22.3	5	1.6	3.125						
HS											
2 R	Т	12.0	3	2.5	1.2						
US: Underground structure, ToO: Type of											
opening, A: area (m ²), H: Height (m), ESR:											
Excavation support ratio, De: Equivalent											
dimer	dimension, HS: Horse-shoe, R: Rectangle										



Figure 3. Support categories and designs based on the Q index.

In conclusion, sample 1 formation opening shows that the requirement of the support system is only comprised of rock bolts application based on the empirical analysis. However, considering the importance of the opening as a permanent, shotcrete and rock bolting will be used as support units. Sample 2 formation opening also needs to support the opening because of the permanent opening category and rock bolting and shotcrete, or steel set and shotcrete system are used. Due to the lower strength of the rock mass containing sample 3, the support requirements is going to be high and the units of support are steel sets, rock bolting, shotcrete, and wire mesh is going to be used.

Table 4. Support types and specifications for the openings.

openings.											
ToO	F		Support Systems								
			RB		SC	WM	SS				
			L	S	Т						
Р	1	01	2.50^{1}	2.00	n/r	n/r	n/r				
HS											
		o2	n/r	n/r	30 ²	y ³	n/r				
Р	2	o1	2.50^{1}	1.50	30 ²	y ³	n/r				
HS						•					
		o2	n/r	n/r	50^{2}	n/r	IPN				
							120				
Т	3		2.50^{4}	1.00	100^{2}	n/r	IPN				
R							140				

n/r: Not required, 1: SN Bolt, 2: C20/25 3: wire mesh with d=6 mm thick, and 10 cm aperture, 4: IBO Bolt.

P: Permanent, T: Temporary, RB: Rock bolt, SC: Shotcrete, WM: Wire mesh, SS: Steel set, L: Length (m), S: Spacing (m), T: Thickness (m), o: option

3.2 RS2 Introduction

RS2 is an implicit finite element method program that is developed initially for underground excavation simulation.

3.3 Description of Numerical Models

The maximum depth of the openings is chosen as 300 m in all models. The outer model of the boundary is set at a distance 10 times as long as the opening's height. To obtain the more precise outcomes of the numerical models, the smaller mesh size has set up around the excavation area. The bottom of each model was fixed in the vertical direction, while the sides were fixed in the horizontal direction. Generalized Hoek-Brown failure used in order to better evaluate proposed empirical support units. The field stress properties of the modelling input data is defined as gravity field stress option.

Completion of numerical analyses is done for supported and unsupported conditions for each openings. Mean stress, total displacements and vectors, yielded elements, and strength factors (SF) were obtained from several iterations of modelling studies. SF, which is calculated by dividing the rock strength by the induced stress, was used to evaluate the suitability of the proposed support design. A high SF value indicates an adequate support system.

Table 5. Engineering properties of support
elements.

	ciements.										
	SN	IBO		SC		WM		I120	I140		
D	19	19	Е	21	а	60	W	11.1	14.3		
Е	210	210	υ	0.2	b	6	А	1.42	1.82		
σ_t	0.25	0.29	σ_{c}	20	\mathbf{I}^*	6.4	d	1.2	1.4		
σ_{t_r}	0	0.02	σ_{t}	1.6	Е	200	Ι	3.28	5.73		
Т	М	FB			υ	0.25	Е	200	200		
					σ_{c}	365	ν	0.25	0.25		
					σ_{t}	365	σ_{c}	365	365		
							σ_t	365	365		

D: diameter (mm), E: Young's modulus (GPa), σ_t : tensile capacity (MPa), σ_{t_res} : residual tensile capacity (MPa), T: type, M: mechanical, FB: fully bonded, υ : Poisson's ratio, σ_c : compressive capacity (MPa), a: spacing (mm), b: depth (mm), I: moment of inertia (*mm⁴x10⁻¹⁵,mm⁴x10⁶), W: weight (kg/m), A: area (cm²), d: depth (cm)

3.4 Numerical Models Results

Each formation is modelled according to their engineering properties, and proposed empirical supporting elements is installed. The outcome is to obtain best supporting element system after numerical model, and to compare unsupported vs supported conditions of the openings.

Table 6. The outputs of numerical models.

	MS (MPa)					TD (mm)			RPZ (m)			YE		
	Р	1	2	3	Р	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	R	1.63	0.29	0.21	R	1.8	11.8	123.8		1.07	10.74	249	1376	2,723
U	LW	4.51	1.44	0.16	LW	0.7	2.5	126.2	0.20					
	RW	4.50	1.46	0.19	RW	0.7	2.6	118.9						
o1	R	1.76	1.38	0.01	R	1.7	8.9	88.3		0.98	7.29	250	844	2,326
	LW	4.41	0.36	0.43	LW	0.6	3.7	85.9	0.13					
	RW	4.47	0.54	0.38	RW	0.6	3.4	84.1						
	R	1.94	1.03		R	1.6	9.8							
o2	LW	4.55	0.65		LW	0.4	2.8		0.14	0.96	10.74	201	844	
	RW	4.56	0.86		RW	0.4	2.9							

MS: mean stress, TD: total displacement, RPZ: radius of plastic zone, YE: yielded element, U: unsupported, o1: option1, o2: option 2, R: roof, LW: left wall, RW: right wall, P: position, 1;2;3: cases



Figure 4. Numerical results of formation 1. MS: mean stress, TD: total displacement, YE: yield element, SF: strength factor.

4 CONCLUSION

Empirically proposed based on RMR and Q rock classification underground mine support systems is analysed in two different size and shape type underground mine openings (permanent, temporary) by using RS2 software which is a finite element analysis program.

- Formation 1 opening, proposed option 2 support system is the most suitable one compared to option 1, it gives less total displacement by %25 compared to option 1 %10 and higher strength factor by %16 in the top, %9 in the walls.
- Formation 2 opening, option 1 decrease the mean stress by %30 compared to option 2 %20, but the total displacement is lower in option 2 by %9, whereas is in option 1 is % 5, and the two case can be used.
- The formation 3 (poor rock mass) numerical results shows excessive support units is required, and the outputs is considerable reduced %5 mean stress because of rectangle shape and %30 total displacement values.
- The application of computer programs in the analysing of empirical results must be increased, and 3D analysing programs can be used further investigation.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasını hazırlanma sürecinde, benden yardımlarını esirgemeyen, değerli fikirleriyle araştırmama katkıda bulunan hocam, danışmanım Doç. Dr. Hakan TUNÇDEMIR'e, tezimin ilgili kısımlarını yazarken yardımlarını esirgemeyen Dr. Bülent KOÇAK'a, beni bugünlere getiren, hayatımın her aşamasında yanımda olan ve olacaklarına kalben inandığım, güvendiğim aileme sonsuz teşekkürlerimi ve minnetlerimi sunarım.

REFERENCES

- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classification*. Canada: John Wiley.
- Gundewar, C. S. (2014). Application of Rock Mechanis in Surface and Underground Mining. Maharashtra: Indian Bureau of Mines.
- Hoek, E., Kaiser, P. K., & Bawden, W. F. (1998). Support of Underground Excavations in Hard Rock. Netherlands: A.A. Balkema.
- Pakalnis, R. (2005). *Design for Underground Metal Mines 1 - Design Parameters*. Retrieved from Edumine:

http://www.edumine.com/courses/onlinecourses/design-for-underground-metalmines-1-design-parameters/

Zhang, L. (2017). Engineering Properties of Rocks. Arizona: Elsevier. Tam Mekanize Yeraltı Kömür Madeni Üretim Ayağında Kullanılan Makine ve Ekipmanlar: Çayırhan Örneği

Machines and Equipments used in Fully Mechanized Underground Mine Production Longwall: A Case Study Çayırhan

H. M. Yüksel, C. Kuzu İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu çalışmada, bir tam mekanize yeraltı kömür madeni üretim ayağında kullanılan makine ve ekipmanlar hakkında bilgiler verilmiş, bu makine ve ekipmanların yeraltındaki görevleri belirtilmiş ve çalışma prensipleri açıklanmıştır. Anlatılan makine ve ekipmanlar, Park Teknik A.Ş. Çayırhan Linyit Kömürü İşletmesi H Sektörü HG03 üretim ayağında kullanılan makine ve ekipmanlar örnek alınarak açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: uzunayak madenciliği, galeri açma makinası, kesici-yükleyici, yürüyen tahkimat, zincirli oluk

ABSTRACT In this study, the information about machines and equipments used in a fully mechanized underground mine production longwall is given. The duty of those machines and working principles are told. Machines and equipments are explained based on the machinery of Park Teknik A.Ş. Çayırhan Linyit Kömürü İşletmesi Sector H, HG03 production longwall. Keywords: longwall mining, coal shearer, shields, chain conveyor

1 GİRİŞ

Tüm Türkiye'nin elektrik ihtiyacının %3 'ünü karşılayan, yıllık 5 milyar kilowatt saat üretim gerçekleştiren, Türkiye'nin en yüksek verimle çalışan termik santrali olan Çayırhan Termik Santrali'nin bu ihtiyacı karşılaması için gerekli yakıt, şu anda çalışmakta olan dört adet yeraltı maden ocağından temin edilmektedir.

Çayırhan Termik Santrali'ne beslenecek kömür, yeraltı maden ocaklarında tam mekanize kazı ile çıkartılır, bant sistemleriyle taşınır, gerekli işlemlerden geçer, stoklanır ve termik santrale gönderilir.

Maden ocaklarında üretim için yüksek üretkenlikte verimli olarak kazı yapma özelliğine sahip mekanik kazı makinaları olan çift tamburlu kesici yükleyici makinalar kullanılmaktadır. Bu makinaların kullanılmasının amacı, Çayırhan linvit yataklarının oluşumunun bu kömürü kullanımına uygun makinenin olması, üretimde az işçi gerektirmesi ve iş sağlığı ve açısından güvenliği oldukça güvenli olmasıdır.

Geri dönümlü göçertmeli tam mekanize uzun ayak yöntemiyle üretim yapılan Çayırhan Yeraltı Kömür Ocakları'nda, bu yöntemle pano alt taban yolları, bir sonraki pano üst taban yolu olarak kullanılarak, taban yolu ihtiyacı en aza indirilmiştir. Böylece kömürün yanma riski azaltılmış ve rezervin daha verimli kullanılması sağlanmıştır.

Üretim ayağı yürüyen tahkimatlarla desteklenmekte, kesici yükleyici makinelerle kömür damarı kesilerek pano ilerlemesi sağlanmaktadır.

2 KULLANILAN EKİPMANLAR

Tam mekanize yeraltı kömür ocaklarında, üretim ayağını oluşturmak için galeri açma makineleri ile kazılan taban yolları, açılan taban yollarının, kılavuz kazısıyla birleştirilmesiyle üretim ayakları oluşturulur. Kesici-yükleyici makineler bu üretim ayağında kömürü kazarken, ayak içine kurulmuş olan yürüyen tahkimatlar ayağın güvenliğini sağlar ve zincirli oluk ise kazılan kömürü yerüstüne çıkarmak üzere ayak dışına taşır.

2.1 Galeri Açma Makinası

Galeri açma makineleri bir bütün halinde olmayıp, birbirine bağlanan birçok parçadan oluşmaktadır. Bu sayede, makinanın bir yerden başka bir yere nakliyesi kolay olmaktadır. Kollu galeri açma makinası genel olarak "bom ünitesi, malzeme yükleme ünitesi, malzeme aktarma ünitesi, yürüyüş ünitesi, hidrolik ve elektrik aksamlarından oluşmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Galeri açma makinesi kolu ve kalem keskilerle donatılmış kesici uç.

Bunların dışında seçimli olarak kullanılabilen ek donanımlar da kullanılabilmektedir. Örneğin tahkimat direkleri ve boyundurukları kaldırmak ve yerlerine yerleştirmek için ek tertibatları bulunmaktadır (Bilim, 2007). Galeri açma makinelerinde, ana güç ve kesici kafa elektrikle, diğer bütün üniteler hidrolikle çalışmaktadır.

Arını kademeli olarak kazan bu makinelerin kazı işlemini yapan kesici kafası, bir kolun (bom) ucundan dönerek İleri-geri, yukarı-aşağı, sağakazı yapar. sola hareket etme özelliğine sahip bu kollar, farklı parça eklentileriyle beraber tahkimatın vapılmasına da olanak sağlamaktadır. Kesme işlemini kesici kafalar, yapan çalışacakları kayaçların özelliklerine göre uygun kesici uçlarla donatılırlar.

Kazılan malzeme, kolun altında bulunan, malzemeyi dönerek toplayan toplayıcı yıldızlar yardımıyla makinenin arkasında bulunan ve kuyruk diye tabir edilen makineye bağlı konveyör aracılığıyla ana galeri bant siştemine dökülür.

Çayırhan İşletmesi'nde taş içerisinde ve kömür içerisinde galerilerin açılması için Dosco Mk2B, Dosco Mk2A ve Pk9r tipinde kollu galeri açma makinaları kullanılmaktadır. Pk9r ve Dosco Mk2A tipli kollu galeri açma makinaları, kömür ve basınç dayanımı düşük olan yumuşak kayaçlarda verimli bir şekilde çalışabilecek şekilde tasarlanmışlardır. Dosco Mk2B tipli makine ise orta sert ve sert formasyonlarda kazı yapmak üzere tasarlanmışlardır.

2.2 Kesici-Yükleyici Makine

kesici-yükleyici Tamburlu makineler. üzerlerinde bulunan tamburlar ile kazı yapan ve aynı tamburlar ile kazılmış malzemeyi zincirli konveyöre yükleyen makinelerdir. Bu makineler, üzerlerinde taşıdıkları tambur sayılarına göre tek tamburlu veya çift tamburlu makineleri kazı olarak adlandırılırlar. L tipi tek tamburlu kesicimakineler, özellikle jeolojik yükleyici için kusurların olduğu ayaklar daha Ancak, kazı verimi ve hızı uygundurlar. açısından, uygun damar kalınlıklarında çift tamburlu makineler daha cok tercih edilmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Eickhoff SL300 çift tamburlu kesici-yükleyici makine.

Çift tamburlu kesici yükleyicilerin tek tamburlu kesici yükleyicilere göre bir takım avantajları vardır. Bu avantajlardan en önemlisi makinanın arındaki malzemeyi arın yüksekliği ölçüsünde bir defada kesebilmesidir. Bu sebeple yüksek kazı verimi ve üretim hızı elde edilebilmektedir. Kazı hızının fazla olmasından dolayı tavan durumdan kosulları bu olumlu etkilendiğinden, tahkimata da daha az yük gelmektedir. İkinci önemli avantajı ise, tahkimatin makinanin hemen arkasından yapılabilmesidir. Üçüncü avantajı ise, ayak başında ve kuyrukta zincirli konveyör ünitelerinin gereksinim duyduğu ceplerin bu tamburlar yardımıyla açılabilecek olmasıdır (Bilim,2007).

Çayırhan İşletmesi üretim çalışmalarında, Eickhoff SL300 L tipi çift tamburlu kesiciyükleyici makine kullanılmaktadır. Tamburlar üzerinde, kazı işlemini gerçekleştiren kalem uçlu keskiler ve kazı sırasında oluşan tozun bastırılmasını sağlamak amacıyla su fisketeleri
bulunmaktadır. Bu makinenin operatörlüğünü, tamburlu kesici-yükleyici makine operatörlüğü eğitimi almış personel kumanda etmektedir.

Kesici-yükleyici makine, 220 metre uzunluğundaki bir ayak arınının kesimini, ayak başındaki hazırlık hariç ortalama 90-120 dakikada tamamlayabilmektedir. Arında gerçekleşen her kesim, makine tamburunun kömür damarına dalma derinliği olan 80 cm (bir have) ilerler.

2.2.1 Kesici ünite (tamburlar)

Çayırhan İşletmesi'nde kullanılan Eickhoff SL300 çift tamburlu kesici-yükleyicide 1 400 milimetre çapta ve 800 mm dalma derinliğinde (kalınlık) tamburlar kullanılmaktadır. Tamburlarıyla beraber 14-15 metreyi bulan makinenin tamburları üzerinde kazı işlemini yapan yaklaşık 45-55 kesici uç bulunmaktadır. Aşınmalardan ve kırılmalardan dolayı bir vardiya süresince ortalama 30-150 tane aralığında uç değişimi yapılabilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.4. Kesici-yükleyici makine kollarına monte edilmiş tambur (Bilim,2007).

Kazı işlemini yapan tamburlar taşıyıcı kollara monte edilmiştir. Bu taşıyıcı kolları kaldırmak ve tamburları döndürmek için elektrik motorundan faydalanılmaktadır.

Makinadaki her iki tambur için ayrı bir elektrik motoru kullanılmaktadır. Bu motorların her biri 300 kW güce sahip olup 3300 volt gerilimle çalışmaktadır (Bilim,2007).

2.3 Yürüyen Tahkimatlar

Mekanize üretim yapan kömür ocaklarında kullanılan en gelişmiş ayak tahkimat sistemleri yürüyen tahkimatlardır. Yürüyen tahkimatların tavanı tahkim etmesi dışında ayak içinde; • Ayak içerisinde tavanı destekleyerek tüm ayak içi ve ayna sahasını çalışılabilecek güvenlikte tutmak,

• Ayak içinde çalışanların üzerine tavandan gelecek taş ya da kömür parçalarının düşmesini önlemek,

• Ayaktaki nakliyat ünitelerini öteleyebilmek için bir dayanak oluşturmak, gibi görevleri bulunmaktadır.

Çayırhan İşletmesi üretim ayağının özelliklerine göre genişliği, yüksekliği ve adeti belirlenen kalkan tipi yürüyen tahkimatlar en yaygın kullanılan yürüyen tahkimat türü olup, diğer yürüyen tahkimat tiplerinin aksine (domuzdamı tipi, çerçeve tipi) yanal basınçlara karşı daha iyi bir destek sağlar.

Yürüyen tahkimat üniteleri mekanik olarak; taban şasesi, küfe (yükseltme konsolu), ön ve arka lemiskat kol, göçük sarması, tavan sarması, ön kape ve kape sürgü, taban itme mekanizması olmak üzere yedi parçadan oluşur.

Küfeler taban ayakta şiltlerin daha fazla açılabilmeleri amacıyla taban şasesinde teleskop silindirlerinin altına ek yükseklik katması için konulurlar. Lemiskat kollar taban şasesi ile göçük tablasının birbirlerine montajını sağlayan ara parçalardır. Şilt üzerinde ön ve arkada olmak üzere iki farklı lemiskat kolu bulunur.

Şiltin arka tahkimatını oluşturan ve kesim sonucu geride kalıp kırılan fay katmanlarını tutan parçalar göçük sarmalarıdır. Tavan sarmaları ise, tavanı tutan üst kısımdır ve tavan sarmalarının devamı olan ön kapeler, arını kapatmak amacıyla kullanılırlar.

Taban itme mekanizmaları, şiltin ve konveyörün hareketini sağlayan mekanizmalardır. Şiltin alt şasesine ve konveyöre montajlıdırlar. Kazının bir turu bittikten sonra, yeni bir kazı arınına geçilirken konveyörün ve şiltlerin arına doğru yaklaştırılmasında görev alırlar. Yürüyen tahkimatın ilerletilmesinden sonra, tahkimat ünitelerinin arkası göçertilir.

2.4 Ayak içi ve Pano Nakliyat Sistemleri

Yeraltında üretilen kömürün ocak dışına taşınması, üretim ve diğer çalışmalar için gerekli olan malzemelerin yeraltına sevk edilmesi ve ocak personellerinin yeraltına giriş-çıkışlarının sağlanması amaçlarıyla ocakta yeraltı nakliyat sistemleri kullanılmaktadır.

Bu nakliyat sistemleri; konveyörler, monoraylar ve kulikarlardır.

Kazı işlemine başlanıldığında ilk olarak makine tamburu arının üst tarafını ayak Kazılan kömürler hem boyunca kazar. tamburun yükleme etkisiyle, hem de damarın henüz kazılmadan kalmıs basamak seklindeki alt kısmının üzerinden kaymasıyla zincirli konveyöre yüklenir. Ayağın sonuna gelindiğinde tambur aşağı indirilir ve tabandaki kömür kazılarak geriye dönülür. Bu esnada önceden kazılmış olan kömürler de oluğa yüklenir. Ayak içerisinden çift tamburlu kesici-yükleyici makine ile kazılan kömür zincirli konveyör aracılığı ile alt yolundaki aktarma konveyörüne taban nakledilir.

Aktarma konveyörüne gelen kömür, bulunan konveyör çıkışında kırıcıdan geçerek parça boyutu bakımından bant konveyör nakliyatına hazır hale gelir. Kırıcı cıkışından özel döküş elemanları ile bant konveyöre nakledilerek ocak dışına taşınır.

Çelik saçtan yapılmış bir oluk ve bu oluk icinde hareket eden zincirlerle birbirine bağlanmış paletlerden oluşan zi konveyörler, paletlerin malzemeyi zincirli oluk bovunca kaydırarak taşımasıyla işini yapar. Kesici-yükleyici makinenin arkasında çalışan ve yürüyen tahkimatlarla bağlantılı olan zincirli konveyör, tamburlu makinenin kazdığı kömürü aktarma konveyörüne taşıma işini yapar.

Bant konveyörler ise ayaktan gelen ve kırıcıdan geçen kömürü yeryüzüne çıkaran konveyör sistemidir. Bu sistem, nakliyat hareketini sürtünme kuvvetine dayanarak sağlayan sonsuz bir bandın, bir motor tarafından tahrik edilen ve tamburlar vasıtasıyla rulolar üzerinde hareket etmesi prensibiyle calisir.

Bant konveyör sisteminde tahrik sistemine bağlı bir tahrik tamburu ile gerdirme düzeneğine bağlanmış bir yön değiştirme tamburu (dönüş tamburu) bulunmaktadır. Ust bant taşıyıcı ruloları (taşıyıcı makaralar) ve alt bant dönüş ruloları (dönüş makaraları) hareket ederek bandın ilerlemesini sağlamaktadırlar.

2.4.2 Kulikar ve monoray ile taşıma

Kulikarlar tabana monte edilmiş raylar Have, 0,8 m) x Kesim Sayısı üzerinde hareket eden taşıma sistemleri olup hem insan hem de mekanize ocaklarda kullanılırlar.

Elektrikli monoraylar ile 12 tona kadar malzeme nakliyatı yapılabilmektedir. Halat 2 metre/saniye, halat capi 16/19 hızı Kullanılan raylar I140E milimetredir. profilde ve 3 metre uzunluğundadır. Elektrikli monoray kuyruğu ile kazı arınında malzeme nakliyatını sağlamak üzere, havalı monoraylar kullanılmaktadır. Basınçlı hava ile çalışan monoraylar da 12 ton taşıma kapasitesine sahip olup kısa mesafelerde taşıma amacıyla kullanılmaktadır.

3 ÜRETİM MİKTARLARI

3.1 HG03 Panosu Üretim Miktarı

Eickhoff SL300 cift tamburlu kesicimakine yapılan vüklevici ile kazı çalışmalarında, ayakta kablo sıkıntısı, makine arızası, bant arızası ve/veya ayak başı tahkimatının yetismemesi gibi olumsuz koşullarda oluşacak zaman kayıpları olmadan 220 metrelik bir tur kesim 2 saat 20 dakikada gerçekleşmektedir. Üretimin durmak zorunda olduğu, kesim hazırlıklarının yapılması, şilt cekimi ve vardiya değişimi gibi durumlarla birlikte HG03 panosu sekiz saatlik üç vardiya çalışılan normal bir günde, günde 8 kesim vaparak üretimine devam etmektedir.

Sekiz kesim yapılan örnek bir günde;

Birinci vardiyada üretim, 25 dakika ayak başı tahkimatı ve 10 dakika oluğun fazla yüklenmesinden dolayı zincirli oluğun sebepleriyle durmuş, durması vardiya değişimi ve şilt çekimi dahil toplamda 7 saat 25 dakika aralıksız çalışmıştır.

İkinci vardiyada üretim, 2 saat 5 dakika kesim hazırlığı, 1 saat 30 dakika bant arızaları nedeniyle durmuş, 4 saat 25 dakika kesim işlemini gerçekleştirmiştir.

Üçüncü vardiyada üretim, 10 dakika kesim hazırlığı, 25 dakika ayak başı tahkimatı ve 25 dakika kesici-yükleyici makinenin kablolarını içinde tutan kaburganın ayrılması sonucu durmuştur.

HG03 üretim ayağının normal bir gündeki (8 kesim) üretim değerleriyle, günlük üretim tonaji;

GÜNLÜK ÜRETİM (Ton) = Ayak Uzunluğu (m) x Kömür kalınlığı (m) x Kömürün yoğunluğu (ton/m3) x Tambur Kalınlığı (1 (7.1.)

eşitlik (7.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

Kömürün yoğunluğu 1,45 ton/m3, ayak yürüyen tahkimatlar gibi ağır ve nakliyatı uzunluğu 220 metre, damar kalınlığı 1,06 metre tehlikeli olan ekipmanların taşınmasında ve 1 have 0,8 metre olarak bilindiğinden günlük üretim;

Günlük Üretim (ton) = 220 (m) x 1,06 (m) x 1,45 (ton/m3) x 0,8 (m) x 8

isleminin sonucu olarak 2 164 ton olarak hesaplanmıştır.

3.2 G06 Panosu Üretim Miktarı

çift SL500 Eickoff tamburlu makine kullanılan G panosunda alt kömür damarı ile kömür damarı, ara kesmenin üst ince olmasından dolayı beraber üretilmektedir. Bu iki kömür damarının ortalama yükseklikleri toplamda 3,6 metre olmaktadır ve normal bir günde G panosu 5 tur kesim yapar.

G06 panosu günlük üretim miktarı eşitlik (7.1) kullanılarak;

Günlük Üretim (ton) = 220 (m) x 3,6 (m) x 1,45 (ton/m3) x 0,8 (m) x 5

4 594 ton olarak hesaplanmıştır.

3.3 E03 ve E01 Panoları Üretim Miktarları

Kömür damarı yükseklikleri 1,45 metre olan E03 ve E01 panolarında normal bir günde sırasıyla 17 kesim ve 15 kesim yapılmaktadır. Fazla kesim yapmasının nedeni ayak uzunluklarının 150 metre olmasıdır.

E03 panosu günlük (7.1); Günlük Üretim (ton) = 150 (m) x 1,45 (m) x $1,45 (ton/m3) \ge 0,8 (m) \ge 17$

4289 ton üretim yaparken, E01 panosu günlük (7.1.);

Günlük Uretim (ton) = 150 (m) x 1,45 (m) x 1,45 (ton/m3) x 0,8 (m) x 15

3 785 ton üretim yapar.

3.4 D02 Panosu Üretim Miktarı

G panosuyla özdeş özelliklere sahip olan D02 panosu normal bir günde 4 kesim yapmaktadır.

D02 panosunun günlük üretim miktarı (7.1):

Günlük Üretim (ton) = $220 \text{ (m)} \times 3.6 \text{ (m)} \times 3.6 \text{ (m)}$ $1,45 (ton/m3) \ge 0.8 (m) \ge 4$

İşlemi sonucunda 3 675 ton olarak bulunmustur.

Park Teknik Çayırhan Linyit Kömürü İşletmesi'nin dört adet yeraltı ocağından cıkan günlük kömür tonajı;

 $3\ 675 + 3\ 785 + 4\ 289 + 4\ 594 + 2\ 164 =$ 18 507 ton/gün olarak hesaplanmıştır.

Bir yılda çalışılan gün sayısı 300 gün olarak kabul edilirse;

 $300 \times 18\ 507 = 5\ 552\ 100\ ton/yıl olarak$ işletmede üretim tonajı hedefine ulaşıldığı hesaplanmıştır.

4 SONUCLAR

Uretimin, geri dönümlü göçertmeli tam mekanize uzun ayak yöntemiyle yapılan Çayırhan İşletmesi üretim panolarında, bu kullanılmasıyla, vöntemin bir önceki panonun alt taban yolu, bir sonraki panonun üst taban yolu olarak kullanılarak taban yolu ihtiyacı en aza indirilmiştir. Ayrıca bu yöntemle beraber kömürün yanma riski azaltılmış ve rezervin daha verimli kullanılması sağlanmıştır.

Taban yolu kazılarında kullanılan galeri makinelerinin keski uclarinin açma formasyona uygun olan kalem uçlu keskiler olarak tercih edilmesi, keskilerin aşınma sürelerini uzatmış böylece ekipmanlara verebilecek zararların önüne geçmiştir.

çalışmalarında, Uretim kazısı kömür damarı özellikleri ve jeolojik şartlara göre uygun olan Eickhoff SL300 çift tamburlu kesici-yükleyici kazı makinesi seçilmiş, ayak sistemle çalışan hidrolik vürüven tahkimatlarla desteklenmiştir.

TESEKKÜR

Bugünlere gelebilmem bana emek veren ve destek olan annem İffet YÜKSEL 'e, babam Mehmet Kamil YÜKSEL 'e, kardeşim Yiğit YUKSEL 'e teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Aydın, Y., (2000). Modern Teknolojiyle Donatılan Park Teknik Çayırhan Kömür İşletmesinin Tanıtılması, Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, sayfa117-124.
- Bilim, N. , (2007). Çayırhan Yeraltı Kömür Ocağında Kazı Makinalarının Performanslarının Özellikleri Araştırılması ve Kayaç ile İlişkilendirilmesi, Doktora Tezi. Selcuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Kahraman, E., Sığırcı, C., ve Erarslan, O., (t.y.) Tam Mekanize Yeraltı Kömür Madeni: Çayırhan Örneği, sayfa 8-13.

Mecidiyeköy – Mahmutbey Metro Hattı Tünel Açma Makinesi Performans Analizi

Performance Analyses of Tunnel Boring Machine in Mecidiyeköy – Mahmutbey Metro Lines

H. Artan, C. Balcı

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu bitirme çalışmasının amacı, Mecidiyeköy – Mahmutbey metro hattında çalışan Terratec marka tünel açma makinesinin aynı formasyonda ve aynı metreler arasında 2 hat boyunca yaptığı kazı sırasındaki performansının analiz edilmesidir. Çalışmada ilk olarak proje hakkında genel bilgiler verilmiş olup tünel açma makinesi sınıflandırması yapılmıştır. Sınıflandırma yapıldıktan sonra kullanım yerlerine göre TBM'ler hakkında bilgiler verilmiştir. TBM'in geçtiği güzergahlar üzerindeki 840 metrelik alandaki formasyon bilgisi verilmiştir. Daha sonra projede kullanılmış olan TBM hakkındaki teknik özellikler verilerek performans analizine geçilmiştir. Performans analizi yapılırken TBM'in elektronik veri kayıt sisteminden faydalanılmıştır. Verilerde tork, itme kuvveti, ilerleme hızı, güç ve spesifik enerji değerlerinden yararlanılarak grafikler çizdirilip yorumlanmıştır. Anahtar sözcükler : Metro, TBM, analiz

ABSTRACT The purpose of this graduation project is to analyze the performance of TBM which excavates two tunnels between the same formation in Mecidiyekoy - Mahmutbey metro line. The first stage of this study contains the general information about the classification of Tunnel Boring Machines and the tunnel project. After the classification information the performance parameters are given about the TBM according to excavation process. Also metro line formation as 840 meters is explained and all underground stations are described. In addition, the performance analysis of TBM is declared after explaining the technical skills of TBM. During the analyses, the electronical data of TBM were used in this graduation project. The graphs were plotted from the TBM data which are torque, thrust force, advance rate, power and the specific energy and is also discussed. Keywords : Metro, TBM, analysis

1 GİRİŞ

1.1 Genel Bilgiler

Tünel, yeraltında çeşitli kayaçlar içinde inşa edilen giriş ve çıkışı olan, drenaj, kanalizasyon, su boruları, kanal, demiryolu, karayolu, yaya yolu vs. geçişine imkan sağlayan geçiş yolu, ya da bir ulaştırma ya da hizmet amaçlı hattın, yeryüzünden geçirilmesinin teknik veya ekonomik yönden mümkün olmadığı durumlarda, yeraltından geçirilmesi amacı ile inşa edilen yer altı yapılarıdır (Pehlivan, 2013).



Şekil 1: Tünel Sınıflandırması

Türkiye'de gelişmekte olan bir ülke olmasından dolayı yer altı yapıları hızla yayılmıştır. Özellikle İstanbul'da trafiğin yoğun olması nedeniyle metro tünellerine ayrı bir önem verilmektedir. Metro tünelleri oluşturulurken çevreye ve insanlara en az zarar verecek şekilde yapılmaya özen gösterilmektedir. Bu yüzden ilk yatırım maliyetleri yüksek olmasına rağmen mekanize kazı sistemleri tercih edilmektedir. Mekanize kazı sistemlerinin tercih edilmesinde dikkat edilecek başka hususlardan bazıları da güvenli olması ve hızlı ilerleyip inşaat süresinin kısaltılmasıdır.

2 LİTOLOJİ

2.1 Bölgesel Jeoloji

Bölgede genel olarak Trakya, Çekmece ve Danişment formasyonu formasyonu görülmektedir. Metro hattının geçtiği bölgeye ait genelleştirilmiş jeolojik harita Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Bölgesel Jeoloji (Kara T.,2016)

2.2 Formasyonların Fiziksel Ve Mekanik Özellikleri

• Güngören – Güngören Üyesi (Tçg)

Mavimsi açık yeşil, yeşilimsi gri – kahve, beyaz – kirli beyaz ve yer yer bej renkli, az siltli, yerel olarak ince çakıllı, siltli ve kum bantlıdır. Ender olarak karbonatlı, silt – kum ve orta kesimlerinde bazen maktra fosilli marn ve killi ince kireçtaşı ara tabakalıdır. Killer hâkim litolojiyi oluşturur. Güngören Formasyonu, tedrici geçişli olarak tabanındaki Çukurçeşme Formasyonu üzerine gelmekte ve üst seviyelerine doğru artan karbonat içeriğine bağlı olarak, kil ara seviyeli marnlar giderek kireçtaşlarının baskın olduğu Bakırköy Formasyonuna uyumlu bir geçiş göstermektedir.

• Çukurçeşme Üyesi (Tçç)

Esas olarak iki farklı seviyeden oluşur. Üstte sarı, beyaz, mika pullu ince kum ve bunlarla ardalanan silt ve kil tabaka ve merceklerinden, altta ise sarı renkli kum ile zayıf tutturulmuş killi kumtaşı ve kumlu sevivelerinden kiltası olusur. Taban kısmında yaygın çakıl katkıları gözlenir. Yeni Mahalle – Karadeniz istasyonları arasında, kazı kotunda önce bu alt seviyenin, daha sonra üst seviyenin kesilmesi beklenir.

• Trakya Formasyonu (Ct, Kumtaşı – Şeyl Ardalaşması)

Trakya formasyonu, ağırlıklı olarak Silttaşı (çamurtaşı), kumtaşı ve kiltaşı tabakalarının ardalasmasından kuruludur. Bazı araştırmacılar tarafından Kumtaşı – Şeyl ardalaşması olarak isimlendirir. Yine bazı arastırmacılar "silttaşı" terimi yerine, "camurtası" terimini kullanmayı tercih etmislerdir. Bu raporda iki terim de kullanılmıştır. Birimin ilksel rengi açık koyu gri arasında değişim gösterir. Çok kesimlerde avrismis hâkim renk sarı. kahverengi; derecede orta ayrışmış kesimlerde sarımsı gri, zeytin yeşili, boz; az ayrışmış kesimlerde ise gri, açık gri ve koyu gri renklidir. Ayrısma genel olarak derinlik yönünde azalır. Ancak birimi kesen fay ve makaslama (paralanma) zonları ile volkanik dayk sınırlarında derinliğe bağlı olmaksızın ileri derecede avrismis seviveler ile karşılaşılabilir. Kumtaşı seviyeleri orta kalın tabakalı, sert, orta sert, genellikle ortaince taneli, kötü boylanmış, bol mika, kuvars ve kayaç kırıntılarından oluşur. Taneler demirli ve silisli çimento ile bağlanmıştır.

Çok ayrışmış kesimleri sarı, orta ayrışmış kesimleri boz, sarımsı boz ve ayrışmamış kesimlerde açık gri, mavimsi gri renklidir. Silttaşı seviyeleri genellikle ince - orta tabakalı, ayrışmamış halde gri - koyu gri renkli, orta derecede ayrışmış kesimlerde zeytin yeşili, grimsi sarı, çok ayrışmış kesimlerde sarı, kahve renklidir. Kiltaşı genellikle seviyeleri ince tabakalı. ayrışmamış halde koyu gri renklidir. Orta düzeyde ayrıştığı kesimlerde, zeytin yeşilisarımsı gri, çok ayrıştığı kesimlerde ise sarı kahve renklidir.

3 MECİDİYEKÖY – MAHMUTBEY METRO HATTI TBM PERFORMANS ANALİZİ

3.1 TBM Verileri ve Hesaplamalar

TBM performans analizi için gerekli parametreler elektronik verilerden çekilerek aşağıdaki formüller yardımı ile hesaplamalar yapılmıştır.

3.2. Performans Analizinin Değerlendirilmesi

TBM verilerinden elde edilen tablolardan hesaplamalar yapıldıktan sonra iki hattın grafikleri kesiştirilerek ortalama değerleri alınmıştır.

3.1.1 Tork ilişkisi

Tork değişimi 1. Tünel için ortalama 1.100 kNm'dir. İkinci tünel için ortalama 1.398 kNm'dir (Şekil 3.1). İkinci tünel birinci tünelden %27 daha fazla torkla çalışmıştır.

Kazı süresi =
$$rac{ring uzunluğu(m)}{ilerleme hızı(mm/dak)/1000}$$

Kazı oranı
$$\left(\frac{m^3}{sa}\right) = ilerleme oranı \left(\frac{m}{sa}\right) * kazı alanı (m^2)$$

$$Penetrasyon\left(\frac{mm}{dev}\right) = \frac{ilerleme\ hizi(m/sa)}{rpm}$$

$$\dot{I}ler!eme\ oranı\left(\frac{m}{sa}\right) = \frac{ilerleme\ hızı\left(\frac{mm}{dak}\right)}{1000}x60$$

Birinci tünelin kazılmasından sonra ortamdaki kırık ve çatlaklar yani kaya

Spesifik enerji
$$\left(\frac{kWh}{m^3}\right) = \frac{g\ddot{u}\varsigma(kW)}{kaz\imath \ orani \ (m^3/sa)}$$

$G\ddot{u}c(kW) = 2x\pi x \frac{rpm}{60} xTork(kNm)$

kütlesinin etkilenmesi sebebi ile değişimin çıktığı yorumlanmıştır.



Şekil 3: Torkun ring numarasına bağlı değişimi.

3.1.2 İtme kuvveti ilişkisi

İtme kuvveti değişimi 1.tünel için 12.117 kN'dur. 2.tünel için 12.395 kN'dur.(Şekil 3.2) İkinci tünel birinci tünelden %2 daha fazla itme kuvveti ile çalışmıştır. 2 tünel birbirine yakın olduğu için formasyon aynıdır. Aynı formasyonda giden TBM için itme kuvvetleri birbirine yakın çıktığı gözlenmiştir.



Şekil 4: İtme kuvvetinin ring numarasına bağlı değişimi.

3.1.3 İlerleme ilişkisi

İlerleme değişimi 1.tünel için ortalama 10 mm/dev olarak hesaplanmıştır. 2.tünel için ortalama 12,50 mm/dev olarak bulunmuştur. (Şekil 3.3) İkinci tünel birinci tünelden %25 daha hızlı ilerlemiştir. 1.tünel önce kazıldığı için ortamda kırıklı ve çatlaklı kayalar olduğundan 2.tünel ilerlemesi daha çok olduğu yorumlanmıştır.



Şekil 5: İlerlemenin ring numarasına bağlı değişimi

3.1.4 Güç ilişkisi

Güç değişimi 1.tünel için ortalama 290 kw olarak hesaplanmıştır. 2.tünel için ortalama 338 kw olarak hesaplanmıştır.(Şekil 3.4) İkinci tünel kazılırken birinci tünelden %16 daha fazla güç harcamıştır. Güç $2 \times \pi \times N \times T$ formülünden bulunmaktadır. 2. tünelde tork yüksek olduğundan dolayı ve güç ile tork doğru orantılı olduğundan gücünde yüksek olduğu yorumlanmıştır.



Şekil 6: Gücün ring numarasına bağlı değişimi.

3.1.5 Spesifik enerji ilişkisi

1.tünel için spesifik enerji ortalama 5,70 kwh/m³'tür. 2. tünel için ortalama 5,84 kwh/m³'tür.(Şekil 3.5) İkinci tünelin spesifik enerjisi birinci tünelden %2 daha fazladır. Formasyonun aynı olmasından dolayı ve 2.tünelde formasyonun bozukluğu nedeni ile spesifik enerjinin az da olsa yüksek olduğu yorumlanmıştır.



Şekil 7: Spesifik enerjinin ring numarasına bağlı değişimi.

4 SONUÇLAR

Mecidiyeköy – Mahmutbey metro hattı içerisinde bulunan Yenimahalle - Kazım istasyonları Karabekir arasındaki 840 metrelik bir alanda, Terratec marka tünel açma makinasından alınan elektronik değerlendirilerek, verilerin aynı formasyondaki iki ayrı hat boyunca uzanan kazı verilerinden tablolar oluşturulmuş, formüllerden yararlanılarak sonuçlar elde edilmiş, bunlarla ilgili grafikler yapılmış ve iki hat için ortalama değerler alınmıştır. İki ayrı hata ait alınan elektronik verilerden elde edilen sonuçlardan yapılmış olan grafikler Şekil 3 – Şekil 6 arasında verilmiştir. Şekil 3'de görüldüğü gibi 1. Hat önceden kazılıp formasyonu zedeleyerek kaya kütlesinin yapısını bozmaktadır. 2. hatta TBM üzerine daha fazla yük bindiğinden tork değerinin arttığı görülmüş olup buna göre ortalama tork daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca 2. hatta kesici kafa hızının 313. ringten sonra ikinin altına düştüğü gözlenmiştir. Tork ile kesici kafa hızı ters orantılı olduğundan dolayı tork değerinin yükseldiği yorumlanmıştır.

Şekil 4'te görüldüğü üzere 2 hatta da formasyon aynı olduğundan dolayı itme kuvvetlerinin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Formasyonun bozulmasından dolayı 2. hatta az da olsa itme kuvveti daha yüksektir.

Şekil 5'te görüldüğü üzere formasyon aynı olmasına rağmen ve 2.hatta formasyonun çatlaklı olduğundan ilerleme daha yüksek cıkmıştır. 313. ringten sonra kesici kafa hızının düşmesi ilerlemenin artmasına neden olmuştur. Bunun nedeni formülde görülüğü üzere kesici kafa hızı ile ilerleme hızının ters orantılı olması olduğu Mecidiyeköy -Mahmutbey metro hattı içerisinde bulunan Yenimahalle – Kazım Karabekir istasyonları arasındaki 840 metrelik bir alanda, Terratec marka tünel açma makinasından yorumlanmıştır.

Şekil 6'da görüldüğü gibi 2. hatta ortalama güç daha yüksektir. Kaya kütlesinin bozulması torkun yükselmesine sebep olmuşutr. Tork ile güç doğru orantılı olmasından dolayı gücün 2. hatta daha yüksek çıktığı yorumlanmıştır.

Şekil 7'te görüldüğü üzere 2. hatta formasyonun bozukluğu spesik enerjiyi az da olsa yükselttiği yorumlanmıştır. Yukarıda sebeplerin belirtilen dışında TBM performansını etkileyen parametrelerden biri personelin de eğitimli ve kalifiye operatörlerin olmasıdır. Operatörlerin uzun süre tünel açma makinesini kullanması ve iyi eğitim görmüş olması bu yüzden çok önemlidir.

KAYNAKLAR

- Pehlivan, H., 2013. 'Üsküdar Ümraniye Çekmeköy metro tünellerinde TBM performansı ve veri analizi', Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Kara T., 2016. 'Mecidiyeköy Mahmutbey Hattında Çalışan Lovat Ve Herreknecht Marka Tbm'lerin Performanslarının Karşılaştırılması' Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Akdağlar Madencilik Ayazağa Agrega Ocağı Agregalarının Donma-Çözülme Koşulları Altında Aşınma ve Parçalanma Dirençlerinin Belirlenmesi

Determination of Abrasion and Partition Resistance Under Freezing-Thawing Conditions of Akdağlar Mining Ayazağa Aggregates

İ. Arabacı, H. Tunçdemir, Ö. Akyıldız

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul

ÖZET Kum, çakıl ve kırmataş karışımının bütününe endüstriyel olarak agrega adı verilmektedir. Agrega, madencilik konusunda ülkemizde maden sektörünün %65'ini oluşturan önemli bir alandır. İnşaat sektörünün ana maddesi olan betonun %60-75 civarında agrega içerdiği düşünüldüğünde, günden güne artan inşaat sektörünün karşısında agrega madenciliğinin yeri oldukça önemlidir. Yol ve inşaat çalışmalarında kullanılması dolayısıyla agrega birçok güvenlik testlerine tutulmaktadır. Bu aşamada yapı sektöründe en önemli unsurlardan olan agregaların, aşınma dirençleri ve parçalanma dirençleri endüstriyel alanlarda oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu dirençler yapıların dayanımları noktasında kalitelerini ve yapısal ömürlerini etkilemektedir. Bunun için yapılan testler, malzemenin aşınma ve parçalanmaya karşı yapısal olarak analiz etmeyi sağlar. Bu testlerden elde edilen sonuçlar, yönetmeliklere uygun olması durumunda üretilen agrega endüstriyel alanlarda kullanılabilir. Bu çalışmadaki amaç Akdağlar Madencilik Ayazağa'da Agrega Ocağı'nın farklı yerlerinden alınan numuneler üzerinde donma-çözülmeye bağlı aşınma ve parçalanma dirençlerinin incelenmesidir. Bu amaçla Los Angeles ve Mikro-Deval deneyleri yapılarak donmaçözülmeye bağlı aşınma ve parçalanma dayanım değerleri tespit edilmiştir. Anahtar Kelimeler: Agrega, Donma-Çözülme, Aşınma ve Parçalanma

ABSTRACT The aggregate of sand, gravel and crushed stone is called industrial aggregate. Aggregate is an important field that accounts for 65% of the mining industry in our country in terms of mining. The aggregate mining is very important compared to the day-to-day construction sector, as concrete, the main ingredient of the construction sector, is thought to contain aggregates in the 60-75% range. Due to its use in road and construction works, the aggregate is subjected to many safety tests. At this stage, the most important elements in the building industry, aggregates, abrasion resistance and fragmentation resistance are very important in industrial areas. These resistances affect the qualities and structural lifetimes of structures at their strengths. The tests made for this provide structural analysis of the material against abrasion and fragmentation. If the results obtained from these tests are in accordance with the regulations, the produced aggregate can be used in industrial areas. The aim of this study is to investigate the freezing and thawing corrosion and fracture resistances on samples taken from different parts of Akdağlar Madencilik Ayazağa Aggregate Quarry. For this purpose, Los Angeles and Micro-Deval tests were carried out to determine the values of abrasion and fracture resistance due to freeze-thawing.

Keywords: Aggregates, Abrasion and Partition Resistance, Freezing-Thawing Conditions

1 GİRİŞ

Agrega; şehirleşmenin yapı taşlarından olan beton, köprü, yol, boru hatları gibi alt yapı ve üst yapı birimlerinin temel hammaddesidir. Agrega beton üretiminde kullanılan çakıl, kırmataş gibi malzemelerin genel adıdır. Beton içinde hacimsel olarak %60-75, asfalt içinde %95 oranında yer işgal eden agrega madencilik sektörlerinin insaat ve vazgeçilmezlerindendir (Erkan, vd., 2015). Türkiye Müstahsiller Cimento Birliği (TÇMB) ve Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB) verilerine göre İstanbul pazarında son 5 yılda tüketilen çimento ve hazır beton miktarları Cizelge 1'de yer almaktadır.

Çizelge 1: İstanbul pazarında son beş yılda tüketilen çimento ve hazır beton miktarları.

Çimeto Tüketimi -	2011	2012	2013	2014	2015	
ton	2011	2012	2015	2014	2015	
İstanbul Avrupa	4 050 893	4 125 832	3 951 831	4 939 789	6 060 000	
İstanbul Asya	3 221 657	2 266 057	3 568 162	4 460 203	4 040 000	
Toplam	7 272 550	6 391 889	7 519 993	9 399 991	10 100 000	

1.1 Arazinin Tanıtılması

Deneyde kullanılan malzemeler Akdağlar Madencilik'e ait Ayazağa Üretim Tesisinden edilmistir. Bes farklı temin üretim yerlerinden getirilen malzemeler kırıcı çıkışlarından alınıp torbalanmıştır. Beş farklı verden 5 - 12 mm ve 12 - 19 mm boyutlarında malzemeleri alınmıştır. Numunelerin alınma konumları Çizelge 4.1'de ve alınma yerleri ise Şekil 4.1'de Laboratuvara gösterilmiştir. getirilen numuneler titreşimli elek ile elenerek 5 - 10 mm, 10 - 12,5 mm, 12,5 - 14 mm ve 14 - 19 mm olarak ayrılmıştır. Boyutlarına göre ayrılan bu numunelerden 10 - 12,5 mm ve 12,5 - 14 milimetre boyutundaki malzemeler deney aşamasında kullanılmıştır. Akdağlar Madencilik'e ait Ayazağa Üretim Tesisi, Kemerburgaz-Ayazağa arasında Cendere vadisinde bulunmaktadır. Bu ocakta çıkarılan agrega numunesinin çeşidi kalkerdir diğer adıyla kireçtaşıdır. Kimyasal bileşiminde asgari %90 kalsiyum karbonat (CaCO3)

bulunan tortul kayaçlara kalker ya da kireçtaşı adı verilmektedir. Ayrıca mineralojik bileşiminde asgari %90 kalsit minerali bulunan kayaçlara da kalker adı verilmektedir.



Şekil 1: Alınan numunelerin yerlerinin harita üzerinde gösterimi.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Donma Çözünme Öncesi Deneyler

Don etkisine maruz kalmış beş farklı bölgeden alınan agrega numuneleri hazırlanarak 15 adet Los Angeles ve 20 adet Mikro-Deval deneylerine tabi tutulmuştur. Don etkisinin ölçülmesi amacıyla deney Donma-Çözülme öncesi ve sonrası olmak üzere iki aşamada yapılmıştır.

Donma-çözülme öncesi aşamasında beş farklı bölgeden ikişer adet numune ile Los Mikro-Deval Angeles ve denevleri yapılmıştır. İlk aşama için ortaya çıkan sonuçlar Agreganın parçalanmaya karşı direncini belirten Los Angeles katsayısının %30 olan sınır değerinin altında kalarak 1, 2, 3 ve 4 numarali numunelerde LA15 ve 5 numaralı numunede LA20 olarak belirlenmiştir. Bu sayede malzemenin beton ve asfalt malzemesi olarak kullanılabileceğini görülebilmektedir. İlk aşama için yapılan deneylerinde ise Mikro-Deval sonuçlar Mikro-Deval standartlarına göre agreganın aşınmaya karşı direnci ise LA20 olarak belirlenmiştir.

Numune		Deney öncesi etüv kurusu ağırlığı (g)	Deney sonrası etüv kurusu ağırlığı (g)	La katsayıları	La katsayı (ortalama)
1 NO	LA 1	4 954	4 380	11,48	12 77
110	LA 2	4 958	4 255	14,06	12,77
2 NO	LA 1	4 933	4 303	12,60	12 77
2110	LA 2	4 932	4 285	12,94	12,77
3 NO	LA 1	4 951	4 357	11,88	12.17
3 10	LA 2	4 883	4 260	12,46	12,17
4 NO	LA 1	4 967	4 355	12,24	11.63
4 NO	LA 2	4 962	4 411	11,02	11,05
5 NO	LA 1	5 035	4 080	19,10	16.02
3 NO	LA 2	5 077	4 339	14,76	10,93

Çizelge 2: Los Angeles deneyi sonuçlarının çizelgesi.

2.2 Donma Çözünme Sonrası Deneyler

Donma-çözülme sonrası olarak adlandırılan ikinci aşama için malzeme yetersizliğinden dolayı beş bölgeden birer adet Los Angeles ve ikişer adet Mikro-Deval deneyleri yapılmıştır. İkinci aşamada ortaya çıkan Los Angeles katsayıları %30 sınır değerinin altında kalarak LA15 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçtan malzemenin beton ve asfalt malzemesi olarak kullanılabileceğini görülebilmektedir.

Mikro-Deval deneylerinde ise sonuçlar Mikro-Deval standartlarına göre agreganın aşınmaya karşı direnci ise LA20 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3: Mikro-Deval deneyi sonuçlarının çizelgesi.

Numune		Deney Öncesi Etüv Kurusu Ağırlığı (g)	Deney Sonrası Etüv Kurusu Ağırlığı (g)	Micro- Deval Katsayıları	Micro-Deval Katsayı (Ortalama)
1 NO	MD 1	508	396	22,4	20.6
INO	MD 2	504	410	18,8	20,0
2 NO	MD 1	491	385	21,2	20.0
2110	MD 2	488	394	18,8	20,0
3 NO	MD 1	501	419	16,4	17.8
5110	MD 2	505	409	19,2	17,0
4 NO	MD 1	497	419	15,6	16.6
- 10	MD 2	501	413	17,6	10,0
5 NO	MD 1	499	419	16,0	15 3
5 10	MD 2	499	426	14,6	13,5

Deney sonuçlarında ortaya çıkan MDE katsayılarının ortalamaları alınarak her numune için ortalama MDE Katsayıları belirlenmiştir. Oluşturulan bu sonuçlar Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Donma-Çözülme sonrası yapılan Mikro-Deval deneyleri için beş farklı yerden toplamda 10 adet hazırlanmıştır. Bu numunelerden 1 Numaralı Mikro-Deval numunesi Mikro-Deval cihazına konulmadan önce Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Deney sonrası cihazdan çıkarılan ve mıknatıs bilyelerden avrılarak yardımıyla çelik yıkanan numune etüve konulmuştur. Etüvden çıktıktan sonra aşınmış durumda olan 1 Numaralı numune Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2: Donma-Çözülme sonrası etüvden çıkan l numaralı numune görünümü.

Çizelge	4: Do	nma-Ç	özülme	sonrası	Los
Angeles de	neyi so	onuçları	çizelge	esi.	

Numune		Deney Öncesi Etüv Kurusu Ağırlığı (g)	Deney Sonrası Etüv Kurusu Ağırlığı (g)	LA Katsayıları
1 NO	LA 1	4 994	4 368	12,52
2 NO	LA 1	4 976	4 350	12,52
3 NO	LA 1	4 945	4 317	12,56
4 NO	LA 1	4 969	4 512	9,14
5 NO	LA 1	4 940	4 290	13,00

Donma-Çözülme sonrası yapılan Los Angeles deneylerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4'de gösterilerek deney sonucu elde edilen LA Katsayıları belirlenmiştir. Donma-Çözülme öncesi ve sonrası olarak analiz edilen LA Katsayıları arasındaki değişim oranları Çizelge 5'te verilmiştir.

Çigelge 5: Donma-Çözülme sonrası Los Angeles deneyi değişim oran çizelgesi

LOS ANGELES DENEYİ								
Numune	Donma-Çözülme Öncesi LA Katsayısı	Donma-Çözülme Sonrası LA Katsayısı	Değişim Oranı (%)					
1 NO	12,77	12,52	2%					
2 NO	12,77	12,52	2%					
3 NO	12,17	12,56	-3%					
4 NO	11,63	14,42	-24%					
5 NO	16,93	13	23%					

Çizelge 6: Donma-Çözülme sonrası Mikro-Deval sonuçları çizelgesi.

Numune		Deney Öncesi Etüv Kurusu Ağırlığı (g)	Deney Sonrası Etüv Kurusu Ağırlığı (g)	Mikro- Deval Katsayıları	Mikro-Deval Katsayısı (Ortalama)
1 NO	MD 1	508	413	19,0	18.8
INO	MD 2	510	417	18,6	10,0
2 NO	MD 1	506	419	17,4	18.0
2110	MD 2	512	419	18,6	18,0
3 NO	MD 1	503	425	15,6	167
3 NO	MD 2	509	420	17,8	10,7
4 NO	MD 1	504	430	14,8	15.7
4 NO	MD 2	510	427	16,6	15,7
5 NO	MD 1	506	426	16,0	15.5
3 NO	MD 2	506	431	15,0	13,5

Donma-Çözülme sonrası yapılan Mikro-Deval deneylerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 6'da gösterilerek deney sonucu elde edilen MDE Katsayıları belirlenmiştir.

3 DEĞERLENDİRME

3.1 Los Angeles Deneyi

Los Angeles deneyi için beş farklı yerden, her bir örnek için ikişer veya birer deney örneği hazırlanacak şekilde toplamda 15 deney örneği hazırlanmıştır. Deney sonucunda 1,6 mm elek üzerinde kalan miktarların ilgili kategorisi için kaç gramın üstünde olması gerektiği çizelgeden izlenebilir (Tunçdemir vd., 2015). Deneyler sonucunda ortaya çıkan katsayıların ortalaması alınarak geneli ifade eden ve işletme taş kalitesinin anlaşılmasında fayda sağlayan asıl alınması gereken ve en ortalama olarak sonuçları içeren katsayılar Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7: Deney numunelerinin Los Angeles kategorileri.

Akdağlar Mədencilik	Ortalama Los Angeles Katsayısı	К
hadenenik		
I NO	12,645	LA15
2 NO	12,645	LA15
3 NO	12,365	LA15
4 NO	13,025	LA15
5 NO	14,965	LA15
ORTALAMA	13,129	LA15

3.2 Mikro-Deval Deneyi

Mikro-Deval deneyi için 5 farklı yerden, her iki deney için ikişer örnek olmak üzere toplamda 20 deney örneği hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında Mikro-Deval deneylerine maruz kalan Akdağlar Madencilik'e ait örneklerin ortalama Mikro-Deval katsayıları ve ortaya çıkan kategorileri Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8: Numunelerin MDE kategorileri.

Akdağlar Madencilik	Ortalama Mikro- Deval Katsayısı (MDE)	MDE Kategorisi
1 NO	19,7	MDE20
2 NO	19	MDE20
3 NO	17,25	MDE20
4 NO	16,15	MDE20
5 NO	15,75	MDE20
ORTALAMA	13,13	MDE20

4 SONUÇLAR

Don etkisine maruz kalmış beş farklı bölgeden alınan agrega numuneleri hazırlanarak 15 adet Los Angeles ve 20 adet Mikro-Deval deneylerine tabi tutulmuştur. Don etkisinin ölçülmesi amacıyla deney Donma-Çözülme öncesi ve sonrası olmak üzere iki aşamada yapılmıştır.

Donma-cözülme öncesi asamasında bes farklı bölgeden ikişer adet numune ile Los Mikro-Deval Angeles ve denevleri vapılmıştır. İlk asama için ortaya çıkan Agreganın parçalanmaya sonuclar karsı direncini belirten Los Angeles katsayısının %30 olan sınır değerinin altında kalarak 1, 2, 3 ve 4 numaralı numunelerde LA15 ve 5 numaralı numunede LA20 olarak belirlenmiştir. Bu sayede malzemenin beton ve asfalt malzemesi olarak kullanılabileceğini görülebilmektedir. İlk aşama için yapılan deneylerinde Mikro-Deval ise sonuclar Mikro-Deval standartlarına göre agreganın aşınmaya karşı direnci ise LA20 olarak belirlenmiştir.

Donma-cözülme sonrası olarak adlandırılan ikinci aşama için malzeme yetersizliğinden dolayı beş bölgeden birer adet Los Angeles ikiser adet Mikro-Deval denevleri ve yapılmıştır. İkinci aşamada ortaya çıkan Los Angeles katsayıları %30 sınır değerinin altında kalarak LA15 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçtan malzemenin beton ve asfalt malzemesi olarak kullanılabileceğini görülebilmektedir. Mikro-Deval deneylerinde ise sonuçlar Mikro-Deval standartlarına göre agreganın asınmaya karsı direnci ise LA20 olarak belirlenmiştir.

Don etkisine maruz kalmış Akdağlar Agrega işletmesinde beş farklı bölgeden alınan agrega numuneleri ile yapılan Donma-Çözülme deneyi sonucunda ortalama olarak hesaplanmıştır. Angeles sonuclar Los (parçalanma dayanımı) katsayısı LA15 ve Mikro-Deval (asınma dayanımı) LA20 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre deneylerde kullanılan agreganin beton ve asfaltta kullanılmak için uygunluk şartlarını sağladığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

Erkan, M., Koruç. Ş., Çelikkol, M., 2015. 'Agrega Madenciliğinde Büyük Kentlerdeki Karşılaşılan Sorunlar', 7. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.

- Ts En 1907-2, 2002. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 2: 'Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar', Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ts En 932-2, 1999. Agregaların Genel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2: 'Laboratuvar Numunelerinin Azaltılması Metodu', Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Öztürk, Ö., Çelikkol, M., Erkan, M., 2007. "Türkiye Agrega Sektör Raporu", Agrega Üreticileri Birliği.
- Ts En 1097, 2000. "Beton Agregaları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ts En 1097-1, 2002. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 1: Aşınmaya Karşı Direncin Tayini (Mikro-Deval), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tunçdemir, H., Bayram, O. ve Atalay, F., 2015.
 "Kuru ve Yaş Gerçekleştirilen Mikro-Deval Testlerinin Aşındırıcılık Açısından İncelenmesi", 7. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.

OPTIMUM DESIGN OF A NATM TUNNEL BY USING A NUMERICAL METHOD

Sayısal Bir Yöntem Kullanılarak bir NATM Tünelinin Optimum Tasarımı

Latif Işık, Hanifi Çopur Istanbul Technical University, Mining Engineering, Istanbul

ÖZET Bu mezuniyet çalışmasında, tünelcilik projelerinin iyileştirmesi için, güvenli kalarak. zaman ve maliyet anlamında en uygun değerlere sınırlarda ulasmak hedeflenmektedir. Bu bağlamda NATM (New Austrian Tunneling Method) ile kazılması planlanan bir tünel için sonlu elemanlar yöntemi ile çözümleme yapan, iki boyutlu analiz programı olan Phase2 kullanılmıştır. Bu çalışma boyunca toplamda 930 farklı Phase 2 çıktısı değerlendirilmiştir. Phase 2'de tünel için projelendirme yapılırken, çözüme ve sonuca etki edebilecek parametreler üzerinde farazi değişiklikler yapılarak, bu değişimlerin, sonuca doğrudan etkisi dikkate alınmıştır. Çözüme etki eden sınır değerlere ulaşılmasının ardından, bu değerler tek bir çalışmada toparlanmış ve referans proje tasarlanmıştır. Referans proje üzerinden, mevcut bir tünel çalışmasının projelendirmesi yapılmış, en az maliyet ile en sağlam tünele ulaşmak adına uygun destekleme sınıfı belirlenip, Phase2 programı ile desteklemenin yeterli olduğuna karar verilmiştir. Sonuç olarak uygulanması ve geliştirilmesi mümkün bir proje hazırlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tünel, NATM, Phase2, Nümerik Yöntemler.

ABSTRACT In this graduation study, it is aimed to reach the most suitable values in terms of time and cost within the safe limits for the improvement of the tunnel projects. In this context, Phase 2, which is a two dimensional finite element analysis program, is used for a tunnel planned to be excavated with NATM (New Austrian Tunneling Method). During this study, a total of 930 different Phase 2 outputs were evaluated. In Phase 2, while the project is being carried out for tunnels, the direct effects of the hypothetical changes are taken into account on the parameters that can affect the solution. After reaching the limit values that influence the solution, these values are collected in a project and the reference project is designed. As a result a tunnel project is designed in this study. Keywords: Tunnel, NATM, Phase2, Numerical Methods.

1 INTRODUCTION

Especially in recent years there has been a big increase in tunneling activities. In Turkey. Conclusions of the geographical conditions, lead to necessity of excavate tunnels in order to ease the transportation. As the days go on, new companies, projects about tunneling are developed. However, this creates a necessity of the tunnelling project optimization to reduce both the operation time and the construction costs. There are many different types of tunneling methods. NATM (New Austrian Tunnelling Method) which is also known as a sequential excavation method is one of them. Since NATM offers a solution for necessity of supporting overload in a short term, it is a popular method of modern tunnel design and construction. In this project, the aim is to reach at optimal tunnel projects (for NATM tunnel) with using numerical analysis.

Firstly, the literature about this project and the engineering geology has been searched in this study. During the literature search, numerical methods are also explained in detail. Numerical method is chosen which will be used in the project as a finite element methods, because it is the most appropriate, easy, and practical numerical method for this project. Then, RMR, Q, and GSI are determined. Then samples are subjected to laboratory experiments to get some data such as Poisson's ratio, modulus of elasticity (Ei), unit weight of rock mass (γ) and uniaxial compressive strength (UCS). As a result of these experiments, passing from the intact rock to the rock mass is completed and the whole rock mass is determined.

After reach the satisfying information about the rock mass, support systems which are going to be used are decided. As a result of those all studies, numerical analysis are performed for three different homogenous zones; entrance portal, axial section, and exit portal. In case of the loads and support systems are balanced in a Phase2 that is a finite element program for soil and rock applications, then the results are obtained.

2 LITERATURE SURVEY

2.1 Numerical Methods

By using analytic, numerical or empirical methods. it enables to determine displacement, deformations and some stresses that surround underground openings. When empirical and analytic methods fall short, numerical methods can be used. The most commonly used numerical methods are finite element method, finite difference method, discrete element method and boundary element method. Phase2 is a finite element program for soil and rock applications.

The Finite Element Method is a numerical procedure for solving boundary value problems and structural, solid mechanics problems in engineering. In case of apply this method, the solution part of the problem is divided into several smaller parts in order to analyze deeply, and the expression of function is chosen as polynomial. FEM can be used in a system which includes complex material properties. This method can be applied to all branches of math and physics such as, tension analyze, static and dynamic elasticity problems.

2.2 Rock Mass Classification

classification Rock mass is the categorizing the rock masses into groups or classes in terms of their similar characteristics such that the behavior of the rock mass can be predicted. In 1946, the rock masses are classified by Terzaghi for tunnel supporting which includes the rock loads which is carried by steel sets. The aim classify rock mass of the is the understanding characteristics behaviour of rock mass, by this means getting information about composition, deformation properties and strength is possible.

In other words, rock mass classification is the process of the induction from intact rock to rock mass.

2.3 Evaluation of In-situ Stress Materials

Before start to excavation, getting all kind of information makes easier to organize the process of construction with regards to occupational health and safety, economy and time planning. In order to identify characteristics and the behavior of the material which will be advanced in, some methods can be applied such as drilling, outcropping, and manual sampling. Since the rock mass is not homogenous (includes discontinuities, faults etc), some empirical relations are created to define geotechnical properties such as Elasticity Modulus, Uniaxial Compressive Strength of Rock Mass, and Field Stress etc. thus the passing from intact rock to rock mass can be applied.

2.4 NATM Principles

The tunnel design and construction techniques described by von Rabcewicz involved variety of principles of ground mechanics and interaction of ground with a tunnel lining. These techniques allow the ground move towards the tunnel in a controlled manner.

In tunnels which are constructed with NATM, excavation can be done as a full face or can be separated into several parts. A number of sequences may be differ according to geotechnical properties.

At the beginning of ground movement, deformations have elasticity behaviour. After a while it has plasticity properties that means non-reversible changes of shape in response to applied forces. The transition from elastic behaviour to plastic behaviour is called as a yield.



Figure 1. Ground-support reaction curve. [4]

2.5 Introduction of Phase 2 Software

Phase 2 8.0 is a 2D elasto-plastic analysis program which uses the finite element method as numerical methods Complex, multi-stage models can be easily created and quickly analyzed tunnels in weak or jointed rock, underground powerhouse caverns, open pit mines and slopes, embankments, and much more. While using Phase2, support design, slope stability, groundwater seepage and probabilistic analysis should be considered.



Figure 2. Example of interpretation section belonging to total displacement in Phase 2.

2.6 Phase 2 Optimization

using the Phase2 By program, optimizations are performed. The first variable is the Mesh Setup. At first, the mesh type is chosen as Graded. Then, Gradation Factors are assigned 0.05, 0.1, 0.15, 0.2 and 0.25 respectively. For all those factors, Default Numbers are specified 50, 75, 100, 125, and 150 respectively. In the interpret section, Mean Stresses, Total Displacements and Maximum Shear Strains are measured for two shoulders and vertex of the opening. Also minimum and maximum values of axial force and bending moment for liner and axial force for the bolt are measured. Those variables are evaluated for all procedure separately. After that, the optimized value became the reference mesh type which is going to be used in the rest measurements. Secondly, the tunnel geometry is studied. Four different face geometry is applied, but their cross sectional area are taken constant.

Two different NATM type openings, one octagonal, one hexagonal and one rough surfaced opening are excavated. While the tunnel geometry is changing, stresses on the face also changes. By using Phase2, the average is calculated, then the optimized tunnel geometry is chosen which the NATM shaped.

In the next stage, different boundary conditions are studied. The tunnel is expanded for both x and y directions. The boundary is expanded 10, 20, 50, 75 and 100 meters respectively. The optimum enlargement is evaluated which is 50 m both negative and positive x-directions and the ydirection. This value is stabled for the other processes.

Coating thickness is the following process. In this process, the coating is assigned 10, 25, 50, 100, 150 and 200 meters in order. The average coating thickness is evaluated as 100 meters. Also four examples are solved for topography as linear, as wavy, right justified and left justified. And the linear topography measured as optimized. Then the reference project is occurred which is going to be used for the following examples.

Relaxation after the excavation process is calculated from the Phase2 program by using the relative processes. The relaxation is measured as 0.7 by using the calculations. In this step, the relaxations are experimented as the values from 0.1 to 0.9 which increases as 1 decimals. The average result is evaluated as 0.7.

Finally, K_0 (field stress) values are added to the program from 0.2 to 1.2. The average is calculated as 0.7. As a result of this process, the project is reached to the impeccable solution.

3 TUNNEL PROJECT

There is a specific tunnel which will be constructed (projected) on north-east side of Istanbul includes two tubes and length of the tunnel is approximately 370 m. The maximum overburden is a 41 m and slope of the tunnel is a 0.941 %. While height of tunnel is 8.8m, diameter of tunnel is 17 meter since there will be planned 3 lanes on way. Geological units are evaluated with regard to the engineering geology and geotechnical approaches to decide the supporting system. Homogenous zones are defined according to their geotechnical properties. Then the supporting systems are evaluated for each zone. In the program called Phase 2, the adequacy of support was analyzed and found to be sufficient.

The designing criteria that belong to support elements used in tunnel are listed below:

Shotcrete: Strength of shotcrete materials are given in the following Table 1.

Table 1. Strength of shotcrete materials (TS500).

lass	3	days		St	Strength 7 days			28 days		
Concrete C	E (Mpa)	σ_c (Mpa)	σ _t (Mpa)	E (Mpa)	σc(Mpa)	σ _t (Mpa)	E (Mpa)	$\sigma_{c}(Mpa)$	σ _t (Mpa)	
C20/25	14100	9	1.07	17586	14	1.05	21019	20	1.6	

Rigid Steel Arch: Properties of rigid steel arch are given in the following Table 2.

Table 2. Properties of rigid steel arch.

Types	Unit Weigt (kg/m)	Cross Sectional Area (mm ²)	Depth (mm)	Moment of Inertia (mm ⁴ x10 ⁶)	Modulus of Elasticity (Mpa)	Poissons Ratio (v)	σ _c (Mpa)	σ _t (Mpa)
IPN	11.1	1420	120	3.28	200000	0.25	365	365
120								
IPN	14.3	1820	140	5.73	200000	0.25	365	365
140								
IPN	17.9	2280	160	9.35	200000	0.25	365	365
160								
IPN	26.2	3340	200	21.4	200000	0.25	365	365
200								

Rock Bolts: Properties of rock bolts are given in the following Table 3.

Table 3: Properties of rock bolts.

Reinforcement	D (mm)	E (MPa)	σ _t (Mpa	σ _{t-res} (Mpa	Туре
SN-PG Bolt	28	210000	0.225	0.02	Fully
					Bonded
IBO Bolt	32	210000	0.29	0.02	Fully
					Bonded

Forepoling: Since there is no way to directly describe forepoling in two dimensional

analysis, the effects of them are modelled as the reformed zone above the tunnel.

Interior Lining: Properties of liners are given in Table 4.

Reinforcement	Linear
Thickness (m)	0.5
Modulus of Elasticity (Mpa)	23.5
Poisson's Ratio (v)	0.15
$\sigma_c Mpa$	25
$\sigma_t Mpa$	1.8
Unit Weight MN/m ³	0.024

4 CONCLUSIONS

To conclude, by using Phase2, there are analyzed 930 different data such as mean total displacements, maximum stresses. shear strains (on left side, right side and top of the tunnel), axial forces for liner, bending moments on liner, and axial forces on bolt (min, max). Then these data are evaluated on the excel program in order to optimization. By using these optimization, the system that is solved in the Phase2. When the result that is solved up to finite element method is considered, it seems that supporting systems are appropriate, because the system did not faulted and the interpreted values were adequate. It shows that this project can be applicable in real.

As a result of get average studies for an in-situ elasticity modulus, UCS and K0, values are found. In-situ elasticity modulus are determined as 2.38, 6.13, and 1.25 GPa respectively. Uniaxial Compressive Strength is estimated as 0.801, 2.435, and 0.46 MPa respectively. Moreover, K0 values is calculated as 0.184, 0.245. and 0.3 respectively.

Then, NATM rock mass classes for entrance portal, axial and exit portal are established as B3, B2, and B3 respectively. After that rock support elements are determined with consider on NATM rock masses. Rock bolts, shotcrete, welded wire mesh, injection forepoling, rigid steel arcs are used. Finally, mean stresses around the tunnel for entrance portal, axial section, and the exit portal are calculated approximately 0.75 MPa, 0.7MPa, 0.6MPa; total displacements are approximately 0.003m, 0.004m, and 0.004m; and maximum shear strains are 0.0004 MPa, 0.001 MPa and 0.0007 MPa respectively. This project can be applicable in real in order to saving time and reach more realistic results.

ACKNOWLEDGEMENT

I would like to thank to dear Prof. Dr. Hanifi Çopur, who shared advice regarding engineering vision and life, with academic support and help in every stage in the preparation process of this thesis work, to Serdar TİRYAKİ who helping to write related parts of this thesis and finally I present my endless gratitude to all member of my family who have brought me today, the architect of every kind of success in my life.

REFERENCES

- Barton, N. (2013). Rock Mass Classification and Support Design. Oslo, Oslo, Noeway: Allkopi AS.
- Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (n.d.) Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics. 6: 4: 189-236. 0
- [3] Bieniawski, Z. T. (1993). Rock Mass Classification Systems. In S. M. Abbas.
- [4] Çopur, H. (2009). NATM. Large Section Underground Openings (pp. 12, 13). İstanbul: Istanbul Technical University.
- [5] Health and Safety Executive. (1996). Safety of New Austrian Tunneling Method (NATM) Tunnels.
- [6] Hoek, E., Corkum, B., & Carranza Torres, C. (2002). *Hoek –Brown Failure Criterion.*
- [7] Palmström, A. (1993). The New Austrian Tunneling Method (NATM).
- [8] Tiryaki, S. (2015). "Yeraltı Yapılarının Projelendirme İlke ve Esasları ile Proje Yönetim Süreçleri", Postgraduate Thesis, Istanbul: Istanbul Technical University.

Eti Bakır Küre Bakibaba Yeraltı Maden Ocağı İşletmesindeki Delici Makinaların Performans Analizi

The Performance Analysis of Eti Copper Küre Bakibaba Underground Mine Drilling Machines

M. Öz, C. Erdoğan, Ö. Acaroğlu Ergün İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu çalışmasının amacı, Küre Eti Bakır Bakibaba Yeraltı Maden Ocağı İşletmesinde bulunan delici makinelerin üretim ve hazırlık aynalarındaki farklı formasyonlar üzerinde performanslarının gözlemlenerek elde edilen sonuçların yorumlanmasıdır. Çalışmada ilk olarak delik delme işleminin madencilik açısından önemi ve amacından bahsedilip sınıflandırılması yapılmıştır. Daha sonra delik delme hakkında genel bilgiler verilip, buna etkiyen parametrelere ve delik delme mekaniğine değinilmiştir. Bunu takiben çalışma sahası genel olarak tanıtılmış ve yeraltı cevher üretimi hakkında bilgiler verilmiştir. Son olarak işletmede bulunan delici makinelerin farklı formasyonlardaki performans analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada, dört farklı kottaki, aynada, aynı özelliklere sahip iki farklı delici makinenin aynı tür ve boyuttaki ucu kullanılarak, formasyonlar üzerindeki performansı incelenmiştir. Bu süreçte, delik delme hızı süreleri tutulmuş ve delinen formasyonlardan alınan numunelerin basınç dayanım değerleri nokta yük deneyi ile ölçülerek gerekli hesaplamalar yapılıp, delik delinen aynalardaki formasyonun delici makina üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: delici makina performans analizi, nokta yük indeksi, delinebilirlik, üstten darbeli delgi sistemi

ABSTRACT The purpose of this study is to assess the results obtained by observing the performance of the drilling machines on the different formations at Küre Eti Bakir Bakibaba Underground mining in the production and preparatory galleries. In the study, firstly, importance and purpose of the drilling process was mentioned and classified. Then, general information about hole drilling was given, and parameters affecting drilling mechanism were mentioned. Later, the study area was generally introduced and information about underground ore production was given. Finally performance of the two different drilling machines in the operation were carried out. The performance of the two different drilling machines with the same type and size was investigated on the formations in four different levels. During the drilling process, drilling speeds of the holes were measured and strengths of the samples taken from drilled formations by measuring point load test were measured and calculated and then effects of the formation of drilled galleries on drilling machines were observed.

Keywords: performance analsis of drilling machines, point load index, drillability, top hammer drilling

1 GİRİŞ

1.1 Delme Hakkında Genel Bilgiler

Delik delme işlemi; dünya kabuğunda bulunan ekonomik değere sahip maddelerin aranması, değerlendirilmesi ve işletilmesi sırasında; enjeksiyon ve delinen zeminin sağlamlaştırmada, drenaj işlemlerinde ve baraj, tünel gibi hem maden hem de inşaat projeleri yanında, açık ocak maden işletmelerinde ve yeraltı ocak maden işlerinde uygulanan delme-patlatma işlerinin yapılmasında çok önemli bir yere sahiptir. Ekonomik olarak oldukça pahalı olan delik delme işlemi için ileri düzeyde teknik bilgiye ve teknolojiye ihtiyaç duyulmaktadır (Ergin ve diğ., 2015). Kaya yapısının delinmesi, yeteri kadar dayanıklı bir delici ucun kayaç dayanıklılığını yenmesi esasına dayanır. Delme teknikleri 3 temel başlık altında toplanmaktadır ve bunlar darbeli delik delme, döner delik delme, döner darbeli delik delmedir. Bu çalışmada döner darbeli delik delme metodunu kullanan delici makinaların performansı analiz edilmiştir.

Döner darbeli delik delme yöntemi yeraltı madenciliğinde yaygın şekilde kullanılmakta olup bu işlem sırasında matkap ile kayacın etkileşimi ile gerçekleşen kayaç parçalanma işlemi sırasıyla Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Delici makinalarda delme işlemi (Plinninger vd., 2002)

Buton ve kayaç etkileşimi ise şu şekilde olmaktadır.

Kırıklı bölge; alet ucu kaya yüzeyine girinti yapmaya başladığında artan yük arttıkça gerginlik artar ve malzeme Şekil 2' de III. bölge deforme olur. Temas yüzevinde, düzensizlikler hemen oluşur ve bir matkabın butonu veya girişi altında ezilmiş kaya oluşur. bölgesi Ezilmis bölge, kaya parçacıklarını veya çok küçük toza parcacıklardan oluşan sayısız mikro çatlak içerir. Baskı kuvvetinin % 70-85'i ezilmiş ile tüketilmektedir. oluşumu bölgenin Ezilmiş bölge, ana kuvvet bileşenini kayaya iletir.

• Çatlak oluşumu; süreç devam ederken kayada gözle görülür çatlaklar oluşmaya başlar. Bu büyümenin ilk aşaması, tam yayılım için bir enerji bariyeri olarak tanımlanmaktadır. Büyük çatlakların oluşumu, girinti biçimine bağlıdır.

• Çatlak yayılımı ; enerji bariyeri aşıldıktan sonra çatlaklar, spontane ve hızlı bir yayılım

gösterir. Şekil 2' de bölge II' de gösterilmiştir. Temas boyutundan daha düşük bir derinlikte, gerilme itici kuvvet, büyümeyi sürdürmek için gerekli olanın altına düşer ve böylece çatlak tekrar kararlı hale gelir.

• Parçalanma; yük yeterli bir seviyeye ulaştığında, kaya kırılır ve dişlerin ucundan yüzeyine doğru ilerleyen yanal çatlaklardan bir veya daha fazla büyük parçalar oluşur. Bu işleme yüzey yontma denir. Bir yonga her oluştuğunda, kuvvet geçici olarak düşer ve yongaları elde etmek için yeni, daha yüksek bir seviyede güç gerekir. Kırma ve yontma bir krater yaratır (Heiniö,1999)



Şekil 2. Delici matkapta kaya kırılması (Heiniö, 1999)

1.2 Delik Delme İşlemini Etkileyen Parametreler

Delik delme işleminde, delme hızını etkileyen faktörler detaylı olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Kayaç veya cevher kitlesinin mekanik ve fiziksel özellikleri
- Delme makinasının gücü
- Matkap ve delici çubuğun yapıldığı malzeme cinsi
- Matkabın tipi ve delik delme çeşiti
- Seçilen delik çapı ve derinliği
- Delik dibi temizleme çeşiti (hava veya su ile)
- Delme makinasına giren havanın basıncı
- Eğik veya dik delik delme
- Döner delicilerin devir sayısı
- Matkap veya tijlerin değiştirilme zamanı
- Ateşleme, kırılmalar ve beklenmeyen arızalar dolayısıyla kaybolan zaman

- Kalifiye işçilik
- Matkaba uygulanan basınç (Erkoç, 1990).

Bu çalışmada kayaçların nokta yük indeksinin delinebilirliğe olan etkisi incelenmiş olup, formasyonun delme hızına etkisi analiz edilmiştir.

2 ETİ BAKIR KÜRE İŞLETMESİNDEKİ DELİK DELME İŞLEMLERİ

2.1 İşletme Hakkında Genel Bilgiler

Eti Bakır Bakibaba Yeraltı Maden Ocağı Kastamonu Küre ilcesinde ili. bulunmaktadır. Küre bakır yatakları olarak bilinen ve başlıca pirit, kalkopiritten oluşan masif ve ağsal saçınımlı sülfid yatakları, Küre ilçe merkezinin batısında yer alır ve kuzeyden güneye doğru; Toykondu, Aşıköy, Bakibaba, Mağaradoruk ve Kızılsu olarak sıralanır. Küre yataklarındaki cevherleşme şeyl birimleriyle bazalt-siyah yakından ilişkilidir. Araştırmalar sonucu okyanus ortası sırt bazaltı olduğu belirtilen, küre bazaltlarıyla birlikte bulunan siyah şeyller de gibi, yer masif bazaltlar yer sülfid kütlelerinin taban, çoğunlukla da tavan kayacı durumundadır. Buradaki cevher bazaltların birkaçı icinde kütlelerinin bulunduğu gibi, bazıları siyah şeyllerin da bazaltların üzerinde içinde, va bulunmakta, üstten siyah seyller tarafından örtülmektedir. Masif sülfür cevherini örten siyah şeyl, cevherin inceldiği kesimlerde yer yer çok güzel boylanma gösteren ve başlıca pirit ve kalkopiritten oluşan masif cevher bantları içermektedir (YMGV, 2016).

Eti Bakır Küre İşletmesinde ara katlı göçertmeli dolgulu üretim yöntemi kullanılmaktadır. Ayna kesiti olarak 7x5 m² belirlenmiştir. Kazı işlemleri ise delme patlatma yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Susuz aynalarda patlayıcı olarak ANFO, dinamit ve trimex, sulu aynalarda ise dinamit ve trimex patlayıcı türleri kullanmaktadır. Aynaların delgi işlerinde jumbo, katlar arası delgi işlerinde Atlas Copco Simba delicileri kullanılmaktadır. Yükleme işlemi için ise yine LHD' ler, cevher ya da pasa taşıma işlemi için dayanıklı kasaya sahip kamyonlar kullanılmaktadır. Cevher toplam 5 bloğa bölünmüş olup, bloklar halinde üretim yapılmaktadır. Günde yaklaşık 3 500 - 4 000 ton cevher üretimi gerçekleştirilmektedir.

2.2 İşletmedeki Delik Delme İşlemleri

Eti Bakır Kastamounu Küre yeraltı maden ocağındaki üretim ve hazırlık işleri kapsamında iki ayrı tip delgi yapılmaktadır. Bunlar, ayna delgi işleri ve kat-arası delgi işleridir.

2.2.1 Ayna Delgi İşleri

Eti Bakır Kastamonu Küre maden ocağında iki tür aynaya delme işlemi uygulanır.

Bunlardan birincisi üretim aynası, ikincisi aynasıdır. Farklı hazırlık delik ise paternlerine sahip olan bu iki ayna türünün nasıl delineceği vardiya mühendisi ve araç tarafından operatörü paternlere sadık kalınacak sekilde tekrar düzenlenebilir. Yeraltı ocağında ayna delik delme işlerinde kullanılan Rocket Boomer 282 Jumbo Delici kullanılmaktadır. Makinanın delici aksamı, üzerinde bulanan 55 kWlık 2 adet elektrik motoru ile çalışmaktadır. Makinanın çalışma su basıncı 2 bar ile 13,5 bar arasında değişmektedir ve 13,5 bar'da tüketilen su miktarı 150 lt/dk'dır. Ayna delgilerinde iki tip matkap kullanılmaktadır. Bunlar 102 mm'lik çürütme delikleri ve 48 mm'lik normal patlatma delikleri için kullanılan matkaplardır. Bu çalışmada 48 mm'lik matkapla delinen ayna delgileri analiz edilmis olup bu tip matkapların teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Cizcige 1. 40 min markap ozenikien

Matkap Çapı (mm)	Buton Çapı(mm)	Toplam Buton Sayısı	Köşe Buton Sayısı	Merkez Buton Sayısı	Köşe Button açısı
48	10 mm	9	6	3	40

İki tip ayna delgi paterni bulunmaktadır. Bu paternler pasa aynası ve cevher aynası olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Pasa aynaları 4,7m x 4,7m kesit alanında olup, 62 adet 48 mm'lik ve 3 adet 102 mm'lik delgi yapılmaktadır. Bu delgilerin boyu 4 metredir. Cevher aynaları ise 6,7m x 4,7 m olup 69 adet 48 mm'lik delgi ve 3 adet 102 mm'lik delgiden oluşmaktadır.

2.2.2 Kat arası delgi işleri

Eti Bakır Küre işletmesinde ikinci delgi işi olan kat arası delgi türü Türkiye' de yaygın olmayan bir yöntemdir. Bu yöntemin kendine özgü zorlukları olsa da, ekonomik açıdan ve işin çabuk yapılması açısından işletmeye kolaylık sağlamaktadır. Ara katlı göçertme işleminde delik işlerinde kullanılan makine Simba ME7 C makinasıdır. Katlar arası delgide kullanılan matkap tipleri 76 mm ve 152 mm çaplıdır. Delik boyları 7 metre ile 15 metre arasında değişmektedir. Bu çalışmada kat arası delgi ile alakalı çalışma yapılmamıştır.

3 DELİCİ MAKİNA PERFORMANS ANALİZİ

Eti Bakır Küre İşletmesinde farklı kotlarda olan iki üretim aynası, iki hazırlık aynası ve bir kat arasından tutulan delme hızları ile yine aynı aynalardan patlatma işlemi sonrası alınan yaklaşık 60 adet numunenin deneysel analiz çalışması yapılmıştır.

3.1 Arazi Çalışmaları

Ayna delgilerindeki delikler 48 mm ve 102 çaplarında delinmektedir. Avnalar mm delikleri paralel orta kesme yöntemine uygun olarak delinmektedir. Delik sayıları hazırlık galerileri ve maden galerilerinde farklıdır. İşletmede yapılan çalışmalar sonucunda pasa ve cevher aynaları için ayrı ayrı delgi ve dolum düzenleri tasarlanmıştır. Pasa aynaları 5 m x 5 m boyutlarında olup cevher aynaların boyutlari ise 7 m x 5 m boyutlarındadir. Galeri kesitlerinin bu sekilde olmasının sebebi kullanılan makine ve ekipmana uygunluk, hedeflenen yıllık üretim miktarı ve kaya mekaniği ilkeleridir. Bu çalışmada aynalarda delinen deliklerin delme hızları ölçülmüştür.

350 FWR Galeri Hazırlık Kot' unda, 475 Kot' u Hazırlık Mazot Cep'inde, 490 Kot' u da ölçülen veriler kullanılmıştır. Üretim G-9 aynasında ve 510 Kot' u Üretim K-11 aynasında delik hızı ölçümleri yapılmıştır. Bu dört farklı aynada her bir delik için, m/sn

değerleri cinsinden delik delme hız ölçülmüştür. Ortalama her aynada 70+3 tane derinliği 4 metre olan delikler delinmiştir. Çalışmalar sonucu elde edilen delik hızı süreleri her ayna için Çizelge 2'de verilmiştir. Bu işlem sonrası patlatılan aynalardan 10' ar adet numune alınmıştır.

Çizelge 2. Ortalama delik delme süreleri

Çalışma aynası	Ortalama delme süresi (m/dk)
350 FWR	2,16
475	1,96
490 G-9	3,50
510 K-11	2,38

3.2 Laboratuvar Çalışmaları

Eti Bakır İşletmesi' nden delme makinasının delme hızı süresinin tutulduğu dört farklı aynadan patlatma sonrası alınan numuneler, İTÜ Maden Fakültesi Kaya Mekaniği ve Doğal Yapı Taşları Laboratuvarında, nokta yükü dayanım testi uygulanmıştır. Toplam 45 adet kesim sonrası elde edilen numune



teste tabi tutulmuştur.

deneyi, kayaçların Nokta vük dayanımlarına göre sınıflandırılmasında kullanılan nokta-yükü dayanım indeksinin tayini amacıyla yapılır. Nokta yükü dayanım indeksi, tek eksenli sıkışma ve çekilme gibi diğer davanımı dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde bazı kaya kütlesi ve sınıflama sistemlerinde kayaç malzemesinin dayanım parametresi olarak kullanılır. Hesaplanmasında kullanılan formüller denklem 1-4'te verilmiştir (ASTM, 2016).

$D_e^2 = 4WD/\pi$	(1)
$Is = P/D_e^2$	(2)
$F = (D_e/50)^{0.45}$	(3)
$Is_{50} = F. Is$	(4)
W= numune genişliği (mm)	
D= numune yüksekliği (mm)	
$I_s = Nokta y $ dayanım indeksi (MPa)	
$P = k_{1}r_{1}lma$ yükü (N)	
$D_e = E_s de ger karot çapı (mm)$	
$I_{s50} = D$ üzeltilmiş nokta yük indeksi (MPa	a)

Elde edilen ortalama I_{s50} faktöründen tek eksenli basınç dayanımına geçiş yapılmıştır. Bu geçiş için 24,5 katsayısı kullanılmıştır (Ulusay, 2011). Elde edilen ortalama basınç dayanımları Çizelge 3'de verilmiştir.

Çalışma aynası	Ortalama tek eksenli basma dayanımı (MPa)
350 FWR	32,9
475	64,9
490 G-9	15,2
510 K-11	67,3

3.3 Delici Makina Performansı

Yapılan saha çalışmasındaki iş zaman etüdü ve deneysel calişmalardan sonra delici makinanın ayna üzerindeki konuma bağlı Surfer süreleri incelenmiştir ve delgi programında ayna delgi hızı eş eğrileri Şekil 3'te verildiği üzere çıkartılmıştır. Görüldüğü üzere aynadaki yapılaşmaya bağlı olarak aynada farklı delgi hızları görülmekte ve bazı bölümlerde delgi hızları cok düşmektedir. Buna ek olarak elde edilen nokta yük indeksi ve tek eksenli basınç dayanımınının delme hızı ile olan etkileşimi incelenmistir. Buna göre değişken iki arasında üssel fonksiyon olarak denklem 5'te verilen bağıntı elde edilmiştir.

 $V_D = 7,2084.(UCS)^{-0.294}$ $R^2 = 0,7027$ (5)

 $V_D = delgi hizi (m/dk)$

UCS= nokta yük indeksinden elde edilen tek eksenli basma dayanımı (MPa)



Şekil 4. Ortalama tek eksenli basma dayanımı- delgi hızı grafiği

Elde edilen fonksiyon 48 mm çaplı, tek tij delen (4 metre) Eti Bakır Küre yeraltı işletmesinde çalışan Atlas Copco Rocket Boomer 282 için bulunmuştur.

4 SONUÇ

Bu çalışmada Eti Küre Yeraltı Bakır işletmesinde çalışan 48 mm çaplı delik delen Rockect Boomer 282 jumbo delicinin delme performansı analiz edilmiştir. 350 FWR, 475, 490 G-9, 510 K-11 aynalarında delik delen bu makinanın ortalama delgi hızları sırasıyla, 2,16 m/dk, 1,96 m/dk, 3,50 m/dk ve 2,38 m/dk olarak bulunmuştur. Ardından yine aynı çalışma aynasından elde edilen numuneler nokta yük deneyi yapılmış ve bu deney sonucunda yine sırasıyla 32,9 MPa, 64,9 MPa, 15,2 MPa, 67,3 MPa tek eksenli basma dayanımı bulunmustur. Bu çalışamaların ardından yapılan analizlerden nokta yük indeksinden elde edilen basma dayanımları ile delgi hızları arasında bir bağıntı olduğu görülmüştür. Oluşturulan üssel fonksiyondaki korelasyon katsayısı kabul edilebilir sınırlar içinde bir değer olup, delgi hızının tek eksenli basma dayanımına bağlı değiştiğini göstermektedir. Buna ek olarak aynadaki delgi sürelerine bağlı hazırlanan delgi hızı eş bölgelerinden üzere aynada bulunan lokal görüldüğü bölgeler delgi heterojen hızlarına etki etmektedir. Bu durum literatürde belirtilen delgi hızına tek bir faktörün etki etmediğini göstermektedir. Sonuç olarak operasyon maliyetlerinde önemli bir kalem tutan delgi maliyetlerinin tahmini açısından nokta yük indeksi ve tek eksenli basma dayanımı kullanılabilir bir değişken olmasıyla beraber aynadaki delgi hızlarına bakılarak homojen bir bölgelendirme ile kayacın diğer mekanik delgi fiziksel özelliklerinin ve hızı üzerindeki etkileri daha kapsamlı bir şekilde incelenebilir.

KAYNAKLAR

ASTM D5731-16, 2016. Standart Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications, ASTM.

- Ergin, H., Acaroğlu, Ö., Toker, M., Ergener, B., Akriş, D., 2015., A new method to optimize the rotary drill bit selection and operation, 8. *Delme Patlatma Sempozyumu*, 59-67s.
- Erkoç, Ö. Y., 1990, Kaya Patlatma Tekniği, Çelikler, Ankara, 164s.
- Heinö, M., 1999, *Rock Excavation Handbook*, Tamrock, Tampere, 210s.
- Plinninger, R.J., Spaun G., Thuro K., Prediction and Classification of tool wear in drill and blast tunneling, *Proceeding 9TH Int. IAEG Congress*, 2226-2236, Durban
- Ulusay, R., 2011, Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri, TMMOB, Ankara, 167s.
- Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, 2016, "Eti Bakır A.Ş. Küre Teknik Gezisi". İnternet Yayını.

Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy S16A Şaftındaki Tahkimat Analizi ve Gecikmeler

Fortifications Analysis and Delays In Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy S16A Shafts

N. Duran, H. Tunçdemir, A. Soylu, O. Esen İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

ÖZET Bu bildiride, İstanbulda inşaatı süren "Üsküdar -Ümraniye-Çekmeköy Metro İnşaatı" projesinde kazı çalışmasını incelemekte ve iş-zaman döngüleri etüd edilmektedir. Çalışmada uygulanan Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) ve boru kemer döngüsünde meydana gelen gecikmelerin nedenleri bulunup, sonucunda alınacak önlemler ve üzerinde durulması gereken konular belirlenmiştir. Söz edilen projede ilk olarak S16A şaftı etrafındaki güzergah jeolojisi belirtilmiş, S16A şaftında tünel açma ve tahkimatı için uygulanan NATM ve boru kemer metoduna değinilmiştir. Tutulan iş-zaman döngüleri sonucunda, her bir uygulama için ayrılan zaman öğrenilmiş ve gecikmelerin nedenleri ve toplam döngüde kapladığı alan hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Sonuç olarak amaç, S16A Çekmeköy şaftında meydana gelen gecikmelerin nedenlerini belirleyip, bunlardan korunmak veya bunları olabildiğince azaltmak için alınacak önlemler belirlemektir.

Anahtar Kelimeler: Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi, Boru Kemer Yöntemi, İş- Zaman Etütleri, Gecikmeler

ABSTRACT This declaration, the excavation study is carried out and the work-time cycles are studied in the "Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metro Construction" project in Istanbul. The study found the reasons for the delays in the New Austrian Tunneling Method (NATM) and the Umbrella Arch cycle applied in Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metro Construction, and the precautions to be taken and the issues to be considered are determined.

First, the route geology of Üsküdar-Umraniye-Çekmeköy metros around the S16A shafts is mentioned and the NATM and Umbrella arch method applied for tunneling and arbitration on the shaft of S16A is mentioned. It was explained how it was made on the S16A shaft. As a result of retained work-time cycles, the time allocated for each application is learned and information about the reasons for the delays and the area covered in the total cycle. As a result, our aim is to identify the causes of the delays in the S16A Çekmeköy shaft and to specify the measures to be taken to prevent them or to reduce them as much as possible. Key Words: New Austrian Tunnelling Method (NATM), Umbrella Arch Method, Time Circle, Operation Delays

1 GİRİŞ

1.1 Üsküdar- Ümraniye-Çekmeköy Metro Projesi

18.07.2016/12.08.2016 tarihleri arası Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy metrosunun S16A şaftında yapıla NATM ve boru kemer sistemlerindeki gecikmelerin nedenleri araştırılmıştır. Döngüler hakkında bilgi sahibi olunmuş, döngülerin iş-zaman etüdeleri tutulmuş ve analiz edilmiştir. Amaç, gecikmeleri bulup, onları ortadan kaldırmak için çözüm önerileri üretmek ve çalışma süresince optimum verimin alınmasını sağlamaktır.

Çizelge 1. Proje Bilgileri				
Kesit	TBM – Dairesel/NATM – At nalı			
Kazı Çapı	TBM – 6, 56 metre			
Uzunluk	2x 22 273 metre EPB – TBM/2x			
	5 282 metre NATM			
Toprak	3 857 836 m ³ Kazı			
Işleri	1 246 000 m ³ NATM Kazısı			
	300 000 m ³ Dolgu			
Beton	$600 \ 160 \ \mathrm{m^3}$			
İstasyon	16 Adet (2 adet Aç/Kapa)			
Sayısı				
Depo	1 Adet			
Sahası				
Segment	96 000 Adet			
İksa İşleri	Diyafram Duvar (m ²)			
	14 000 m ² Beton Enjeksiyonu (t) 8 700 ton			
Fore	170 000 metre			
Kazık				
Ankraj	200 000 metre			

1.2 Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metro Projesi

20.03.2012 tarihinde başlanan 20 kilometre uzunluğundaki; Üsküdar, Fistikağacı, Bağlarbaşı, Altunizade, Kısıklı, Bulgurlu, Ümraniye, Çarşı, Yamanevler, Çakmak, Ihlamurkuyu, Altınşehir, İmam Hatip Lisesi, Dudullu istasyonlarından oluşan hat. maksimum yolcu kapasitesi saatte 64 800 yolcu/saat/yön olacak şekilde tasarlanmiştır. Formasyonal farklılıklardan ötürü hem hem ile TBM de NATM yöntemi ilerlemektedir.S16 şaftı formasyonal olarak NATM ve boru kemer ile tünel acmaya uygundur.

1.3 Bölgesel Jeoloji

Üsküdar-Ümranıye-Çekmeköy metrosunun S16A şaftı etrafında yapılan sondaj verileri ışıgında; Değişken renklerde kum çakıl kil silt, kil taşı, çamurtaşı litolojilerinden oluşur. Açık kahverengi sarımsı kahverengi bej krem renkli siltli ince orta kum ve sarımsı yeşil, yer yer koyu yeşil renkli, ince CO_3 çakıllı, az siltli kil seviyeleri egemen litolojileri oluşturmaktadır. Yer yer siltli kum kumlu silt ve gevşek sıkı tutturulmuş kum seviyeleri birbirleri ile geçişli olarak gözlenmiştir. Kil seviyeleri genellikle sert kıvamlıdır. Kum seviyeleri ise orta sıkı çok sıkı aralığındadır. Çekmeköyde uyumsuz kontaklara rastlanmaktadır. S16A şaftında sultanbeyli, gözdağ ve dolay oba formasyonları görülmekte. Kayaç türünü ise: kireçtaşı, çamurtaşı, kumlu kil, kumtaşından oluşmaktadır. Sultanbeyli, gözdağ formasyonları hakimdir.

2 YENİ AVUSTURYA TÜNEL AÇMA YÖNTEMİ (NATM)

Yöntem açılan kaya ortamının kendisini taşıması prensibine dayanır. Ana ilke uygun kazı sağlamlaştırma yöntemlerini seçerek kazı sonrası oluşacak ikincil gerilme ve deformasyonları denetlemek ve kontrol altında tutmak ve yapılan tahkimatlar ile tünel çevresindeki zemine kendini taşıyan bir koruma halkası görevi kazandırmak prensibine dayanır. Zemin destekeleme ve zemin iyileştirme elemanları, zemin ilebir bütün halinda çalışır. S16A şaftında da zemin destekleme elemanları olarak; celik iksa, püskürtem beton, çift sıra hasır çelik, zemin iyileştirme elemanları olarak da; enjeksiyonlu kaya bulonları ve enjeksiyonlu zemin çivileri kullanılmaktadır.

2.1 Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metro Projesinda yapılan NATM Döngüsü

Saftta ile kazı: patlatma vöntemi yapılmamaktadır. Hidrolik kırıcılı ekskavator ile kazı yapılmaktadır. Güzergâh jeolijisi ve yerleşim yerlerine yakınlığı patlatma ile kazı yapılmasını engeller. Hidrolik kırıcılı ekskavator ile ayna 80 cm kazıldıktan sonra pasa yükleme işlemine geçiilir. Pasa yükleme işlemi yükleyiciler ile gerçekleşir; yükleyiciler pasayı şaftın içine inen 50 tonluk portal kovasına taşır ve pasa kamyonlara yüklenir, deniz dolgusunda park döküm dolgularında kullanılır. Pasa işlerinden sonra tahkimat işlerine geçilir.

Sonrasında tahkimat elemanı olarak çelik hasır tünelin yan duvarlarına monte edilir. Bu tünelde Q335/335 tipi çelik hasır kullanılmaktadır. Daha sonrasında ise Q174 kafes tipi çelik iksalar kullanılmaktadır ve bunu takiben $6m^3$ püskürtme beton atılır. Yapılan 5 iksadan sonra yine tünel yan duvarlarına 2. Kat çelik hasır konularar püskürtme beton atılır. Sonrasında ise kazı aynasının zemini körlenir yani kazı aynası çelik hasır ile kaplanır akabinde **10m³** puskurtme beton atılır. Daha sonra yapacağımız umbrella delgisi süresince aynayı sağlama almak için aynaya 14 milimetrelik 12 metre uzunluğunda 15 tane enjeksiyonlu zemin çivileri çakılır.





Bunları takiben 26 mm çapında Şekil 5.1' de gördüğümüz enjeksiyonlu kaya bulonları her iksa için 3 sağ tarafa 3 sol tarafa olmak üzere 6 tane, toplam 30 tane çakılır. Bu bittikten sonra iksa ayaklarına bir sağa bir sola olmak üzere her iksa için toplam 2 tane, 26 mm 6 metre uzunlugunda enjeksiyonlu zemın çivileri çakılır böylece çevrim biter ve boru kemer işlemine geçilir. Tutulan işzaman etüdleri ışığında söylenebilir ki; %17 ile kazı, %12 ile zemnin çivilerinin delgi/enjeksiyonu, %9 ile hem gecikmeler hem de kaya bulonları delgisi ve enjeksiyonu zaman almaktadır.

3 BORU KEMER YÖNTEMİ(BKY)

Yerleşim yerlerinde tünellerin açılmasıyla beraber, altındaki gerilme ve deformasyonların yanında bunların yer üstüne etkilerini de engellenmesi gerekmektedir. Kohezyonu düşük, olumsuz jeolojik koşullara sahip zeminlerde NATM yeterli olmamamaktadır, BKY tünel kazı aynasındaki kaya kütlelerinin düzensiz, kırıklı çatlaklı, falyanmış olduğu, düşük dayanım gösterdiği zeminlerde tünellerin inşaası için geliştrilmiş bir sistemdir.

3.1 Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metro Projesindeki BKY Döngüsü



Şekil 3.1: Boru kemer görünümü.

Aynayı; bir kat hasır çelik üzerine püskürtme beton uygulaması yaparak sonrasında da zemin çivisi çakarak kapattıktan sonra delinecek yerler topoğraf tarafından çizilir ve projeye uygun bir şekilde delinecek yerler işaretlendikten sonra delme işlemine geçilir. Fakat delinecek yerler ve delik sayısı, zeminin durumuna göre değisiklik gösterebilir. İlk tur delme işlemine başlanır ilk olarak tek sayılı delikler delinir (1, 3, 5, 7). İkinci tura geçmeden önce açılan deliklerin kapanmasını engellemek için çakma islemi gerçekleştirilir. Bunun akabinde ikinci tur delme işlemine başlanır ve cift numaralı delikler de delinerek delme işlemi son bulur (2, 4, 6, 8....). İkinci turun sonunda, birinci turda olduğu gibi şemsiye boruları çakılır. Tavan gelecek gerilmeyi tutmak amacı ile delikler baş yukarı 6-8 derecelik açılar ile delinir. Birinci turda 15, ikinci turda 15; toplam 30 adet, 130 mm çapında delinmiş deliklere, 9 metre 114 capında çelik borular yerleştirilerek bir kemer oluşturulur.

Boruların tünel ekseninden 6°-8° sapmalı olarak yerleştirilmelerinin sebebi her 4,5-5 metrede bir birbirlerinin üzerine bindirme yapacak şekilde borular yerleştirilmesine olanak sağlamaktır. Şekil 6.3, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6.'da boru kemer borularının nasıl birbirleri üzerine bindirme yaptığı görülmektedir.

Boruların montajından sonra boruların dip kısmından enjeksiyon karışımı 2-3 bar basınçla 7/5lik enjeksiyon karışımı doldurulur. Bu enjeksiyon işlemi enjeksiyon şerbeti geri dönüş hortumlarından gelinceye kadar yapılır.

Bu boru kemer işlemi boruları her 5 iksadan sonra tekrarlanmakta yani 5 metrede bir yapılmaktadır. Boru kemerin her 5 metrede bir yapılması 5 metrelik kısmının kazı üzerinde kaldığı, kalan 4 metrelik kısmın ise bindirme olarak bırakıldığı anlamına gelmektedir. Bunun sonucu kemeri olusturan boruların 5 metrelik kısmı iksalara basarken, geri kalan 4 metrelik kısım üzerine gelen gerilmeleri emniyetle taşır (Emiroğlu, 2010). Bu yöntemde iki adet temel destek elemanı bulunmaktadır; ilki zemin çivileridir, bu boru kemere baslamadan önce 15 adet uyguladığımız uzunlugunda 9 metre enjeksiyonlu zemin çivileridir, amacı boru kemer işlemi boyunca aynanın tünel icine akması engellemek, ayna yüzeyinin dağılma ihtimalini ortadan kaldırmaktır, zaten zemin çivisinden önce aynayı kapatmak; yani boru sırasında kemer yapımı aynayı stabil tutabilmek için çelik hasır üstüne uygulanan püskürtme beton uygulaması ile beraber duyarlı bir ayna oluşturulmaktadır, ikincisi ise baş yukarı açı ile uyguladığımız şemsiye borularıdır onlarda, koruyucu kemer görevi görerek zemin oturmalarını engeller. Kemer uvgulamalarının tünelde genelde mevdana gelen genel oturmaları %40-50 oranında engellediği gözlemlenmiştir.

4 ANALİZ SONUÇLARI

Gözlemlenen 3 çevrim sonucunda; en fazla zamanı, boru kemer delgisi, montajı, enjeksiyonu ve kazı işleri almaktadır. Çevrimlerdeki gecikmelerin hesaplandıktan sonra ulaşılan sonuçlar şunlardır;

Beton/mikser beklemelerinden doğan gecikmeler bir hayli fazladır, mevcut rotanın değiştrilmesi veya daha deneyimli bir mikser sürücüsü ile gecikme büyük bir oranda engellenir.



Şekil 3: Meydana gelen gecikmeler.

Kullanılan makinelerin eski ve bozuk olmasından kaynaklanan ciddi süre kayıpları iş döngüsünde bulunmaktadır.

Vardiyalardaki işçilerin deneyimsiz ya da dikkatsizliğinden kaynaklanan gecikmelerin yanı sıra kulllanılan ekipmanların eski olması ve bakım onarım ekibinin yetkin ve yeterli tamirat yapamaması, periyodik bakımların ve parça değişikliklerinin yapılmaması geçikmeleri doğuran ihtimaler arasındadır.

Bakım onarım ekibinin işinde iyi olması, deneyimli olması, arızanın kaynağını bulması, yerinde ve kısa sürede tamir etmesi çok önemlidir, arızanın doğru anlaşılamaması sonucu iş durma noktasına gelebilir.

Calısma sahasının verlesim verlerine yakınlığından dolayı, iş döngüsü devam ederken sık sık ölçümler yapılmalı ve deformasyonlar ölçülmelidir. Bir sorunla karşılaşıldığı takdirde gecikme kaygısı taşımaksızın iş süresiz bir sekilde durdurulup gerekli önlemler alınmalı, kazı sırasında farkedilen çatlaklar püskürtme beton ile doldurulmalıdır. Bunlara ek olarak. ölcümler esnasında harcanan zaman kesinlikle bir kayıp olarak görülmemelidir.

İş zaman etüdleri sonucunda anlıyoruz ki, boru kemer işleminde ayna zemininin stabilitesini sağlamak için yapılan zemin körleme işlemi de, bu işin bitişinde kazıya başladığımız zaman kazı süresini uzatmaktadır.

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi bulonlar, zemin çivilerinden daha kısa sürede delinmektedir bunun nedeni bulonların yaş delgi ile delinmesidir. Formasyon nedeni ile özellikle şaftta yapılan umbrella delgileri çok uzun sürmektedir.





5 SONUÇLAR

Üsküdar-Ümraniye Cekmeköy metro inşaatı bünyesindeki; NATM ve boru kemer tahkimat sistemleri kullanılan S16A Cekmeköv gecikmeler saftındaki incelenmistir, analizler ışığında beton beklemesinden ve kullanılan ekipmanların olmasından eski/bozuk ötürü olusan gecikmeleri ortadan kaldıracak önlemlerin alınması sonucu optimum döngü süresine ulaşılacağı görülmüştür.

Fakat istasyon boyunca kazılan diğer şaftlara nazaran, delgi sürelerinin uzun olması, S16A şaftında bulunan formasyondan ötürü olduğından bu zamanı kısaltacak bir şey yapmak mümkün gözükmemektedir.

KAYNAKLAR

- Emiroğlu, A., 2010, "İstanbul (4. Levent-Hacıosman Arası) Metro Tünelindeki Mühendislik Uygulamaları." *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, sayfa. 30-45.
- Okyay, V., 2015. "Yeni Avusturya Tünel Metodu (NATM)", Tünel Teknolojisi, sayfa. 30-34
- Süzen, E., 2009, "4.Levent Ayazağa (İstanbul)Metrosu Tünelindeki Kazı ve Sağlamlaştrma Uygulamaları" Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

Bazı Doğal Taşların Aşındırıcılıklarının İncelenmesi Investigation of the Abrasiveness of Some Natural Stones

O. Çolak, C. Erdoğan, H. Tunçdemir

İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bazı doğal taşların aşındırıcılıkların TS 10449 standardı kapsamında incelenmesine yönelik olarak, Burdur bölgesinde üretilen beş farklı mermer türü İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Kaya Mekaniği ve Doğal Taş Laboratuvarı'nda incelenmiştir. İnceleme kapsamında, aşınma direncinin tayini (Böhme), atmosfer basıncında hacimce su emme ve atmosfer basıncında kütlece su emme deneyleri ile ürünlerin bazı mekanik özellikleri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Taş, Aşınma direncinin tayini, Atmosfer basıncında hacime su emme, Atmosfer basıncında kütlece su emme

ABSTRACT In this project, five different types of marble which are produced in Burdur region, have been examined within the scope of TS 10449; Marble-Calcium carbonate based-used for building and facing standarts. Some mechanical properties of the products are determined by Böhme resistance, water absorption at atmospheric pressure (by volume and mass) tests.

Keywords: Natural stones, determination of abrasive resistance, water absorption at atmospheric pressure test

1 GİRİŞ

Ekonomik bakımından talep gören ve hem dayanıklılığı hem de estetik açıdan güzel görünümü sebebiyle inşaat sektöründen heykelciliğe, dekorasyondan süs eşyası yapımına dek çok geniş bir kullanım alanına sahip olan mermer, doğal taşlar arasında önemli bir yer tutmaktadır.

Mermer olarak tanımlanan doğal taşlar jeolojik, petrografik, mineralojik ve bir çok unsur üzerinden incelenmekte olup, mineral bileşim ve oranlarına, mineral tane boyutlarına, yapı ve dokularına, mineralojik oluşumlarına göre değerlendirilirler. Yeryüzünde bulunan diğer kayaçlar gibi mermerler de petrografik olarak;

1. Sedimanter Mermerler

2. Metamorfik Mermerler

3. Magmatik Mermerler

olmak üzere 3 ana grup altında sınıflandırılabilir (Kulaksız, 2007).

Aşınma direnci doğaltaşların sertlik değerine bağlı olarak değişkenlik gösteren bir özelliktir. Doğaltaş yüzeyinin aşınma miktarı; mekanik deney yöntemleri ile belirli boyutlardaki doğaltaş numunelerinin yüzeyinin aşındırılması ve bu süreçteki aşınma miktarının ağırlıkça hesaplanması sonucu belirlenir. Kullanım yerine göre taş türünün belirlenmesi açısından aşınma dayanımı önemli bir özelliktir. Aşınma dayanımı yüksek olan taşların döşeme kaplaması ve taşıyıcı yapı elemanı olarak kullanılması mümkündür.

Bu çalışmada Burdur yöresinden alınan doğal taşların aşınma direnci ve su emme özellikleri incelenerek, bu doğal taşların kullanım alanlarına yönelik bazı öneriler sunulmuştur.

2 BAZI DOĞAL TAŞLARIN AŞINDIRICILIK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Deneylerde kullanılan ve analiz edilen numunelerin tümü Burdur ilinde çalışma yapmakta olan işletmelerden temin edilmiş olup, bu işletmeler Rentaş Mermer A.Ş., Portsan Mermer A.Ş. ve Metin Mermer işletmeleridir. Buna bağlı olarak deneylerde kullanılan doğal taşların temin edildikleri firmalar ve deneylerdeki kısaltmaları Çizelge 1'de verilmiştir (Kıncal, 2012).

38				
Ticari İsim	Kısaltmalar	Firma	İ1	İlçe
Likya Bej	LIK	Rentaş Mermer	Burdur	Karamanlı
Crema Likya	CRL	A.Ş.	Duruur	Karamann
Traverten	TBB	Portsan		
Limra	LIM	Mermer A.Ş.	Burdur	Bucak
Burdur Bej	BRB	Metin Mermer	Burdur	Yarışlı

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan numuneler

Likya Bej, Crema Likya, Traverten, Limra ve Burdur Bej olmak üzere 5 farklı numune kullanılmış olup, bu numuneler üzerinde aşınma direncinin tayini (Böhme) deneyi, hacimce su emme deneyi ve kütlece su emme deneyi gerçekleştirilerek numuneler analiz edilmiştir.

2.1 Aşınma Direncinin Tayini Deneyi (Böhme)

Deneyin temel prensibi, küpe yakın numuneler belli bir yükün altında, aşındırıcı malzemeye maruz bırakarak numuneteki hacim kaybını tespit etmektir.

Şekil 1' de gösterilen Böhme deney düzeneği, başlıca; aşındırıcıyı alan bir deney hattına sahip bir döner disk, bir numune tutucu ve bir yükleme tertibatından oluşur. Döner disk yaklaşık 750 mm çapındadır ve yataydır. Diskin hızı 30 (\pm 1) devir/dakika olmalıdır. Disk, bir devir sayacı ve belli devirden sonra düzeneği durduracak bir ekipman içermektedir. Deney hattı, TS EN 14157:2005 standartında belirtilen özelliklere sahiptir (TSE, 2005).



Şekil 1. Böhme deney düzeneği

Deneye tabii tutulacak numuneler önce arsimed terazisi ile özkütleleri tavin edilmiştir. Arşimed terazisi uygulamasından sonra, numuneler tekrardan etüve konularak sabit kütleye ulaşana kadar kurutulmuştur ve arşimed terazisinden önceki deney kütleleri ağırlığı ile arşimed terazisinden sonraki deney kütleleri ağırlığının aynı olduğu kontrol edilmiştir. Bu işlemlerin ardından 30 devir/dakika hiza sahip olan Böhme deney düzeneğine yerleştirilen numuneler, 0,01 gram'lık hassasiyete sahip terazi yardımı ile ölçülen 20 gr'lık korindon ile ön taşlama işlemine tabii tutulmuştur. Ön taşlama isleminde, numune 22 devirlik bir sürtünmeye maruz bırakılmış ve döner tabla temizlendikten sonra numune düşey eksen etrafında 90⁰ döndürülerek tekrardan 20 gr'lık korindon ile 22 devir aşındırılmıştır. Bu dönüşler saat yönünün tersi baz alınarak yapılmıştır. Bu işlem numune başlangıç noktasına gelene kadar devam etmiştir (4 kere 90 derece çevirilerek yapılan işlem). Ön taşlama işleminden sonra ise numuneler herbiri 22 devirden oluşan 4 döngü ile deneye tabi tutulmuştur. Ön taşlama ve her 4 döngü numune 0,01 sonrası gramlık hassasiyete sahip cihazda tartılmış kütleler kaydedilmiştir. Deneyin ardından denklem 1 ve 2'ye göre aşınma sonucu oluşan kayıplar hesaplanmıştır.

$$\mathbf{G}_{(n)} = \mathbf{G}_{(o)} - \mathbf{G}_{(a)} \tag{1}$$

G_{(n}): Deney sonunda aşınan kütle (gr) G_(o): Deney öncesi kuru kütle (gr) G_(a): Deney sonunda kütle (gr)

$$V_{(a)} = G_{(n)}/d_{(h)}$$
 (2)

V_(a): Deney sonunda aşınan hacim (mm³), d_(h): deney numunelerinin özkütlesi (gr/mm³)

2.2 Hacimce Su Emme ve Kütlece Su Emme Deneyi

Hacimce su emme deneyi kapsamında, numuneler öncelikle TS 699 standartlarına uygun olarak 24 saat boyunca suda bekletilmiştir.

24 saatin dolmasının ardından, numuneler sudan alınarak kuru bir bez ile kurulanmıştır. Kurulama işlemini takiben, 0,01 gr hassasiyetle ölçüm yapabilen terazide tartılan numunelerin suya doygun havadaki ağırlığı G_(dh) tespit edilmiştir. Daha sonra numuneler Arşimet terazisinden faydalanılarak suya daldırılmış ve suya doygun numunelerin sudaki ağırlığı $G_{(ds)}$ tespit edilmiştir.

Numuneler, suya doygun ağırlıklarının tespitinden sonra etüvde 75 C° sıcaklıkta 48 saat bekletilmiştir. Sürenin dolmasının ardından etüvden alınan numuneler, 0.01 gr hassasiyetle ölçüm yapabilen terazide tartılarak, numunelerin değişmez kütleye kadar kurutulmuş ağırlıkları " $G_{(k)}$ " tespit edilmiştir.

Tüm numunelerin suya doygun havadaki ağırlığı " $G_{(dh)}$ ", suya doygun numenin sudaki ağırlığı " $G_{(ds)}$ " ve değişmez kütleye kadar kurutulmuş ağırlık " $G_{(k)}$ " değerlerinin tespitinin ardından, denklem 3 üzerinden numunelerin atmosfer basıncında hacimce su emme oranları "S_h" tespit edilmiştir (Referans?).

$$S_{h} = (G_{(dh)} - G_{(k)}) / (G_{(dh)} - G_{(ds)}) \times 100$$
(3)

G_(dh): Suya doygun havadaki ağırlığı (gr),

G_(ds): Suya doygun numunenin sudaki ağırlığı (gr),

G_(k): Değişmez kütleye kadar kurutulmuş Ağırlık (gr),

 $S_{(h)}$: Atmosfer basincinda hacimce su emme orani (%)

Kütlece su emme deneyi kapsamında, ilk aşamada numuneler yine TS 699 standartlarına uygun olarak 24 saat boyunca suda bekletilmiştir.

Numuneler 24 saatin tamamlanmasını takiben sudan alınarak kuru bir bez ile kurulanmıştır. Kurulama işlemini ardından, 0.01 hassasiyetle ölçüm yapabilen gr terazide tartılan numunelerin suya doygun havadaki ağırlığı "G_(d)" tespit edilmiştir. Numuneler, suya doygun ağırlıklarının tespitinden sonra etüvde 75 C° sıcaklıkta 48 bekletilmiştir. Sürenin dolmasının saat ardından etüvden alınan numuneler, 0,01 gr hassasivetle ölçüm yapabilen terazide tartılarak, numunelerin değişmez kütleye kadar kurutulmuş ağırlıkları " $G_{(k)}$ " tespit edilmiştir.

Tüm numunelerin suya doygun havadaki ağırlığı " $G_{(d)}$ " ve değişmez kütleye kadar kurutulmuş ağırlık " $G_{(k)}$ " değerlerinin tespitinin ardından, denklem 4 üzerinden numunelerin atmosfer basıncında kütlece su emme oranları " $S_{(k)}$ " tespit edilmiştir(Referans?).

$$S_{(k)} = (G_{(d)} - G_{(k)})/(G_{(k)}) \times 100$$
(4)

G_(d): Numunenin suya doygun havadaki Ağırlığı (gr),

 $G_{(k)}$: Değişmez kütleye kadar kurutulmuş ağırlık (gr),

 $S_{(k)}$: Atmosfer basıncında kütlece su emme oranı (%)

3 DENEY SONUÇLARI

3.1 Aşınma Direnci Tayini Deneyi (Böhme) Sonuçları

Toplamda 27 numune üzerinde gerçekleştirilen ve yaklaşık olarak 40 saat 30 dakika aktif çalışma sonrası elde edilen veriler sonucu, 5 farklı mermer için ayrı ayrı hesaplanan aşınma direnci değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Aşınma direnci tayini deneyi (Böhme) sonuçları

	AKD _{EB}	AKD _{ED}	AKDOD	
Mermer	V _(a) (mm ³)	V _(a) (mm ³)	V _(a) (mm ³)	SSD:
TBB	46360	34990	39240	4290
CRL	21750	19000	20310	1230
BRB	22330	19080	20110	1500
LIK	19880	18530	19240	490

AKD_{EB}: En yüksek aşınma kaybı değeri AKD_{ED}: En düşük aşınma kaybı değeri AKD_{OD}: Ortalama aşınma kaybı değeri SSD: Standart sapma

3.2 Hacimce Su Emme ve Kütlece Su Emme Deney Sonuçları

Toplamda 32 numune üzerinden gerçekleştirilen, 72 saati suda ve etüvde bekleme ve yaklaşık olarak 3 saati tartım ve hesaplama işlemlerinde olmak üzere toplam 75 saatlik çalışma sonrası elde edilen veriler sonucu hacimce su emme ve kütlece su emme kapasiteleri hesaplan 5 farklı mermer numune değerleri Çizelge 3-4'te verilmiştir.

Çizelge 3. Hacimce su emme deneyi sonuçları

	HSE_{EB} (%)	HSE _{ED} (%)	HSEOD (%)	SSD
LIM	12,18%	8,67%	10,26%	0,01082
TBB	2,21%	1,28%	1,79%	0,00338
CRL	6,28%	5,15%	5,96%	0,00379
BRB	12,84%	5,63%	7,82%	0,03385
LIK	6,33%	5,84%	6,15%	0,00204

HSE_{EB}: En yüksek hacimce su emme değeri

HSE_{ED}: En düşük hacimce su emme değeri

HSEOD: Ortalama hacimce su emme değeri

SSD: Standart sapma

Çizelge 4. Kütlece su emme deneyi sonuçları

	KSE _{EB} (%)	KSE _{ED} (%)	KSEOD (%)	SSD
LIM	6,26%	4,49%	5,18%	0,00578
TBB	1,40%	0,81%	1,12%	0,00198
CRL	3,14%	2,53%	2,81%	0,00256
BRB	6,19%	2,63%	3,76%	0,01649
LIK	3,12%	2,66%	2,93%	0,00195

KSE_{EB}: En yüksek kütlece su emme değeri

KSE_{ED}: En düşük kütlece su emme değeri

KSE_{OD}: Ortalama kütlece su emme değeri

SSD: Standart sapma

4 SONUÇLAR

TS 10449 kapsamında, merdiven basamağı, döşeme kaplaması ve yer döşemesi olarak kullanılması planlanan mermerlerin sürtünme ile aşınma kaybı değerinin 15 cm3/50cm2 olması beklenmektedir (TSE, 2004).

Çizelge 1 incelendiğinde, analiz edilen tüm mermer türlerinin bu seviyenin üzerinde olduğu tespit edilmektedir. Numunelerin kendi içinde kıyaslanması sonucu ise 19240 mm³ değeri ile Rentaş Mermer A.Ş.'den temin edilen Crema Likya ürününün merdiven basamağı, döşeme kaplaması ve yer döşemesi olarak kullanılmaya en uygun ürün olduğu görülmektedir.

Söz konusu standartlar kapsamında ayrıca bahsi geçtiği üzere, dış cephe kaplaması olarak değerlendirilecek mermerlerin atmosfer basıncında su emme değerlerinin %0,4 değerinden düşük olması beklenmektedir(TSE, 2004).

Çizelge 2 ve Çizelge 3 incelendiğinde, analiz edilen tüm mermer türlerinin bu seviyenin üzerinde olduğu ve dış cephe kaplaması olarak kullanıma uygun olmadığı tespit edilmiştir.

Šonuç olarak, diğer maden türleri gibi doğal taşların da kullanım alanlarına bağlı olarak deneylere tabi tutulması ve incelenmesi, bu yolla da kullanıma uygun olup olmadığının mutlaka tayin edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Binbal, A., Gökçeoğlı, C., Ulusay, R. 2005. *Kaya Mekaniği: Laboratuvar Deneyleri*, TMMOB, Ankara, 183 s.
- Kıncal, A, 2012. Burdur Yöresinde Mermerlerin Bazı Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Kullanım Alanlarının Analizi(Bitirme Tezi), Istanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 75s.
- Kulaksız, S, (ed.), 2007. Doğal Taş Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri, TMMOB, Ankara,633s.
- TS 10449/T1. 2004. Mermer-Kalsiyum Karbonat Esaslı-Yapı ve Kaplama Taşı olarak Kullanılan Tadil 1 Türk Standartları Enstitüsü
- TS EN 14157. 2005. Doğal Taş Aşınma Direnci Tayini Türk Standartları Enstitüsü.

Evaluation of Drilling & Blasting Operations in Tinaz Colliery İşkaya İnşaat A.Ş. Worksite

Tınaz Kömür Ocağı İşkaya İnşaat A.Ş. Şantiyesinde Delme ve Patlatma İşlerinin Değerlendirilmesi

O. Yüksel (Istanbul Technical University, Faculty of Mines, Mining Engineering Department, İstanbul)

T. Hüdaverdi (Istanbul Technical University, Faculty of Mines, Mining Engineering Department, İstanbul)

Ö. Akyıldız (Istanbul Technical University, Faculty of Mines, Mining Engineering Department, İstanbul)

ABSTRACT In this study, firstly, the general information about İşkaya İnşaat A.Ş was given. Geological structure of the studied site was explained. The characteristics of the drilling machine operated in the colliery are explained. The total drilling duration of the machine and specific durations for each operational step were measured. The drilling cost was calculated. The specifications of the Anfo, emulsion explosives and detonators were investigated. Explosive charge per hole, blast design parameters and specific charge were calculated. The measured parameters were compared to Olofsson's theoretical calculations. The initiation patterns of the blasts were measured. Scaled muckpile images were analyzed using a special image analysis software. Particle size distribution of muckpile was determined. The blasting cost was calculated. Total drilling and blasting cost per hole was determined. Keywords: Drilling, blasting, fragmentation.

ÖZET Bu çalışmada, öncelikle İşkaya İnşaat firması hakkında genel bilgiler verilmiştir. Çalışma sahasının jeolojik yapısı incelenmiştir. Açık ocakta çalışan delici makinanın özellikleri açıklanmıştır. Delici makinenin toplam çalışma süresi ve delme süresi hakkında iş-zaman etüdleri yapılmıştır. Delme maliyeti hesaplanmıştır. Patlatmada kullanılan ANFO, emülsiyon patlayıcılar ve ateşleme sistemi hakkında bilgiler verilmiştir. Delik başına düşen patlayıcı miktarları, spesifik şarj oranı hesaplanmıştır. Uygulanan patlatma tasarımı, Olofsson'un teorik tasarımı ile karşılaştırılmıştır. Atımların ateşleme düzeni incelenmiştir. Yığından alınan ölçekli fotoğraflar özel bir görüntü işleme yazılımıyla analiz edilmiş ve yığının parça boyut dağılımı tespit edilmiştir. Patlatma maliyet hesaplamaları yapılmıştır. Delik başına düşen toplam delme ve patlatma maliyeti bulunmuştur. Anahtar Kelimeler: Delme, patlatma, parçalanma.

1 INTRODUCTION

Drilling-blasting is the first phase of mining operations. It affects all the downstream process. In this study, the drilling and blasting operations in the Tinaz colliery, which was founded in 1989, were examined. Tinaz colliery is located in Tinaz village, Muğla. It is 16 km away from the center of Muğla and 25 km away from Yatağan. Coordinates of colliery is latitude: 37.237025, longitude: 28.182871. Figure 1 shows the location of the colliery by satellite image.

The stratigraphy of the region is basalts of paleozoic age and crystallized limestones of mesozoic age. Neogenic sediments are observed on these units.



Figure 1: Location of the colliery by satellite image.

Neogenic sediments can be divided into two groups: pre-neogene and neogene formations. Observed pre-neogene formations are metamorhphic schists and crystallized limestones. Neogene formations are Turgut formation, Sekköy formations and Yatağan formation.

In this paper, firstly, explosive products and initiation system were explained. Blast design parameters were examined. Efficiency of the drilling operations and drilling performance measurements were presented. The measured blast design parameters were compared to Olofsson's blast design. Additionally, particle size distribution of muckpile was examined.

2 DRILLING OPERATIONS

In Tinaz colliery, Atlas Copco Flexiroc D60 is used for drilling operations. Bit diameter is 178 mm. Drilling capacity of the machine is 55 meters.

Efficiency of the drilling operations and drilling performance were measured for four different blasts. The performance measurements of Blast 1 are presented in Table 1. According to Table 1, the average rod drilling duration is 4.60 minutes. Average rod adding duration is 23.6 seconds. Average drilling time of a single hole is 11.32 minutes for Blast 1. Average drilling time is 11.13 minutes for single a blasthole.

Table 1: Drilling performance measurement for Blast 1

Number of the Blasthole	1st Rod Drilling Duration (sec)	Rod Adding Duration (sec)	2nd Rod Drilling Duration (sec)	Removing Duration (sec)	Switching Operations (sec)	Total Duration (sec)
1	230	15	242	50	60	597
2	284	16	273	40	40	653
3	263	24	280	41	56	664
4	291	27	293	42	70	723
5	225	20	307	48	72	672
6	258	22	255	46	65	646
7	270	27	285	43	40	665
8	222	25	293	47	47	634
9	271	20	295	45	60	691
10	277	21	282	54	56	690
11	264	26	287	45	75	697
12	320	24	285	47	47	723
13	283	29	297	49	52	710
14	288	27	302	54	64	735
15	259	31	294	43	67	694
Average	267	23.6	284.66	46.26	58.06	679.60

3 BLASTING OPERATIONS

3.1 Explosive Properties

Yavex 6500 is a water-resistant explosive produced by mixing ANFO and emulsion. Its gentle and water resistant structure provides economically excellent performance in wet holes. The emulsion explosive is suitable for hard rock conditions for any hole diameter.

Table 2: The properties of explosives [2]

1			1		
Thermodynamic	Unit	Yavex	Yavex	Yavex	
Properties	Unit	Anfo	Emulsion	Gold 100	
Ideal					
Detonation	m/s	4796	4500-	5200-	
Velocity			5000	5700	
VOD at 125		2500			
mm cartridge as	Kj/kg	3300- 4000			
Unconfined		4000			
Ideal					
Detonation	GPa	4.87			
Pressure					
Ideal					
Detonation	Κ	3049	2396	2515	
Temperature					
Donsity	a/am ³	0.78-	1 25 1 26	1.20	
Density	g/cm	0.80	1.23-1.20		
Water			F 11 (Excellent	
Resistance		None	Excellent		

Bulk emulsion explosives are initiated by dynamite equivalent cap-sensitive explosives. Emulsion explosives have many advantages such as water resistance, no crystallization, usage with dry ANFO and reliability [1].

3.2. Blast design in the Colliery

The design and initiation pattern of the measured Blast 2 are presented in Figure 2.



Figure 2: Initiation pattern of Blast 2.

For this blast, total blast duration is 150 ms. Twenty-four blast holes were initiated using electric detonators. The delay between the rows is 50 ms. Total weight of Anfo 2000 kg. Total weight of Yavex 6500 emulsion is 400 kg. One cartridge Yavex Gold 100 is used as primer explosive.

All blast design parameters were investigated in the colliery. In Table 3, measured blast design parameters were compared to Olofsson's blast design [3].

Table	3: C	Comparis	on	of	the	calculated	and
actual	blast	t design	para	ame	eters	•	

Blast Parameters	Olofsson's	Actual	
	Approach	Values	
Subdrilling (U)	1.73 m	2 m	
Depth of Blast Hole (H)	9.73 m	10 m	
Practical Burden (B)	5.29 m	6 m	
Practical Spacing (S)	6.61 m	7 m	
Stemming (h ₀)	5.3 m	5 m	
Charge Weight (Q _T)	88.15 kg	100 kg	
Charge Height (h _b)	4.43 m	5 m	
Specific Charge (q)	0.33 kg/m ³	0.30 kg/m^3	
Specific Drilling (b)	0.036 m/m^3	0.030 m/m^3	

3.3. Fragmentation Analysis

The first phase of fragmentation analysis is determination of sampling locations of muck pile [4]. Two plates were placed on muckpile as scale. Then, images were analyzed by WipFrag software.



Figure 3: A scaled image from Blast 1.



Figure 4: Measurement of particle size by WipFrag software.

WipFrag software counted 1539 particles [4]. Mean particle size (d50) is 19.79 cm. Uniformity index (n), which gives slope of the curve, is 1.413 (Figure 3.33). 90% of the particles is under 44.31 cm. Characteristic size (Xc) is 26.19 cm (Figure 5).


Figure 5: Size distribution curve for Blast 1.

4 CONCLUSION

Drilling and blasting operations in the Tinaz colliery have been examined in detail. Performance of drilling machines was measured for four blasts. Average drilling time is measured as 11.13 minutes for a single blasthole. Total drilling cost per hole is 54.70 TL. In the colliery, average hole number in a blast is 30. Delay between rows is 50 milliseconds. Theoretical blasting were calculated using parameters the Olofsson's blast design approach. Measured and calculated burden is 6 meters and 5.3 meters, respectively. Measured spacing is 7 meters. Measured stemming height is 5 The blast design applied in Tınaz meters. colliery is appropriate in terms of theoretical consideration. Total blasting cost per hole is 215.67 TL. Total drilling and blasting cost per hole is calculated as 270.37 TL.

Emulsion explosives increase the blasting performance in wet holes although they are expensive. According to visual inspection of muckpile, there was no any excessive boulder problem. Image analysis technique to determine particle used size was distribution of a muckpile. Mean fragment size is measured as 18.44 cm. Mean uniformity index is 1.446. Colliery is far from settlements: therefore electrical initiation system is used due to its cost advantage. During investigation, it was not

observed any excessive ground vibration or air blast. In the future, new researches may be conducted to investigate applicability of non-electric initiation system. Nonel system will also increase fragmentation efficiency.

5 REFERENCES

[1] Jimeno, C. L., Jimeno, E. L., Carcedo, F.J. A., 1995. *Drilling and Blasting of Rocks*.A.A. Balkema: Rotterdam, Brookfield.

[2] Olofsson, S.O., 1990. Applied explosives technology for construction and mining. Second Edition, Applex Publications, Arla, Sweden, 315 pages.

[3] http://yavexpatlayici.com/yavex-anfo/

Taken Date: 15.04.2017.

[4] Hüdaverdi, T., Akyıldız, Ö., 2016. "Application of the Blast Fragmentation Models in a Sandstone Quarry", 42nd Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, ISEE, Las Vegas, Nevada, USA.

[5] WipFrag 2.6, Manual. 2007. *Wipware Inc.* Ontario. Canada.

Dudullu Bostancı Metro Tünelinde Çalışan Pasa Basınçlı Tünel Açma Makinesinin (EPB/TBM) Performans Analizi

Performance Analysis of Earth Pressure Balance Machine (EPB/TBM) used in Dudullu Bostancı Metro Tunnel

Ö. Comba, M. Seyedrezaei, D. Tumaç* İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Gelişmekte olan ülkelerde, şehirleşmenin ve nüfus yoğunluğunun giderek arttığı ve buna bağlı olarak da alt yapı gereksiniminin son derece önem kazandığı bilinmektedir. İstanbul'un trafik sorununu gidermesi amacıyla "Dudullu – Bostancı Metro Projesi" inşa edilmektedir. Tünelin hızlı kazı, uzun tünellerde düşük maliyet gibi avantajları dolayısıyla TBM ile açılmasına karar verilmiştir. Bu çalışmada Dudullu-Bostancı 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 makinesinin (TBM) tanıtımı sunulmuş ve TBM kayıtları (itme kuvveti, tork, kesici kafa dönme hızı, ilerleme hızı vb.) analiz edilerek performans analizi yapılmıştır.

ABSTRACT It has been known that the need of infrastructure has critically became important in developing countries where urbanization and population are increasing day by day. "Dudullu - Bostanci Subway Project" is being constructed in order to get Istanbul traffic problem. Due to the advantages such as fast advance rates and low costs, it has been decided to excavate tunnel with TBM. In this study, project general information, tunnel route geology, tunnelling methods and technical proporties of earth pressure balance tunnel boring machine (EPB-TBM) which are working by Dudullu-Bostancı Metro Line Project are presented and, TBM records (thrust, tork, rotatitonal speed of cutterhead, progress rate, alarms etc.) are analyzed.

Anahtar Kelimeler: EPB-TBM, Performans analizi, Kesme kuvvetleri.

1 GİRİŞ

Günümüzde insanların yaşam biçimlerini 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 (Gümüş, 2014). Türkiye hızlı gelişim gösteren bir ülkedir. Özellikle ilk sırada İstanbul gelmek üzere nüfus yoğunluğu sürekli artmakta olan bölgelerde, buna mahsus olarak şehirlerdeki

trafik yükünün azaltılmasında ve buna bağlı olarak trafikte tüketilen vaktin azaltılmasında da yeraltı yapılarından faydalanılmaktadır. Bu konudaki ilk gelişim 1875 yılında hizmete açılan 573 metrelik Karaköy-Beyoğlu tüneli olmuştur. Bu tarihi tünel, Türkiye'nin ilk, Dünyanın ise inşa edilen en eski 2. yeraltı toplu taşıma sistemidir.

Teknolojinin gün geçtikçe gelişmesi nedeniyle madencilik ve inşaat sektörleri de bu gelişimden etkilenmiştir. Mekanizasyon alanındaki ilerlemeler mühendislerin yeraltı yapılarından daha fazla yararlanabilmelerini sağlamıştır. Bu yeraltı yapılarından faydalanabilmeyi sağlarken, mümkün olabildiğince çevreye ve insanlara en az zarar ve etki gösteren çalışmalara özen gösterilmektedir. Bunun içinde, teknolojiyle birlikte büyük bir ilerleme kat edilen mekanize kazı sistemleri tercih edilmektedir.

Mekanize kazı sistemleri; tünel projelerinin daha güvenli, hızlı ve ekonomik olmasında büyük bir etkendir. Devlet ihaleler tarafından aracılığıyla firmalara verilen bu projelerin; en kısa sürede bitirilmesinin istenmesi, mekanize kazı sistemlerinin daha ön plana çıkmasını sağlamaktadır. Özellikle son yıllarda diğer yöntemlerine kazı göre tünel açma makinelerinin (TBM) bu sektörde daha fazla kullanıldığı görülmektedir. Bu artışın sebeplerinden en önemlisi ise, tünel açma makinelerinin (TBM) diğer yöntemlere göre daha avantajlı, ekonomik ve daha güvenli bir kazı yöntemi olmasıdır (Bilgin ve diğ. 2014).

Bu çalışmanın amacı, tünel kazısı yapan EPB-TBM'in veri kayıt sisteminden elde edilen 200 ring verisinin detaylı analizini yaparak bir veri tabanı elde etmektir. Bu elde edilen verileri penetrasyona bağlı olarak makine performans büyüklükleri ile kıyaslayarak değişimi istatistiksel olarak açıklamaktır.

2 KAZI MAKİNESİNİN PERFORMANSINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Genel olarak kazı makinelerinin performansını etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörleri 3 ana başlıkta incelenebilir. Bunlar; jeolojik ve jeoteknik faktörler, makine ile ilgili faktörler, teknik ve işletme faktörleridir (Tumaç, 2010).

Jeoteknik ve jeolojik faktörler kazı alanıyla ilgili olarak aşağıda verilen parametreler doğrultusunda incelenebilir:

- Kayaç tipleri ve aşındırıcılık
- Kayaç dayanım ve elastisite özellikleri
- Çatlaklar ve durumları
- Porozite ve kırılganlık
- Örtü tabakası kalınlığı ve arazi basınçları
- Arazinin kendini tutabilme süresi/stabilite
- Su geliri
- Zemin-kaya geçişleri ve karışık zemin

Makine ile ilgili faktörler kazı alanına ait aşağıda verilen parametreler doğrultusunda incelenebilir:

• Keski tipi, baskı kapasitesi, keskiler arası mesafe

- Kesici kafa stabilitesi ve sağlamlığı
- Kesici kafa dönüş hızı
- Pasa nakliye sistemi tipi ve kapasitesi
- Ana yatak ve keçeleri
- Kesici kafa tahrik sistemi ve tork ihtiyacı
- Hidrolik sistem gereksinimleri
- Elektrik sistem gereksinimleri
- Baskı ve tork reaksiyon sistemi
- Köpük enjeksiyon sistemi

Teknik ve işletme ile ilgili faktörler kazı alanına ait aşağıda verilen parametreler doğrultusunda incelenebilir:

- Güzergah
- Sürüş yönündeki eğilimler
- Tahkimat tipi
- Tünel toleransları
- Arazi basınç sınır değerleri
- Sondaj ve enjeksiyon olanakları
- Montaj ve başlangıç galerisi ihtiyaçları
- İş bitim süresi
- Güç temini

3 PROJENÍN TANITIMI

Dudullu-Bostancı Metrosu İnşaat ve İşleri, Elektromekanik Yeraltı Aktarma Merkezleri (Otoparklar) Projesi İstanbul'da devam eden tünel inşası projelerinden biri olup şehir merkezi ile ilçeler arasında önemli bir bağlantı içerir. Dudullu-Bostancı Metro Projesi 29 Eylül 2015 tarihinde ihale edilen Büyükşehir ve İstanbul Belediyesi Başkanlığı'nda kapalı zarf usulü ile gerçekleştirdiği ihaleye, tekli ve konsorsiyum olarak toplam 9 şirket ve grup katılmıştır. İhalede en düşük teklifi 558 800 000 Euro ile Şenbay Madencilik, Kolin İnşaat ve Kalyon İnşaat'ın oluşturduğu konsorsiyuma vermiştir.

Genel olarak Dudullu-Bostancı istasyonları arası TBM'ler ile açılacaktır. Peron tünelleri ise NATM yöntemiyle açılacak ve TBM tünelleri ile birleştirilecektir. Metro Projesinin uzunluğu 14 km olup hat üzerinde ana hat tünelleri, delme ve aç-kapa tipinde toplam 13 adet istasyon bulunmaktadır. 4 adet EPB-TBM Kayışdağı istasyonundan 2 tanesi Dudullu, 2 tanesi ise Bostancı yönünde olmak üzere ana hatlardaki kazılarda kullanılmaktadır ve bu istasyonlar birbirlerine bağlanacaktır. Dudullu-Bostancı Metro Projesi tek yönde saatte 70 000 kişi taşıma kapasitesinde olacaktır.

2019 yılında tamamlanması planlanan Dudullu-Bostancı Metro Projesi, 90 saniyede bir sefer yapacak ve yolculuk süresi yaklaşık 21 dakika olacak. Hattın tamamlanmasıyla birlikte; Modoko'dan Eminönü'ne 28 dakikada, İçerenköy'den 35 Taksim'e Kayışdağı'ndan Kadıköy'e 19 dakikada, dakikada ve Parseller Mahallesi'nden Bostancı'ya da 21 dakikada kesintisiz ulaşım sağlanacaktır.

Proje kapsamındaki 13 adet istasyon ise sırasıyla; Bostancı İstasyonu, Emin Ali Paşa İstasyonu, Ayşekadın İstasyonu, Kozvatağı Küçükbakkalköy İstasyonu, İstasyonu, İçerenköy İstasyonu, Kayışdağı İstasyonu, Türkiş Blokları İstasyonu, İMES İstasyonu, İstasyonu, Modoko Dudullu İstasyonu, Depo Yukarı Dudullu İstasyonu ve İstasyonudur.

4 PROJEDE KULLANILAN TÜNEL AÇMA MAKİNESİNİN TANITIMI

Dudullu-Bostancı Metrosu İnsaat ve Elektromekanik İşleri, Yeraltı Aktarma Merkezleri (Otoparklar) Projesi için kazı kullanılan aşamasında 4 adet TBM bulunmaktadır. Bu projede kullanılan tünel açma makine tipleri EPB'dir. Bu tez kapsamında incelenecek olan TBM ise Herrenknecht markadır. Proje kapsamında peron ve makas tünelleri hariç istasyonları birbirine bağlayan tüneller TBM ile kazılmakta ve segmentlerden oluşan ringler edilerek monte kaplama islemi tamamlanacaktır. İstasyonlar arası bağlantı tünelleri kazılıp TBM peronlara eriştiğinde, TBM peron sonuna kadar kaydırılıp kazıya tekrar devam etmektedir.

5 TBM KAZI PERFORMANS ANALİZİ

Kazı esnasında bilgisayar tarafından TBM'in her ayrı bölümünde çeşitli ölçümler kayıt altına alınmaktadır. Proje kapsamında ilk 200 ring için tutulan kayıtlardan alınan veriler ilerleyen alt başlıklarda titizlikle analiz edilmiştir.

TBM işletim parametrelerinin analizinde ilk olarak 1 metreküplük kazı için harcanan enerji miktarını belirten spesifik enerji (SE) değerleri hesaplanmıştır. Proje kapsamında ilk 200 ringdeki ilerlemeler arasında TBM'in harcadığı güç, anlık kazı miktarı ve spesifik enerjinin hesaplanmıştır.

Kesici kafanın her bir tur dönüşünde elde edilen ilerleme miktarı (mm) ile spesifik enerji arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Her bir penetrasyon değerine karşılık gelen spesifik enerji değerlerinin ortalaması alınmıştır. Her bir penetrasyon değeri için elde edilen spesifik enerji değerlerin grafiği Şekil 1'de verilmiştir. Tünel Açma Makinası (TBM) kayıtları incelenerek, tork ve penetrasyon arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır (Şekil 2). Analizde ilk 200 ring arasında her bir penetrasyon değerine karşılık gelen tork değerleri gösterilmiştir.



Şekil 1. Spesifik enerjinin penetrasyona bağlı değişimi.



Şekil 2. Torkun penetrasyona bağlı değişimi.

Proje kapsamında, ilk 200 ring arasındaki TBM kayıtlarında penetrasyon ve itme kuvveti (thrust) arasındaki ilişki incelenmiştir. Her bir penetrasyona karşılık gelen itme kuvveti değerleri belirlenerek Şekil 3'te gösterilmiştir. Üst üste geldiği gözlenen verilerde düzeltmeye gidilmiştir. Aynı penetrasyon değerindeki veriler için ortalamalar alınmıştır.



Şekil 3. İtme kuvvetinin penetrasyona bağlı değişimi.

Tünel Açma Makinası (TBM) kayıtları incelenerek, bir diske tekabül eden normal (FN) ve yuvarlanma (FR) kuvvetlerinin değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen kuvvet değerleri ile penetrasyon arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Elde edilen grafikler Şekil 4 ve 5'te verilmiştir.



Şekil 4. Bir diske tekabül eden normal kuvvetlerin (FN) penetrasyona bağlı değişimi.



Şekil 5. Bir diske tekabül eden yuvarlanma kuvvetlerin (FR) penetrasyona bağlı değişimi.

6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Büyük şehirlerde kesintisiz toplu ulaşım vazgeçilmez hale gelmiştir. Trafik, hava koşulları gibi olaylardan etkilenmeyen, geniş yolcu kapasitesi, çevre dostu olması ve kesintisizliğiyle metro ulaşımı ise global ölçekte tüm büyük metropollerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye, gelimis dünya ülkeleri ile kıyaslandığında metro ulaşımı açısından bir adım geride görülmektedir. Son yıllarda büyük şehirlerde, özellikle de İstanbul'da, yürütülen ve planlanan projelerle metro ağları gittikçe daha da büyüyecektir. 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 çok daha fazladır. Fakat jeoloji kayaçların jeoteknik özellikleri ve 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 ölçülerde artmaktadır. Bu durum birçok araştırmacıyı, kazı sistemlerinin performanslarını hızlı etkileyen faktörleri incelemeye ve kazı makinelerinin yerinde performans ölçümünü yapmaya yönlendirmiştir.

Bu çalışmasının yapıldığı Bostancı-Dudullu Metro Tüneli Projesinde, EPB-TBM performans analizi sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

• Yürütülen bu çalışma 200 ringin analizini içermektedir. Her ring için penetrasyon, tork, itme kuvveti değerleri makinenin veri kayıt sisteminden alınmıştır. Alınan veriler her ring için tek tek analiz edilmiştir. Daha sonra ise keski başına düşen yuvarlanma ve normal kuvvet değerleri hesaplanmıştır.

• Penetrasyon (mm/rev) arttıkça harcanan spesifik enerji (kWh/m³) eksponansiyel olarak 0,78 doğruluk katsayısı ile azalmaktadır.

• Kazı sırasında penetrasyonun genel olarak 7 ile 14 (mm/dev) arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu değer aralığı için ortalama tork değerinin 1 756 kNm olduğu belirlenmiştir. Artan penetrasyon değerlerinde, tork değerinin de arttığı belirlenmiştir.

• Penetrasyon değeri arttıkça itme kuvveti değerlerinin azaldığı görülmüştür. 7 ile 14 (mm/dev) penetrasyon değer aralığında, ortalama itme kuvveti değerinin 10 154 kNm olduğu belirlenmiştir.

• Kazı işlemi sırasında bir keski başına düşen normal ve yuvarlanma kuvvetleri hesaplandığın da ise şu sonuçlara ulaşılmıştır: 7 ile 14 (mm/dev) penetrasyon değer aralığında, bir keskiye tekabül eden normal kuvvetlerin (FN) ortalamasının 211 kN/disk olduğu belirlenmiştir. Ayrıca artan penetrasyon değeri ile keskiye gelen normal kuvvetlerin azaldığı belirlenmiştir. 7 ile 14 (mm/dev) penetrasyon değer aralığında, bir keskiye tekabül eden yuvarlanma kuvvetlerin (FR) ortalamasının 22,27 kN/disk olduğu belirlenmiştir. Artan penetrasyon değeri ile keskiye gelen kesme kuvvetlerin arttığı belirlenmiştir.

• Arazi ilerleme indeksi (FPI, kN/disk/mm/dev) değerlerinin TBM'in kurulumundan sonraki ilk ilerlemenin kayıt altına alındığı ringlerde tutarsız olduğu gözlemlenmiştir. TBM'in düzenli kazıya başladığı ringler için FPI ortalaması 31,7 olarak belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Bilgin, N, Copur, H, Balci, C, 2014. Mechanical excavation in mining and civil industries. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton. ISBN 978-1466584747.
- Gümüş, BŞ, 2014. Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy metro tünelinde çalışan pasa basınçlı tünel açma makinesinin (EPB/TBM) performans analizi. İTÜ Lisans Bitirme Ödevi, s:44.
- Tumaç, D, 2010. Investigation into the effect of different rocks and disc cutters on rock cuttability. Istanbul Technical University PhD Thesis, p:321.

Doğuş İnşaat Üsküdar-Çekmeköy Metro Projesinde Kullanılan Darbeli Kırıcı Performans Analizi

Performance Analysis of Impact Hammer used in Üsküdar-Çekmeköy Metro Project by Doğuş İnşaat

C. Öznur, S. Hojjati, D. Tumaç*

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Delme patlatma yöntemiyle kıyaslandığında, hidrolik kırıcılar düşük maliyetlerinin yanında hızlı ve pratik olmasıyla tercih edilebilir bir üretim yöntemidir. Ayrıca diğer kazı makinelerine oranla daha kolay kontrol edilebilirler. Doğuş İnşaat tarafından yapımı devam eden Üsküdar-Çekmeköy metro projesinde kullanılan darbeli kırıcının performans verileri toplanmış ve çalışma sahasından numuneler alınmıştır. Bu çalışmanın amacı, elde edilen bilgiler doğrultusunda bir performans tahmin modeli oluşturmaktır. Bu amaçla, alınan numuneler üzerinde fiziksel ve mekanik testler uygulanmıştır. 19 ayrı ringden alınan bu numunelerin test sonuçları göz önüne alınarak performans tahmini için çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışma sonucunda, bazı kaya özellikleri ile darbeli kırıcı performansı arasında yüksek belirlilik katsayısına sahip ilişkiler bulunmuştur. Her bir ring kazısında; bekleme süreleri, duraklama süreleri, arıza süreleri, darbeli kırıcının kullanıma hazırlanışı için geçen süreler, kaya saplamaları, çelik hasır ve püskürtme beton uygulanma süreleri ayrı ayrı kayıt altına alınmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda darbeli kırıcının kazı performansı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ve verilerin karşılaştırılması geniş kapsamlı olarak bu çalışmada gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrolik kırıcı, Performans tahmini, Makineden faydalanma oranı.

ABSTRACT Compared to drilling and blasting method, mechanical excavation can serve as a fast method requiring lower capital cost. Mechanical excavations can also provide more control on strata and more secure working environment. The aim of this study is to investigate single regression analysis using a new and simple set of data gathered from Üsküdar-Çekmeköy metro project constructed by Doğuş Co. Ltd. in Istanbul, Çekmeköy. For this purpose; physical and mechanical property tests were carried out on these samples. Performance prediction studies were performed on 19 rounds, where the samples were obtained. This study showed that there are good relationships between some rock properties and performance of the impact hammer (IBR). Waiting and breakdown times, utilization of impact hammer, mucking time, rock bolting time, shotcrete time, steel arches and wire machine installation time and forepoling time were recorded during the tunneling operation for each round. The comprehensive report of excavation performance is determined and given in this study.

Keywords: Impact hammer, Performance analysis, Machine utilization time.

1 INTRODUCTION

Mechanical excavation can serve as a fast method requiring lower capital cost. It can

also provide more control on strata and a safer working environment. Although there are some limitations in urban area, drilling and blasting is inevitable when mechanical excavation cannot be economically used because of the short length of the operation with abrasive and hard rock properties (Iphar, 2012).

One should evaluate feasibility, installation problems, ability of dealing with adverse geological conditions, total cost and advance rate in order to choose the best method of excavation. Thus, from the very early phase of feasibility studies, determining the advance rate or performance of an excavator is the most important factor (Aksoy et al., 2013).

Since 1960, impact hammers have been widely used in mining and in the field of construction. Because of its lower capital cost compared to Tunnel Boring Machines (TBM) and Roadheader, makes impact hammer an appropriate choice when the conditions are favorable. In Istanbul, impact hammers have excavated nearly 20 km of metro tunnels. Another advantage of impact hammer is its flexibility, which makes it irreplaceable in mining (Tuncdemir, 2008).

In the past years, there have been many studies on performance prediction of impact hammers. Therefore, different methods of data analysis have been used in order to find prediction models. Artificial Neural Network (ANN) and Multiple Linear Regression (MLR) are the most statistically dependable and accurate methods.

The aim of this study is to investigate single regression analysis using a new and simple set of data gathered from Üsküdarproject Çekmeköy metro in Istanbul. Performance prediction studies were performed on 19 rounds where the samples were obtained. This study showed that there are good relationships between some rock properties and performance of impact hammer (IBR).

2 PROJECT DESCRIPTION

The Üsküdar-Çekmeköy Metro Line, which is located on the Anatolian side of Istanbul, is an 18 km underground metro line with 27 km of TBM tunnel, 13 km of NATM tunnel and 16 stations. It will be the second rapid transit line on the Asian side of Istanbul. The construction of the 16.9 km long line in the west-east direction with 16 stations between Üsküdar and Çekmeköy, and its connection line to the depot with 3 km length began on 20 March 2012. Project cost is around €564 million, the line is built by the Doğuş Construction Group. Location of Üsküdar-Çekmeköy metro project is given in Figure 1.



Figure 1. Location of Üsküdar-Çekmeköy metro Project (Tumaç and Gümüş, 2015).

3 FIELD STUDIES

At portal S16A on Çekmeköy station of the metro project, P1-type single track tunnel has 75.60 m^2 of vertical cross sectional area and is excavated in two phases. First, the upper bench of 57.50 m^2 is excavated and then, the lower bench of 18.10 m^2 is excavated. Blasting is restricted because the tunnel is excavated under the city with the oil station nearby the excavation area. A Volvo 290 model excavator were used with drilling equipment called Montabert V1200 hydraulic impact hammer.

The field studies were performed in Çekmeköy tunnel site. First, technical properties of impact hammer are obtained. During the tunnel excavation, the working principle of impact hammer were analyzed in detail. All the NATM stages were observed during this study in order to draw the machine utilization pie-chart. In each stage, operational time was recorded and impact hammer breaking time was also recorded.

Waiting and breakdown times, utilization of impact hammer, mucking time, rock bolting time, shotcrete time, steel arches and wire machine installation time and forepoling time were recorded during the tunneling operation. The comprehensive report of excavation performance is given in Figure 2. Waiting and breakdown, utilization of impact hammer, mucking time, rock bolting time, shotcrete time, steel arches and wire machine installation time and forepoling time were determined as 18% 29%, 7%, 10%, 15%, 12% and 9%, respectively.



Figure 2. Overall performance of tunnel drivage in Ümraniye-Çekmeköy tunnel.

Rock bolts, steel arches, wire mesh, shotcrete and final concrete lining were used as support and reinforcement elements on tunneling operations. Shotcrete thickness was 20 cm and the length of rock bolts was 4 m. The intervals of steel arches varied from 0.8 m to 1.6 m. Umbrella arch support system was used in NATM tunneling operation. All holes were drilled for face and roof stabilization. Twelve rock bolts of 14 mm in diameter and 12 m in length were first drilled in the shotcreted face to prevent face failure that total load of umbrella arch pipes causes. Then, for umbrella arch process, twelve drill holes of 130 mm diameter and 12 m length were circumferentially drilled with Atlas Copco Rocket Boomer 282 drill rigs in the tunnel perimeter parallel to tunnel axis. After, steel pipes were rammed into holes, cement injections were filled in pipes with water and cement ratio of one.

IBR is defined by eliminating all operation interruptions as suggested by Bilgin et al. (1997). The recorded IBR values ranged from 4.55 to 8.68 m³/h. The results of the IBR calculation is given in Table 1.

Table 1. Results of the instantaneous breaking rate of impact hammer.

No	Advance	Area	Volume	Breaking	IBR
	(m)	(m ²)	(m ³)	Time (h)	(m ³ /h)
1	0.8	57.5	46	10.1	4.55
2	0.8	57.5	46	8.2	5.61
3	0.8	57.5	46	8.1	5.68
4	0.8	57.5	46	9.9	4.65
5	1.6	57.5	92	14	6.57
6	0.8	57.5	46	8	5.75
7	0.8	57.5	46	8	5.75
8	0.8	57.5	46	5.3	8.68
9	0.8	57.5	46	9.1	5.05
10	0.8	57.5	46	8.2	5.61
11	1.6	57.5	92	13.9	6.62
12	0.8	57.5	46	9.8	4.69
13	0.8	57.5	46	7.9	5.82
14	0.8	57.5	46	8	5.75
15	0.8	57.5	46	9.5	4.84
16	1.6	57.5	92	14.5	6.34
17	1.6	57.5	92	12	7.67
18	1.6	57.5	92	13.9	6.62
19	0.8	57.5	46	8.8	5.23

4 LABORATORY STUDIES

Physical and mechanical properties of rocks are the most vital factors that affects the performance of impact hammer. The rock samples, which are tested in the laboratory, were taken from Çekmeköy station of Üsküdar-Çekmeköy tunnel project in Istanbul in which impact hammer was used. The physical and mechanical properties of the rock samples were determined taking in to account the International Society for Rock Mechanics (ISRM) and American Society for Testing and Materials (ASTM) standards. The formless rock samples, which were obtained from the face of the tunnel, were sharpened by the preliminary instruments like small diameter saw and core drill machine. Shore scleroscope hardness. Schmidt hammer rebound values, point load index, Cerchar abrasivity index, and density tests physical used to determine and were properties of rocks. mechanical Rock samples were acquired from each ring individually.

The results of the physical and mechanical property tests are summarized in Table 2. According to the results, density ranges from 2.5 to 2.9 gr/cm³. UCS value is calculated based on a results from point load test that done in laboratory. The calculated value of UCS ranges from 63.2 to 123.2 MPa. Schmidt hammer and Shore scleroscope, which are used for evaluate the rock hardness, are between values of 55.3 and 77.6 for Schmidt hammer and ranges from 44.9 to 65.1 for Shore scleroscope. Cerchar abrasivity index (CAI), which is a test method for identification of rock's abrasivity, ranges from 1.9 to 4.1 from the test results.

Table 2. The summary of the result of the physical and mechanical property tests.

Density	UCS	Schmidt	Shore	CAI
(gr/cm^3)	(MPa)	hardness	hardness	
2.8	98.4	65.2	55.8	4.1
2.7	85.8	63.8	52.6	3.2
2.8	87.6	64.1	53.3	3.3
2.6	101.3	71.1	59.5	4.3
2.8	63.2	62.9	53.8	2.8
2.9	84.1	66.5	55.3	2.9
2.9	84.1	66.5	55.3	2.9
2.7	61.1	55.3	44.9	2.1
2.7	99.8	67.4	56.1	2.1
2.6	86.3	59.9	48.7	2.6
2.8	68.3	63.7	54.1	2.1
2.6	110.8	75.5	63.9	2.9
2.9	79.9	59.3	50.1	2.9
2.8	79.2	58.2	49.6	3.3
2.6	123.2	77.6	65.1	4.4
2.5	78.5	61.9	52.4	2.3
2.5	71.7	57.3	48.2	1.9
2.9	77.9	69.3	59.5	2.2
2.7	96.3	68.1	49.7	3.2

5 RESULTS AND SUGGESTIONS

The relationships between the results of the physical and mechanical properties and the excavation performance of the impact hammer are investigated in this section in detail. First of all, the relationship between density rock samples of the and Instantaneous breaking rate (IBR) is

investigated and come to a conclusion based on comparisons with these two parameters that there is no correlation found between the density and IBR. Uniaxial compressive strength (UCS), which is the most important mechanical property of rocks, is estimated based on the results of point load test on this study. Many studies and researches tried to determine relationship between UCS and performance several of mechanical excavators in past years. In this study, it is found that there is a good correlation between UCS and IBR with R^2 of 0.8031. The relationship between UCS and IBR is given in Figure 3. The results indicate that while UCS increases, the performance of the impact hammer decreases. Schmidt hammer test was used in previous studies to predict the performance of mechanical excavators by researchers. According to the test results and comparisons, a moderate relation is determined between IBR and Schmidt hammer with R^2 of 0.5045. Figure 4 presents the relationship between IBR and Schmidt hammer hardness.



Figure 3. Relationship between IBR and UCS.

As another method for measuring surface hardness of rocks; the result of Shore scleroscope test is compared with IBR values and their relation is represented in Figure 5. According to the results of tests and comparisons, a moderate correlation is evaluated between these two parameters (R^2 =0.4115).



Figure 4. Relationship between IBR and Schmidt hammer hardness.

Rock abrasivity has an important role in excavation engineering that is used for classification and prediction of cutter wear and cost. Cerchar abrasivity index (CAI) test is used to determine the abrasivity of rock samples. The result of this test is compared with IBR to determine the relationship them. There is moderate between a correlation ($R^2=0.5568$) observed between these two parameters as a result. The relationship between CAI and IBR is given in Figure 6.



Figure 5. Relationship between *IBR* and Shore scleroscope hardness.

On account of this study, the physical and mechanical results of rock samples are compared with IBR. The relationship between these test results and IBR are evaluated and determined in detail. From these evaluations, it came to a conclusion that UCS is the most important parameter to affect machine's performance. More detailed studies are recommended to evaluate other physical and mechanical properties of rocks with more excavation performance results. Furthermore, the effect of the operator on the excavation is comprehensively reviewed in future studies.



Figure 6 Relationship between IBR and CAI.

REFERENCES

- Aksoy, CO, Ozacar, V, Safak, S, 2013. An updated formula and method to predict the performance of impact hammers, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 61, pp. 289-296.
- Bilgin, N, Kuzu, C, Eskikaya, S, 1997, Cutting performance of rock hammers and roadheaders in Istanbul metro drivages, *Word Tunnel Congress*, Balkema.
- Iphar, M, 2012, ANN and ANFIS performance prediction models for hydraulic impact hammers, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 27(1), pp. 23-30.
- Tumaç, D, Gümüş, BŞ, 2015, Performance Analysis of Earth Pressure Balance Machine (EPB-TBM) used in Üsküdar-Çekmeköy Metro Tunnel, Selçuk University Journal of Engineering, Science and Technology, 3(1), pp. 49-61.
- Tuncdemir, H, 2008, Impact hammer applications in Istanbul metro tunnels, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 23(3), pp. 263-273.

Tuzla Akfırat Atıksu Tüneli EPB TBM Performans Analizi EPB TBM Performance Analysis in Tuzla Akfırat Sewage Tunnel

Şükrü Tarık Metin İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Prof. Dr. Hanifi Çopur İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu çalışmada, ortalama günlük kazı hızlarının analiz edilmesi ve farklı yöntemlerin verdiği ortalama kazı hızlarının birbirleriyle karşılaştırılması yapılmıştır. Bu amaçla Tuzla Akfırat Atıksu Tünelinde seçilen 262 metrelik kısım 18 boyunca incelenmiş ve TBMden alınan veriler kullanılarak çeşitli modellerde kazı hızları analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçların karşılaştırılması, bu yöntemlerin daha iyi anlaşılması ve spesifik enerjiye bağlı potansiyel kazı hızlarının görülmesine olanak vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Spesifik Enerji, TBM Kazı Hızları, TBM Performans Analizi.

ABSTRACT In this study, average daily advance rates analysis and those results which came from different performance prediction models has been made. For this purpose, a 262 m long tunnel section in Tuzla Akfirat Sewage Tunnel is selected and in duration of 18 days, data taken from the TBM were collected to be used in various parameters in performance prediction models. The advance rate comparison of those models allows better understanding towards prediction models and the potential advance rate estimations based on optimal specific energy also can be seen.

Keywords: Specific Energy, TBM Advance Rates, Tbm Performance analysis.

1 PERFORMANCE ANALYSIS

In this study, in order to make a performance analysis for Tuzla Akfirat Sewage Tunnel, three different models are used to determine the efficiency of the ongoing TBM excavation.

These models can be listed as given below:

- i) Model Based on SE Concept
- ii) Deterministic Model
- iii) Model based on Accumulated Data and Statistically Derived Equations

1.1 Model Based on SE Concept

SE concept can be explained as specific energy which spent to excavate one meter cubic rock volume in tunnel excavations. This model gives clear idea about how much energy has been spent during excavations.

In this study, two different SE values are obtained using both the excavation data which was taken from the TBM logger and the optimal SE prediction research utilizing the mean rock compressive strength.

The data taken from the TBM logger is used to find field SE and all parameters used in this calculation are determined through using those values taken from the TBM. The average values which are used to find field specific energy is given below in Table 1.

 Table 1. Values taken from the TBM log data

Avera	age Values	
Advance Rate	25.58	mm/min
Penetration	5.73	mm/rev
Torque	260	kNm

Utilizing those values allow to calculate the field SE which is found as 9.57 kWh/m³. This value is used in comparison with optimal SE value to create better understanding on how efficient the TBM.

Next step is to find optimal SE using the study utilized other excavations to find a correlation between the SE and mean uniaxial compressive strength of the rock. Since this study is based on full scale linearcutting rig by using CCS disk cutter in laboratories, SE value taken from this study can be accepted as optimal SE. The association between optimal SE and the mean uniaxial compressive strength is given in Figure 1 below.



Figure 1. Association between SE and mean UCS (Bilgin et al. 2014).

Considering the formation havin meang value of 80 UCS in Tuzla Akfirat Tunnel excavation, value of 7.4 kWh/m³ is found accordingly.

Having two SE values allows to make a comparison between each other to show how efficient the excavation is. This ratio found by dividing the field SE value by optimal SE value shows the efficient and this value is found as 1.29 which can be considered as

not efficient when comparing this value with other values found in the past excavations. This values are given in Figure 2 below.

Table 2. Past comparison of SE values. (Bilgin et al 2014).

Project	Geology	D (m)	UCS (MPa)	SE _F (kW h/m ³)	SE _p (kW h/m ³)	SE _p /SE _p	NPR _F (m³/h)
Hard Rock TBMs							
Beykoz Utility Tunnel	Limestone, sandstone, and carbonated shale	3.2	96.3	5	6.75	0.75	14.2
Cayirbasi Water Tunnel	Interbedded, sandstone, limestone, and mudstone	3.1	119.3	9.5	7.93	1.20	16.5
Uluabat Power Tunnel	Akçakoyun limestone	5.1	52.0	5	4.5	1.10	96
Uluabat Power Tunnel	Karakaya metasandstone, mudstone, and graphitic shist	5.1	25.0	3	3.1	0.97	135
Hard Rock TBMs	Working in Semi-EPB N	lode					
Kartal–Kadkoy Metro Tunnel	Kartal–Dolayoba limestone, siltstone, and carbonated shale	6.6	45.8	7	6.75	1.03	100
Pendik– Kaynarca Metro Tunnel	Kartal formation, limestone, shale, and mudstone	6.5	42.0	6	6.2	0.97	105
Pendik– Kaynarca Metro Tunnel	Dolayoba formation and limestone	6.5	32.0	7	6.8	1.03	100

1.2 Deterministic Model

This model originally was used in Kartal Kadıköy Metro Project to create improved version of performance prediction in TBM excavations. results showed. As the deterministic model worked well with predicting the instantaneous penetration rate and advance rate, while it does not work with predicting other parameters.

In this study, instead of using full-scale laboratory linear rock cutting test data which indicates the optimum conditions, data taken directly from TBM with field and optimum SE values which found in previous model are used to determine instantaneous penetration rate and advance rate to compare with each other.

To simplify and have guidance prior to calculations, basic layout of the used model is given in Figure 2 below.



Figure 2. The basic layout of deterministic model.

Using layout to calculate both mean daily advance rates based on optimum and field SE values can be obtained with this model. The mean daily advance rate based on field SE is found as 13.6 m/day, whereas mean daily advance rate based on optimal SE is found as 17.6 m/day. Another comparison between these two values also show that excavation in the Tuzla Akfirat Tunnel is inefficient, since there are total of 4 meter daily advance rate difference.

1.3 Model Based on Accumulated Data and Statistically Derived Equations

The final model to used in performance prediction, utilizes another research which based on a database where 262 TBMs are observed.

The main issue of this model to be used is that model is not allowing to make a penetration value prediction for 12 inch diameter disc cutters. For this purpose, instead of accumulated data, the penetration value directy taken from the TBM logger is used. However, the required rotational speed value may be taken from the study. Figure 4 gives the required equation to predict the rotational speed of the TBM used in Tuzla Akfirat Tunnel.

Utilizing values both taken from the TBM and the correspondent value from the Figure 3 determines the estimated daily advance rates. The value of 14.83 m/day is found as daily advance rates.



Figure 3. Correlation between TBM diameter and rotational speed (Ates et al. 2013).

2. RESULTS

Aside from daily advance rates found in various models in this study, real mean daily advance rate can be also found by utilizing the reports taken from the excavation site. The comparison of advance rates are given in Table 3 to make a performance prediction of the excavation.

Table 3. Result comparison between field report, deterministic model based on spesific energy and model based on accumulated data.

	Based on Field Report	Deterministic Prediction based on Field SE	Deterministic Prediction based on Optimal SE	Based on Accumulated Data Results
ICR	11.98 m³/h	10.53 m³/h	13.62 m³/h	11.47 m³/h
IPR	1.53 m/h	1.35 m/h	1.75 m/h	1.47 m/h
AR	15.5 m/day	13.6 m/day	17.64 m/day	14.83 m/day

As it can be seen in the table, first column shows the average values taken from the site report, second column shows the average values calculated by deterministic model using TBM data and the third column shows the optimal average values when optimal SE is considered instead of field SE. When field report results are considered, average values of ICR, IPR and AR belong to the deterministic model are all exceeded by field report results. However, field report results are still beneath the optimal deterministic results which also indicates lower efficient excavation.

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to thank Prof. Dr. Hanifi Çopur for sharing his knowledge and experince during the preparation of my thesis and all my teachers who have supported me during my university years. I am truly grateful to my family who provided me through moral and emotional support in my life.

REFERENCES

- Ates, U., 2013, A Comparative Study on the Relationships between Design Parameters of TBMs with two Current Examples of Large Section TBMs. MSc thesis, Istanbul Technical University, Graduate School of Science, Engineering and Technology.
- Bilgin, N., Copur, H., Balci, C., 2014, Mechanical Excavation in Mining and Civil Industries, ISBN-13:978-1-4665-8474-7, CRC Press, Taylor and Francis Group.

Doğal Taş Granitlerinin Dokusal Özelliklerinin Sayısallaştırılması ve Fiziksel ve Kesme Özellikleri İle İlişkilerinin Araştırılması

Investigation into the Textural, Physical and Shear Properties for Natural Stone Granites Based on Textural Properties Quantification

Umut Bozoğlu İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Arş. Gör. Onur Güven İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Doç. Dr. Cüneyt Atilla Öztürk

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu çalışmada, geometrisi nispeten düzgün taneciklerden müteşekkil dokuya sahip minerallerin fiziksel ve mekanik özelliklerini değerlendirmek için kullanılan yöntemlere alternatif olan doku analizi araştırılmıştır. Amaç, düzgün olmayan tanecikli yapıya sahip örneklerin değerlendirilmesini kolay hale getirmektir. Buna istinaden, doku katsayısı hesaplama yöntemi kullanılmış, önceden hazırlanmış ince kesit örnekler incelenerek uygulamaya konulmuştur. Gerekli bilgisayar programları kullanılarak laboratuvar çalışmaları geniş kapsamlı olarak yapılmış ve neticesinde elde edilen katsayı ile mineralin dokusal ve dayanım özellikleri arasında bir ilişki saptanmıştır. Bunun dışında kayacın petrografik özellikleri de değerlendirmeye alınmıştır. Elde edilen sonuçlar ve verilerin karşılaştırılması bu çalışmada detaylı olarak gösterilmektedir. Çalışma kapsamında amaçlanan sonuçlara (elde edilen değerlerle petrografik özelliklerin karşılaştırılması) ulaşılması için Araş. Gör. Dr. İbrahim Emre Önsel'in doktora çalışmasından alınan ince kesit örneklerinin üzerinde İstanbul Teknik Üniversitesi dahilindeki laboratuvarlarında çalışılmış, sonrasında ImageJ yazılımı kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doku Katsayısı, İnce Kesit, Petrografi.

ABSTRACT In this project, it is intended to find alternative way to methods that is used to evaluate physical and mechanical properties of minerals having relatively regular geometries. Purpose is making it easier to evaluate irregularly granular samples' characteristics. In this respect, texture coefficient method was used and put into practice by examining thin section samples. Necessary software was operated and laboratory works were done comprehensively. At the end, with obtained coefficient, a relation between textural and strength properties were evaluated. Comparison of obtained results and data was shown in detail in this study. In order to reach the aimed results within the scope of the study, thin section samples taken from the doctoral study of Res. Ass. Dr. Ibrahim Emre Onsel and these were worked on at Istanbul Technical University laboratories. ImageJ software was used later.

Keywords:Petrography, Texture Coefficient, Thin Section.

1 TEXTURE COEFFICIENT

1.1 Quantitative Assesment of Rock Texture

Quantification of the parameters that is needed to calculate and evaluate physical properties of a certain rock, texture coefficient should be formulated (Figure 1).

The method of quantitative assessment of rock texture consists of four components:

- i) Measurement and analysis of grain roundness
- ii) Measurement and analysis of grain elongation
- iii) Measurement and quantification of grain propagation
- iv) Distribution of results based on grain packing

The procedure for analysis can be reduced to the following formula :

$$TC = AW\left[\left(\frac{N_0}{N_0 + N_1} \times \frac{1}{FF_0}\right) + \left(\frac{N_1}{N_0 + N_1} \times AR_1 \times AF_1\right)\right]$$

Where,

TC = Texture coefficient

AW = Grain packing weighting (which is "1" for granite)

 N_0 = Number of grains whose aspect ratio is below a pre-set discrimination level

 N_1 = Number of grains whose aspect ratio is above a pre-set discrimination level

 FF_0 = Arithmetic mean of discriminated form-factors

 AR_1 = Arithmetic mean of discriminated aspect ratios

 AF_1 = Angle factor, quantifying grain orientation (Howarth, 1987).



Figure 1. Procedure for quantifying rock texture (Ozturk et al. 2014).

Schmidt Hammer Test

The "Schmidt Hammer test" is a simple, non-destructive test originally developed in 1948 to facilitate the measurement of UCS. It was later extended to measure the strength and stiffness of the rocks. The application of the test is very simple: The hammer, which is stuck in the state of being tethered to the spring, hits the rock surface with the aid of a piston with high potential and the values ranging from 10 to 100 on the electronic screen above can be read by the engineers. This value defines "rebound hardness". Naturally the higher the rebound grade, the harder the surface. The biggest advantage of this test is that it can be applied both in the field and in the laboratory. Because of its portability, ease of use, speed, cost and nondestructiveness of the application, it is a fact that is widely used throughout the world.

2 LABORATORY STUDIES

Thin section natural stone granites samples of 28 were obtained from the study of Onsel (2014). Physical and petrographical properties of these samples are shown in Table 1. Table 1. Physical and petrographic properties of 28 granite samples.

Sample	Crystal Size	Mineral Structure
S1	Coarse grained	Feldspar + Amphibole
S2	Coarse grained	Plagioclase + Pyroxene +
		Labradorite
S 3	Coarse grained	Alkali Feldspar + Plagioclase +
		Quartz
S4	Coarse grained	Alkali Feldspar + Plagioclase +
		Amphibole (Green)
S 5	Coarse grained	Plagioclase
S6	Coarse grained	Black (Pyroxene + Plagioclase)
S7	Coarse grained	Grey (Amphibole + Feldspar +
		Quartz)
S8	Coarse grained	Pink
S 9	Coarse grained	Light Pink
S10	Coarse grained	Grey
S11	Coarse grained	Metamorphic
S12	Coarse grained	-
S13	Coarse grained	Garnet (Coarse grained)
S14	Coarse grained	Garnet (Coarse grained)
S15	Coarse grained	Garnet (Fine grained)
S16	Fine grained	Light Grey
S17	Fine grained	Light Pink
S18	Fine grained	Light Pink Garnet
S19	Fine grained	Greenish Black Plagioclase
S20	Fine grained	Greenish Black Plagioclase
S21	Fine grained	Greenish Grey
S22	Fine grained	Greenish Grey Black Gabbro
S23	Fine grained	Greenish Grey Black Gabbro
S24	Fine grained	Greenish Grey
S25	Fine grained	Greenish Grey
S26	Fine grained	Greenish Grey Pink
S27	Fine grained	Metamorphic Blackish Grey
S28	Fine grained	Breccia zone + Dark coloured matrix

2.1 Microscopic Photography

In order to be able to accurately examine the structure of the samples in the invisible dimensions and to create an appropriate database for calculations to be made after, the samples had to be examined under a microscope and their photographs had to be taken with the help of a camera connected to the computer. This process was carried out at the ITU Ayazağa Campus Faculty of Mines, Surface Cutting Laboratory. Ten seperate photographs of various parts of each sample were intended to provide a comprehensive understanding of the physical features. This makes total of 280 photos. Parts, especially those which clearly show the grain structure were chosen. Sample photo is shown in below (Figure 2) as per sample presentations;



Figure 2. Sample photo.



Figure 3. Sample photo after ImageJ drawing. 2.1.1 Image I rocessing

To increase consistency in calculations and make predictions as comprehensive as possible, at least twenty and up to fifty particles were selected in the photographs (Figure 3).

3 RESULTS

The thin section samples of 28 in this study belong to a granite rock. So the interpretations to be made in this section will be regarded as a reflection of the natural behavior of the granite rock. The various measurements made by Onsel (2014) will be included in this assessment and some statistical inferences will be shown.

Mean TC which is found by the equations that have been said for this granite sample is 1.92. The histogram below shows the distribution of TC (Figure 4).



Figure 4. Distribution of TC.

In this senior design project, there are 28 thin section granite samples available. At least 10 photographs were taken with the aid of a microscope-connected camera for each sample at Istanbul Technical University laboratories. Since at least 20 particles are required sample in each taken. approximately 7 000 to 10 000 particles have been examined. The aspect ratios of all of these particles and, apart from this, the parameters required for the mentioned formula have been revealed. With the help of these parameters, the texture coefficient was found and as a result the idea of comparing these values with the petrographic properties of the granite samples. Petrographic features were taken from Dr. Onsel PhD thesis completed in 2014. The most striking results containing feldspar were those or plagioclase. The tables of these two parameters are shown below (Table 2 and 3).

Table 2. Comparative table of plagioclase-containing grains.

Mineral Structure	TC	FF ₀	AR ₁	AF ₁	N ₀ /N ₁
Plagioclase + Pyroxene +	1.83	0.67	2.29	1.05	3.63
Labradorite					
Alkali Feldspar + Plagioclase	1.98	0.65	2.9	1.25	4.14
+ Quartz					
Alkali Feldspar + Plagioclase	2.17	0.69	2.61	1.49	3.04
+ Amphibole (Green)					
Plagioclase	1.81	0.65	2.40	0.8	3.76
Black (Pyroxene +	1.44	0.83	2.2	0.69	7.12
Plagioclase)					
Greenish Black Plagioclase	1.70	0.69	2.4	0.86	5.65
Greenish Black Plagioclase	1.56	0.70	2.23	0.8	5.28
Mean	1.78	0.69	2.43	0.99	4.66
Standard Deviation	0.24	0.06	0.25	0.29	1.42

Table 3. Comparative table of feldspar-containing grains.

Mineral Structure	TC	FFo	AR1	AF1	No/N1
Feldspar + Amphibole	2.16	0.59	2.48	1.16	3.56
Alkali Feldspar + Plagioclase + Quartz	1.98	0.65	2.89	1.25	4.14
Alkali Feldspar + Plagioclase + Amphibole (Green)	2.17	0.69	2.61	1.49	3.04
Grey (Amphibole + Feldspar + Quartz)	2.13	0.62	2.19	1.5	2.75
Mean	2.11	0.64	2.54	1.35	3.38
Standard Deviation	0.08	0.04	0.29	0.17	0.61

ACKNOWLEDGEMENTS

I am truly grateful to my mother Gulay Bozoglu and my father Mustafa Bozoglu, who have provided me through moral and emotional support in my life.

KAYNAKLAR

Ozturk C.A, E. Nasuf, Kahraman S. 2014. "Estimation of rock strength from quantitative assessment of rock texture". *The Southern African Institute of Mining.*

Howarth, D.F. and Rowlands, J.C. 1987. Quantitative assessment of rock texture and correlation with drillability and strength properties. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, volume 20, Pages. 57–85.

Onsel, I.E, 2014. Kaya Kütlesindeki Süreksizliklerin Pürüzlülük Ölçümleri İçin Objektif Yöntemlerin Geliştirilmesi, Doctoral Thesis, Istanbul Technical University. Mining Engineering Department, İstanbul (In Turkish).

Eskişehir-Alpu Kömür Havzasında Bulunan B Sektörüne Ait Kömür Damarlarının Gaz İçeriğinin Belirlenmesi

Investigation of Coal Seam Gas Content in the Eskisehir-Alpu Coalfield

Y. Adıay, A. Ramazani Rend, O. Esen, A. Fişne İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

ÖZET Yeraltı kömür madenciliğinde, madencilik faaliyetleri boyunca ocak imalatına çeşitli şekillerde kömür damarlarından yayılan metan gazı, günümüzde halen potansiyel bir tehlike olarak varlığını sürdürmektedir. Geçmişte yaşanan gaz kaynaklı maden kazaları, bu duruma örnek olarak verilebilmekle birlikte metan ile mücadelenin önemini de ortaya çıkarmaktadır.

Kömürün bünyesinde bulunan metan ile mücadelede Dünya'da birçok çalışma ve araştırma günümüzde sürmektedir. Yeraltı kömür madenciliğinde gaz kaynaklı problemlere çözüm üretmek amacıyla kömür damarından yayılacak metan miktarının belirlenmesi, grizu, ani gaz ve kömür püskürmesi, yangın ve patlama şeklinde ortaya çıkan olaylarla mücadelede en etkin parametrelerden biri olmaktadır. Ayrıca etkin bir havalandırma sisteminin planlanması açısından, özellikle sahada madencilik faaliyetleri başlamadan önce kömür damarlarının gaz içeriğinin belirlenmesi gelecekte oluşabilecek gaz kaynaklı olaylarla mücadelede gerekli önlemlerin önceden alınmasını sağlamaktadır.

Söz konusu bitirme çalışması, Eskişehir Alpu kömür havzasındaki ruhsatlı sahada bulunan ve sahadaki çalışmalardan hareketle en gazlı bölge olarak tespit edilen B sektöründeki kömür damarlarının gaz içeriği ölçümlerini kapsamaktadır. Çalışmanın amacı ise B sektöründeki kömür damarlarının gaz içeriğini ölçerek, kömür damarlarını gazlılıklarına göre sınıflandırmak ve derinliğe bağlı olarak damar bazında gaz dağılımları hakkında bilgi vermektir.

Anahtar Kelimeler: Maden havalandırması, Kömürün gaz içeriği, Metan.

ABSTRACT Methane gas that releases from coal seams with various types, is still a potential hazardous problem in underground coal mining operations. Past methane-sourced mine accidents should be given as an example and these accidents show the importance of methane control in underground coal mining as well.

Methane prevention methods and investigations have been carried out at the present time by many researchers from whole world. The determination of gas content of the coal seams is the most efficient parameter against to coal and gas outbursts, black damps, explosions and fire damps. Otherwise, methane-sourced problems can be suppressed beforehand in accordance with effective subsurface mine ventilation design.

This study involves the gas content determinations of gassy coal seams in Sector-B. The main purpose is to evaluate and classify the gas content of the coal seams by giving the gas distribution depend on coal seam depth.

Keywords: Mine Ventilation, Coal Seam Gas Content, Methane.

1 GİRİŞ

Kömür, değişik türlerde ve oranlarda organik madde içeren tortul bir kayaçtır. Kömür, siyah, koyu gri veya kahverengi-siyah renkli, parlak veya mat bir katı fosil yakıttır. Ağırlık olarak % 50, hacim olarak da % 70'ten fazla kömürleşmiş bitki kalıntılarından oluşur (Schopf, 1956).

Kömürün oluşumunda, tamamen bozuşmadan korunan ve biriken bitkisel maddelerin, uygun bir ortamda jeolojik, fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayların etkisiyle değişimlere uğramaları sonucu oluştuğu varsayılmaktadır. Kömürleşme adı verilen bu süreçte her bir kömürün bileşimi ve özellikleri, onu oluşturan organik ve inorganik bileşenlerin yanı sıra geçirdiği değişimlere de bağlıdır. Bu değişimlerden jeolojik derinliğin artmasına bağlı olarak oluşan sıcaklık ve basınç artışı, kömür damarlarında çeşitli gazların oluşumunu sağlar. Kömür damarlarındaki metan gazı varlığı, madencilik tarihi boyunca başa çıkılması gereken bir problem olmuştur. Metan gazi içeriğinin belirlenmesi, ani gaz püskürmesi, yangın ve patlama şeklinde ortaya çıkan olaylara önlem alma da ayrıca yeraltı madenciliği açısından havalandırma planlaması ve organizasyonu oluşturulurken dikkate alınacak bir çalışmadır. İş sağlığı ve güvenliği açısından da kritik önem taşıyan bu çalışma, ayrıca günümüzde kömür damarları içerisinde bulunan metan gazı miktarına bağlı olarak çeşitli üretim çalışmaları yapılmaktadır. Yapılan bu çalışma metan drenajı olarak bilinmekte ve damar içerisinde bulunan metan drene edilerek enerji üretimi, ısınma gibi ihtiyaçlar için kullanılmaktadır. Sonuç olarak yapılan alternatif fayda bu çalışma güvenlik, sağlama ve planlama gibi konularda yol gösterici bir rol oynamaktadır.

2 KÖMÜRDEKİ GAZIN OLUŞUMU

Kömür bünyesinde çoğunlukla bitkisel materyal barındıran organik bir kayaçtır. Kömürün oluşurken, yapısındaki bitkisel malzemenin degradasyon ve ısıl alterasyona maruz kalması sonucunda gerçekleşir (Durucan ve Ediz, 1998).

Kömür damarlarında gaz oluşumu, bitkisel malzemenin çökelmesinin ardından başlayan biyolojik bozuşma ile ilintilidir. Biyolojik bozunma sürecinde, oksitleyici koşullara sahip bataklık ortamı ve bakterilerin rol aldığı bir gaz oluşum süreci olduğu bilinir. Kömürleşme sürecinde, oluşan gazların çoğunluğu atmosfer havasına karışmaktadır. Kömürün bünyesinde kalan gazların büyük bir kısmı ise, biyolojik bozunmaya uğrayan bu malzemelerin çökeldikleri derinliğin artmasına bağlı olarak oluşmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. Metan ve diğer gazların oluşumu ve derinlik ilişkisi (Hedberg, 1980).

3 ALPU KÖMÜR HAVZASINDA GAZ İÇERİĞİ BELİRLEME ÇALIŞMALARI

Kömür sahasında bulunan B sektörüne ait kömür damarları üzerinde gaz içeriğinin belirlenmesine yönelik calısmalar yapılmıştır. Bölgede yapılan yer üstü arama sondajinin kestiği BG-01, BG-02, BG-03, BG-04, BG-05, BG-06 ve JTK-5, JTK-9 numaralı sondaj kuyularından ve havza genelinde bulunan 5 adet kömür damarından alınan 162 adet numuneye ASTM D756910 standardında açıklanan doğrudan gaz içeriği belirleme yöntemi olan USBM (United States Bureau of Mines) yöntemi uygulanarak yapılmıştır.

Kömür damarları oluşumu sırasında çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikler kazanırlar. Bu nedenle numuneler üzerinde ek analizler yapılmıştır. Alınan kömür örneklerinin kısa analizleri ASTM D-3172 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Laboratuvar ve saha alanında yapılan çalışmalar ile sektörde bulunan gazlılık durumu, toplam gaz miktarı ve desorpsiyon kapasitesi hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır.

3.1 USBM Doğrudan Gaz İçeriği Belirleme Yöntemi

Yöntem, yerüstü sondajlarından alınan karot yaydığı numunelerin metan miktarının hesaplanmasına dayanmaktadır. Sondajdan alınan karotlar, sizdırmaz bir kap olan kanisterlere konularak laboratuvara getirilmiş, burada gaz ölçümlerine devam edilmiştir. Çalışmadan elde edilecek toplam gaz içeriği; kayıp gaz, yayılan gaz ve artık olarak 3 bileşenden oluşmaktadır. gaz Kömürün toplam gaz içeriği, laboratuvarda gaz miktarı, kontrollü belirlenen artık deneyler süresince ölcülen gaz miktarı ve olarak hesaplanan gaz miktarı kavıp toplanarak hesaplanmaktadır. (Gray, 2011).

3.1.1 Yayılan gaz

Yayılan gaz bileseninin ölcme sistemi ilkel barometrenin çalışma prensibine ters bir metot ile yapılır. Içi su dolu kaba, bir miktar su dolu büret ters daldırılır. Kanisterin hava çıkışından bir boru büretin içine yerleştirilir, kanister vanası açıldığında büret içerisinde yayılan gaz hacmi toplanır. Referans noktası ile vana açıldıktan sonra oluşan seviye arasındaki fark ölçülerek yayılan gaz $(\dot{\mathbf{Q}}_{d})$ miktarı bulunur (Redrawn, 1982). Bertard ve diğ., (1970) tarafından tanımlanmış ve daha sonra Kissel ve diğ., (1973) tarafından geliştirilmiş olan yöntem ile; damardan alınan kömür numunesinden numune kabı (kanister) içerisinde yayılan gaz miktarı doğrudan olarak ölçülebilmektedir.

Kanisterler vanaları kapatılarak rezervuar sıcaklığında ölçümler yapılmak amacıyla daha önceden ayarlanmış olan termal havuz içine yerleştirilmiş ve dengeye gelmesi için bir süre beklenmiştir. Dengeye ulaştığı kabul edilen kanisterlerde gerçekleşen gaz yayılımı ölçümleri ilk 1 saat boyunca 5 dakikada bir yapılmıştır. Yayılan gaz miktarları ölçüldükten sonra damara ait desorpsiyon grafiği aşağıdaki gibi çizilmiştir.

Şekil 2. Çalışmaya ait örnek bir desorpsiyon eğrisi.

3.1.2 Kayıp gaz

Kayıp gaz (Q₁), kömür numunesinin sondaj calismasi esnasında damardan kesilip sızdırmaz bir kap (kanister) icerisine verlestirilinceve kadar geçen sürede numuneden yayılan gaz miktarıdır ve toplam gaz içeriğinin bir bileşenidir. Numunenin damardan kesilme zamanından (desorpsiyonun başladığı an veya sıfır zamani) kanistere kapatilincaya kadar gecen süre kavıp gaz zamanı olarak Kayıp tanımlanmaktadır. miktarı gaz

doğrudan ölçülememektedir. Desorpsiyon ölçümleri temel alınarak tahmin edilmekte olup, toplam gaz içeriğinin güvenilirliği en az olan bileşenidir (Şekil 3).



Şekil 3. Kayıp gaz tespit eğrisi

3.1.3 Artık gaz

Artık gaz olarak değerlendirilen bu bileşen, kömür numunesinin sızdırmaz bir değirmende – 200 mesh boyutunda öğütüldüğü süreyi kapsamakta olup, bu sürede yayılan gaz " artık gaz (Q_r) " olarak tanımlanmaktadır.

3.1.4 Toplam gaz içeriği

Üç kısımda gerçekleştirilen ölçmeler ve hesaplamalar sonucunda elde edilen gaz hacim verileri toplanarak, kömür numunesinin içerdiği toplam gaz miktarı



Eşitlik 3.1 ile bulunmaktadır.

$$Qt = Qd + (QlxMt) + (QrxMc)$$
(3.1)

Burada;

Mt : Kuru kömür numunesinin ağırlığı, g, Mc : Öğütmede kullanılan kuru kömür numunesinin ağırlığı, g olarak verilmiştir.

3.2 Kısa Kimyasal Analiz

Kömür damarları oluşumu sırasında çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikler kazanırlar. Bu nedenle kömürlerin kimyasal özelliklerinin belirlenmesi, gerçek verilere ulaşılması için temiz kömürün gaz içeriğinin belirlenerek kimyasal analiz yapılması bahsedilen sebep açısından önemlidir. Bu çerçevede havzada gaz içeriğinin belirlenmesi amacıyla alınan kömür örneklerinin nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon değerleri belirlenmiştir. İncelenen kömür örneklerinin kısa analizleri ASTM D-3172 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

4 SONUÇLAR

Söz konusu bitirme çalışması, Eskişehiryer Alpu bölgesinde alan kömür yataklarından en kalın ve derin damarların bulunduğu B sektöründe gaz içeriğinin belirlenmesi yapılmıştır. amacıyla Çalışmada, önceden sektör üzerinde belirlenen sondaj noktalarına yer üstünde vapılarak numunelendirme sondajlar yapılmıştır. Alınan numunelerde yapılan ölçüm, analiz ve hesaplamalar neticesinde gelecekte faaliyette bulunacak olan maden işletmelerine sektör ile ilgili gazlılık durumu hakkında bilgi verecektir.

Numuneler sahada açılan BG-01, BG-02, BG-03, BG-04,BG-05, BG-06, BG-06A ve JTK-5, JTK-9 numaralı sondaj kuyularından alınmıştır. Kuyularda yapılan numunelendirme sadece kömür damarlarından değil, kömürden bir önceki ve bir sonraki formasyondan da alınmıştır. BG-01'den 22, BG-02'den 17, BG-03'den 24, BG-04'den 28, BG-05'dan 18, BG-06'dan 16, BG-06A'dan 3 ve JTK-5'den 20, JTK- 9'dan 14 tane numune alınmıştır. Alınan numunelerin yayılan, kayıp ve artık gaz miktarları hesaplanmış ayrıca numunelere kısa kimyasal analiz yapılarak nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon içerikleri belirlenmiştir.

Alpu havzasında gaz içeriği belirleme çalışmaları sonucunda elde edilen veriler neticesinde Çizelge 1'de gösterilen verilere ulaşılmıştır. Elde edilen verilere göre Şekil 3' de ortalama nem miktarı - toplam gaz içeriği, Şekil 4' de ortalama kül miktarı – toplam gaz içeriği ve Şekil 5' te ortalama derinlik – toplam gaz içeriği eğrileri oluşturularak, nem, kül, derinlik ve toplam gaz içeriği arasında bağıntı gösterilmiştir.

Çizelge 1. Kuyulara göre özet veriler.

KN	D	NO	KO	OGO	KGO
BG1	425	31,76	40,40	0,77	3,01
BG2	389	35,17	27,59	0,61	2,06
BG3	376	26,33	33,86	0,88	1,73
BG4	457	29,10	38,24	0,47	2,94
BG5	354	31,17	48,32	0,61	2,84
BG6	324	29,35	33,27	0,50	1,65
BG6A	292	38,97	33,49	0,44	1,78
JTK5	399	33,86	35,60	0,80	2,91
JTK9	331	33,83	23,52	0,89	2,10

KN: Kuyu no, D: Ortalama derinlik (m), NO: Nem ortalaması (%), KO: Kül ortalaması (%), OGO: Orijinal bazda gaz içeriği ortalaması (m³/t), KGO: Kuru külsüz bazda gaz içeriği ortalaması (m³/t)

Şekil 3. Toplam gaz içeriği - ortalama nem eğrisi.





Şekil 4. Toplam gaz içeriği - ortalama kül eğrisi



Şekil 5. Toplam gaz içeriği - ortalama derinlik eğrisi.

Bağıntılar göstermektedir ki; kül miktarı azaldıkça toplam gaz içeriğinin arttığı, nem miktarı azaldıkça toplam gaz içeriğinin arttığı ve derinlik arttıkça gaz miktarının arttığı gözlenmiştir.

Çizelge 2. Thakur sınıflaması.

Kategori	Derinlik (m)	Gaz İçeriği (m ³ /t)
Az Gazlı	≤ 200	< 3
Orta Gazlı	200 - 500	3 - 10
Çok Gazlı	> 500	10 - 25

Kömür damarları içerdikleri gazın miktarına ve derinliklerine bağlı olarak Çizelge 2'de görüldüğü gibi az gazlı, orta gazlı ve çok gazlı olmak üzere üç kategoride sınıflandırılmaktadır (Thakur, 2011).

alınan Sahada bulunan sondailardan numunelerin orijinal bazda gaz içeriği değerleri ve derinlikleri dikkate alındığında Cizelge 6.19' daki sınıflandırmaya göre az gazlı olduğu görülmektedir. Sektörde bulunan kuvulardan alınan numunelerden elde edilen gaz iceriği değerleri orijinal incelendiğinde bazda $1 m^3/ton$ olduğu görülmektedir.

Kuru külsüz bazda elde edilen gaz içeriği değerleri ve derinlikleri Çizelge 16.9' da bulunan sınıflandırmaya göre yapıldığında BG-01 orta gazlı olmak üzere, BG-04, BG-05 ve JTK-05 orta gazlı sınıfa çok yakın olarak değerlendirilir. Geriye kalan sondaj kuyuları az gazlı sınıfta yer almaktadır.

KAYNAKLAR

- ASTM D3172-13, 2013. Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania.
- Berthard, C,, Bruyet, B,, Gunther, J, 1970. Determination of desorable gas concentration of coal (direct method), International Journal, Rock Mechanics in Mining Science, Sayfa 43-65.
- Ediz, İ, G, ve Durucan, Ş, 1998. Kömür Ocaklarında Metan Gazı Oluşumu ve Birikimi, Kömür: Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri (Editör: Orhan Kural), Özgün Ofset ve Matbaacılık Anonim Şirketi, Sayfa 223-242.
- Gray, I, 2011. Gas Content Measurement and its Relevance to Outbursting, 11th Underground Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Sayfa 291-296.
- Hedberg, H.D., 1980. Methane Generation and Petroleum Migration, Problems of Petroleum Migration, Roberts, W.H.; Cordell, R.J., Edition, The American Association of Petroleum Geologists, Studies in Geology, No 10, Sayfa 179-206.
- Thakur, P.C.; Lauder, S.D.; Cervik, J., 1985, Methane Drainage with Cross-Measure Boreholes on a Retreat Longwall Faces, *Mining Engineering*, Sayi 37, Sayfa 1375-1380.

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Bitirme Tasarım Projeleri Bildirileri

Sapanca Gölü Batısının Hidrojeoloji İncelemesi Hydrogeological Invastigation of the Western Part of Sapanca Lake Basin

B. Dirlik, U. Akın, M. A. Akpolat, R. Karagüzel, M. Erdoğan İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde "Bitirme Tasarım Proje" olarak yapılan bu çalışmada, incelenen alandan Sapanca gölüne boşalan yeraltısuyunun miktarının ve kalitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Amaca yönelik olarak havzanın 1/25000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. Sapanca meteoroloji istasyonu verilerinden yararlanılarak hazırlan su bilançosuna göre incelenen alanda sapanca gölüne yıllık ortalama 99,294 milyon metreküp yeraltısuyu boşaldığı belirlenmiştir. Çalışma alanında yer alan jeolojik birimler fiziksel ve hidrojeolojik özelliklerine göre Pekişmemiş Formasyonlar (Yaygın-zengin akiferler, Bölgesel ilişkisiz (yerel) akiferler) ve Pekişmiş Formasyonlar (Bölgesel-ilişkisiz (yerel) Akiferler, Zayıf akiferler, Çok zayıf akiferler) olmak üzere gruplara ayrılıp, değerlendirilmiştir. Bu bilgiler ışığında bölgenin hidrojeoloji haritası yapılmıştır.

İnceleme alanında yeraltısuyu kalitesini belirlemek amacı ile temsili noktalardan alınan su örneklerinin analizlerinden ve sondaj kuyularının açıldıkları tarihlerde yapılan kimyasal analiz sonuçlarından yararlanılmıştır. Ayrıca yeraltısuları içilebilirilik ve çeşitli kullanılabilirlik amaçlarına yönelik (Piper ve Scholler Diyagramları) göre sınıflandırılmıştır. Piper diyagramına göre bölgedeki sular genel olarak Ca-HCO₃ tipi sular sınıfındadır. İnceleme alanında yeraltısularının TS 266'ya göre içme ve kullanma amacına uygun oldukları saptanmıştır. Anahtar Kelimeler: Hidrojeoloji, İçme suyu Sapanca Gölü, Yeraltı Suyu kalitesi,

ABSTRACT In this study, which was done as "Finishing Design Project" in ITU Mining Faculty Geological Engineering Department, it was aimed to determine the amount and quality of the groundwater that is scattered in Sapanca Lake. For the purpose, a 1/25000 scale geological map of the basin was prepared. It has been determined that the perennial sapling lake, which is prepared according to the prepared water balance using the data of Sapanca meteorological station, empties an average of 99,294 million cubic meters of groundwater. The geological units in the study area are divided into groups according to their physical and hydrogeological properties, Unconformed Formations (Common-rich aquifers, Regional unrelated (local) aquifers) and Stratified Formations (Regional- unrelated (local) aquifers, Weak aquifers, Very weak aquifers) checked. In the light of this information the hydrogeology map of the region was made.

In the study area, the results of analysis of the water samples taken from the point of interest and the point of sampling and the results of the chemical analysis made on the dates when the drilling wells were opened were used to determine the groundwater quality. In addition, groundwaters are classified according to their availability and for various usability purposes (Piper and Scholler Diagrams). According to the Piper diagram, the waters in the region are generally of the Ca-HCO₃ type. It has been determined that groundwater in the study area is suitable for drinking and using purposes according to TS 266.

Keywords: Hydrogeology, domestic water Sapanca Lake, Quality of Groundwater,

1 GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı ve Yöntemleri

Bu çalışmada; Sapanca Gölü Havzası'nın hidrojeoloji incelemesi yapılarak, havzadaki yeraltısuyu potansiyeli ve kalite özelliklerinin belirlemesi amaçlanmaktadır.

Çalışmalar Jeolojik, Hidrolojik, Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal çalışma yöntemleri ofis, saha ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere üç aşamada yürütülmüştür.

Saha çalışmalarında bölgenin 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası revize edilmiş, jeolojik kesitler çıkarılmış. Bunun yanı sıra kayaçlar su bulundurmalarına göre de sınıflandırılarak hidrojeoloji haritasının hazırlanmış. Örnekler alındıkları anda EC, pH ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır.

Çalışma alanındaki meteoroloji istasyonundan sağlanan yıllık sıcaklık, yağış vb. meteorolojik veriler kullanılarak, yıllık yeraltı suyu bilançosu hazırlanmıştır.

Laboratuvar çalışmaları kapsamında, kimyasal analizlerden nitrat ve sülfat İstanbul Teknik Üniversitesi Hidrojeoloji Laboratuvarı'nda, diğer majör ve eser element analizleri ise Kanada ACME laboratuvarlarında yapılmıştır.

1.2 İnceleme Alanının Tanıtılması

Çalışma alanı, Marmara Bölgesi'nin doğusunda yer alıp, Kocaeli ili ve Sapanca ilçesi sınırları içinde bulunur. Sapanca Gölü, Doğu Marmara Bölgesi'nde, yer alan tektonik kökenli bir tatlı su gölüdür (Arman vd, 2009). Gölün içinde bulunduğu bölge, güneyde Samanlı Dağları, kuzeyde ise Kocaeli Penepleni olarak adlandırılmaktadır (Gürbüz vd. 2014).

1.3 İklim ve Bitki Örtüsü

İnceleme alanı, Karadeniz iklimi ile Akdeniz iklimi arasında bir geçiş iklimi özelliği gösterir. Kışlar kısmen ılık ve yağışlı, yazlar sıcak ve az yağışlı geçer. yıllık yağış miktarı bölgelere göre 768-1153 mm arasındadır.

Dağlar ormanlarla örtülüdür. Kocaeli topraklarının % 60'a yakını orman, fundalık, maki, zeytinlik ve kavaklık ile kaplıdır.

2 GENEL JEOLOJİ

Kuzey Anadolu Fay hattı çalışma alanını doğu-batı uzanımlı olarak ikiye bölmekte ve bölgeyi kuzey ve güney birimlere ayırmaktadır (Doğan vd. 2005). Yaşlarına göre birimleri incelerken kuzey-güney diye iki bölgede incelenmiştir.

Güneyde en yaşlı birim permo-triyas yaşlı Sultaniye Metamorfitleridir. Bunun üzerine sırasıyla Jura yaşlı Keltepe mermeri ve Akçay metamorfitleri ver almaktadır. Bu temel kayalar üzerine Örencik formasyonu çökelmiştir. uyumsuz olarak Kuzeyi incelediğimiz zaman permo-triyas yaşlı Çakraz formasyonun üzerine Akveren formasyonu onun üzerine Yığılca formasyonu çökelmiştir, üzerine Çaycuma formasyonu gelmiştir, yine üzerlerini Örencik formasyonu uyumsuz olarak örtmüştür. Örencik formasyonun üzerine güncel olarak alüvyon yelpazesi ve alüvyon örtmüştür (Şekil 1).



Şekil 1. Sapanca Gölü Havzasının jeoloji haritası.(MTA 2002'den revize edilmiştir)

3 HİDROLOJİ

Havzadaki yeraltısuyu potansiyelini belirlemek amacıyla meteorolojik bilanço elemanlarından yağış, buharlaşma, akış ve süzülme miktarlarını belirlemek amacıyla bilanço hesabı yapılmıştır. Sonuç olarak Sapanca Havzasında hesaplanan toplam beslenim 99,294 x 10^6 m³/yıl, toplam boşalım 99,258 10^6 m³/yıl ve beslenim-boşalım arasındaki fark 0,036 x 10^6 m³/yıl olarak hesaplanmıştır (Çizelge 1). Sapanca gölü batısından göle yıllık toplam akış 41,82 x 10^6 m³ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 1. Havza İçerisindeki Yağış, Buharlaşma, Akış (yüzey+yeraltı) Değerleri.

	Beslenim m ³ /vıl	Boşalım m ³ /vıl
Yağış Miktarı	99,294 x 10 ⁶	-
Buharlaşma	-	57,43 x 10 ⁶
Akış (yüzey+yeraltı akışı)	-	41,82 x 10 ⁶

4 HİDROJEOLOJİ

4.1 Jeolojik Birimlerin Hidrojeolojik

Özellikleri

Çalışma alanında yer alan jeolojik birimler fiziksel ve hidrojeolojik özelliklerine göre sınıflandırılarak hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 2). Hazırlanan haritada hidrojeolojik birimler pekişmiş formasyonlar ve pekişmemiş formasyonlar olmak üzere iki ana başlıkta incelenmiştir.

4.1.1 Pekişmiş formasyonlar

4.1.1.1 Mevzii veya irtibatsız Akifer

İnceleme alanında haritalanan Keltepe Mermeri ve Sultaniye Metamorfitleri içinde gözlenen Mermer seviyeleri "Bölgesel

İlişkisiz (Yerel) Akiferler'' olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 2. Sapanca Gölü Batısının Hidrojeoloji Haritası

4.1.1.2 Mevzii yeraltısuyu ihtiva eden formasyonlar

İnceleme alanında haritalanan Çaycuma formasyonu kalın kumtaşı bantlı kesimlerinden ve Yığılca formasyonu çatlaklı zonlarından dolayı mevzii yeraltısuyu ihtiva eden formasyonlar olarak sınıflandırılmıştır.

4.1.1.3 Yeraltısuyu ihtiva etmeyen formasyonlar

İnceleme alanında haritalanan Akçay metamorfikleri ve Sultaniye metamorfikleri yeraltı suyu ihtiva etmeyen formasyonlar olarak sınıflandırılmıştır.

4.1.2 Pekişmemiş formasyonlar

4.1.2.1 Yerel ve zengin akiferler

İnceleme alanında haritalanan alüvyonel ortamlar yerel ve zengin akifer olarak sınıflandırılmıştır. Malzemenin boyutuna, dizilişine, biçimine, homojen veya heterojen oluşuna kil ve silt boyutlu tanelerin azlığına ve sıkılık yüzdesine bağlı olarak su toplama potansiyeli değişmektedir.

4.2 Yeraltısuyu Dinamiği

Sapanca gölü batısında yeraltısuyu akış yönünü belirlemek amacıyla Ekim-2016 dönemi yeraltısuyu seviye haritası hazırlanmıştır (Şekil 2). Bölgede yeraltısuyu akım yönünün Sapanca Gölü'ne doğru olduğu görülmüştür.

4.3 Akiferlerin Hidrolik Parametreleri

Çalışma alanında bulunan akiferlerin Transmisibilite (T) ve Hidrolik iletkenlik (K) parametrelerini belirlemek amacı ile sondaj kuyularında yapılan pompaj deneylerinden elde edilen zaman-düşüm değerlerinden yararlanılmıştır. Hidrolik parametrelerin hesaplama yönteminin seçiminde öncelikle veri analizi yapılarak kuyuların dengeli rejime ulaştığı görülmüştür.

Dengeli rejim için geçerli olan "Dupuit Yöntemi" ve deney sonuçlarına ulaşılamayan kuyularda uygulanan " Ampirik Yöntem" ile hesaplanarak bu kuyulardaki hidrolik parametreler hesaplanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Çalışma alanında bulunan akiferlerin Dupuit yöntemine göre Transmisibilite (T) ve Permeabilite (K) değerleri

Kuyu No	Akifer Kalınlığı (e)	K (m/g)	T (m²/g)	Q (lt/s)
K-01- 292	55	0.038	3.450	0.5
K-02- 355	70	0.115	10.349	1.5
K-01- 282	29	1.807	52.414	5
K-01- 292	30	0.099	8.899	2

4.4 Su Kimyası

Bu bölümde, çalışma alanında bulunan kuyu ve kaynaklardan alınan su örnekleri Bu bölümde, çalışma alanında bulunan kuyu ve kaynaklardan alınan su örnekleri incelenmiştir. Bahsi geçen su örneklerinin kimyasal analizleri İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Hidrojeoloji ve Kanada'da bulunan ACME Laboratuvarları'nda yaptırılmıştır. Elde edilen bu sonuçlara göre, Çalışma alanından alınan suların anyon (HCO3⁻, Cl⁻, SO4⁻²), katyon (Na⁺, Ca⁺², K⁺, Mg⁺²), elektriksel iletkenlik (EC), hidrojen iyon konsantrasyonu kullanım (pH), suların amacına göre kalitelerinin belirlenmesi adına Piper ve Schoeller Diyagramları hazırlanmıştır (Şekil 3-4).



Şekil 3. Çalışma alanındaki kuyu ve kaynak sularının Piper Diyagramı üzerinde gösterimi (% mek/l)



Şekil 4. Çalışma alanındaki kuyu ve kaynak sularının Schoeller Diyagramı (1962) üzerinde gösterimi

Hidrojeokimyasal analiz sonuçları Piper diyagramında değerlendirilerek su tipleri belirlenmiştir. Piper diyagramına göre bölgedeki sular genel olarak Ca-HCO₃ tipi sular sınıfındadır. Su örnekleri Ca>Mg>Na>K ve HCO₃> SO₄>Cl şeklinde anyon katyon trendi sergilemiştir. Bu trend karbonatlı kayaçlardan gelen su trendi ile örtüşmektedir.

5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

alanında Çalışma yer alan birimler özelliklerine ve birbirleriyle olan ilişkileri dikkate alınarak Batı Pontid zonu ve Armutlu Almancak Arkotdağı zonu olarak iki bölümde incelenmiştir. Buna göre Batı Pontid zonunda Çaycuma Formasyonu, Yığılca Formasyonu, Akveren Formasyonu ve Çakraz Formasyonu gözlenmektedir. Armutlu Almancak Arkotdağı zonu üyesi Akçay Metamorfitleri, Keltepe Mermeri ve Sultnaniye Metamorfikleri bulunmaktadır.

Sapanca meteoroloji istasyonu verilerinden yararlanarak incelenen alandan Sapanca Gölü'ne yıllık ortalama 13x10⁶ m³ yeraltısuyu boşaldığı belirlenmiştir.

Çalışma alanında yer alan jeolojik birimler fiziksel ve hidrojeolojik özelliklerine göre; Pekişmemiş Formasyonlar, Yaygın zengin akiferler ve Bölgesel ilişkisiz (yerel) akiferler olmak üzere ve Pekişmiş Formasyonlar ise Bölgesel – ilişkisiz (yerel) Akiferler, Zayıf akiferler ve Çok zayıf akiferler olarak sınıflandırılmıştır.

DSİ tarafından bölgede açılan sondaj kuyularına ait pompaj verileriden yararlanılarak akiferelerin hidrolojik parametleri hesaplanmıştır.

Yapılan kimyasal analizler sonuclarında yerlatısularının Ca-HCO₃ tipinde, majör ve eser elementler esas alındığında Türk Standarları Enstitüsü (TSE-266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) İçmesuyu Standartlarının değerlerine göre içilebilir nitelikte oldukları tespit edilmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan kimyasal analizler yanında, insani tüketim amaçlı sularda aranılan radyoaktivite, pestisit ve bakteriyolojik analizlerin de periyodik olarak yapılması önerilmektedir.

Bir içme suyu havzası olan Sapanca Gölü'nün su kalitesini korumak amacıyla mevcut yasa ve yönetmeliklerde tanımlanan koruma kuşaklarına ve bu alanlardaki koruma önlemlerine uygun arazi kullanım kararlarının alınması ve yaptırımlara uyulması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Arman, H., İleri, R., Doğan, E., & Eren, B. (2009).
 Investigation of Lake Sapanca Water
 Pollution Adapazarı Turkey. *International Journal Of Environmental Studies*, 547-548.
- Bayrak, A. (2008). Sapanca Gölünün Hidrojeolojik, Hidrolojik ve Hidrolik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Su Bütçesinin Tespiti. s. 16-18.
- Doğan, B., & Gürer, F. (2005). Kocaeli Havzasının Tektono-Stratigrafik Oluşum Modeli Nedir? *Deprem Sempozyumu*, (s. 109). Kocaeli.
 - Gürbüz, A. (2014). Sapanca Gölü Yüzey Çökellerinin Dağılım ve Bileşim Özellikleri.?
 - Kahveci, E. (2015). Sapanca Gölü Su Bütçesi. 17.
 - MTA (2002). Maden Tetkik Arama.
 - Penman, H. L. (1948). *Natural Evaporation from Open Water, Bare and Grass.* London: Proc. R. Soc.
 - Schoeller, H. (1962). Les eauv souterrailnes.
 - Wilcox, L. V. (1995). Classification and Use of Irrigation Waters, U.S. Dept. Agriculture Circular.

The Impact of Ground Properties of Büyükçekmece Gürpınar Region (Istanbul) On The Bearing Capacity And Foundation Design

Ç. Culha, A. Orucov, M.E. Gök

Istanbul Technical University, Geological Engineering Department, Istanbul E. Bozkurtoğlu

Istanbul Technical University, Geological Engineering Department, Istanbul G. Şans

Istanbul Technical University, Geological Engineering Department, Istanbul

SUMMARY

This bachelor graduation design project within the scope of İstanbul Technical University, Geological Engineering department aimed to determine impact of ground properties of Büyükçekmece Gürpinar region on the bearing capacity and foundation design under different settlement conditions.

Variety office and research works has been performed to reach the main goals. Previous studies have been reviewed. Stratigraphy, regional geology and geology of studied area have been briefly explained. Two different type foundation design methods, Terzaghi's bearing capacity calculations, settlement behaviors and stress calculations in different soil types have been executed. As a result of these, the settlement behaviors and bearing capacity of different soil types in the field have been examined and compared. In addition, the importance using constitutive equation and compression coefficient for settlement and foundation design has been acknowledged. Also most suitable individual footing size and risky building loads were identified for studied field in Gürpınar region.

Keywords: Geology, Settlement, Foundation

ÖZET

İstanbul Teknik Üniversitesi lisans bitirme tasarım projesi kapsamında yapılan bu çalışmada Büyükçekmece Gürpınar bölgesindeki zemin özelliklerinin taşıma gücü ve farklı oturmalar altında temel tasarımlarına etkisi araştırılmıştır.

Bu amaç kapsamında çeşitli ofis ve araştırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Daha önceden bu bölgede yapılmış çalışmalar incelenmiş; stratigrafi, bölgesel jeoloji ve genel jeolojik özellikler özet olarak açıklanmıştır. İki farklı temel tipi (tekil ve radye) tasarımı, Terzaghi taşıma gücü hesapları, oturmalar ve gerilme dağılımları bölgede verilmiş olan 4 farklı zemin tipi için ayrı ayrı yapılmıştır. En uygun tekil temel boyutları ve risk teşkil eden yapı yükleri belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Jeoloji, Oturma, Temel

ABSTRACT

In foundation design and settlement, volumetric compression coefficient is the most crucial parameter for the study area. These parameters have been taken from consolidation tests that executed in previous thesis. Soil classes are well graded sand, clayey sand, well graded gravel and well graded clayey gravel. By using, volumetric compression coefficient, the most

suitable individual footing sizes are determined for 5 and 10 floors building and for all soil types. Consolidation tests have been done on %5 of clayey working area and calculated values do not fully represent whole area. Therefore, calculated settlements are reduced with coefficient that is 0,05. Individual footings have high risk about different settlements. That's why for the 10-story building, mat foundation is recommended. Results of settlements individual footing sizes are chosen as most appropriate for 5-floor building. For the 5 and 10-storey buildings and the depth of 1.5, 2.5 and 3.5 mat foundation designs and settlement calculations are done. It is seen that settlement and foundation depths are inversely proportional with each other. 2:1 method is used to see the additional stresses on the ground and its relation with the depth.

Terzaghi's bearing capacity theory is used to calculate maximum load that soil can bear. Square footings formula is applied all soil types and bearing capacity is calculated with the depth of 0, 1, and 2 meters.

Keywords: Settlement, volumetric compression coefficient, individual footing, raft foundation, bearing capacity

1 GENERAL GEOLOGY

1.1 Geology of The Region

Oligocene aged Gürpınar Formation, Miocene aged Cukurcesme and Bakırköy Formations and residual unit and filler were distinguished in the study area. Gürpınar Formation consists of gray, greenish claystone, siltstone, sandstone, and lenticular sand and sandstone levels between them. The sand, sandstone, conglomerate levels of Cukurçeşme Formation are mostly poorly fine cemented. The lithology is very thick and it has cross-bedding structures lateral and vertical transitions. Bakırköy Formation is mainly composed of white, thinmedium bedded, greenish gray clay, marl and limestone. Alluvial and estuary deposits are located on these units. Alluvial sediments are mainly composed of yellowish brown sand and silty clay. Estuary sediments consist of silty clay sediments, which are deposited, in a tranquil environment with a thickness of about 35 meters.

1.2 Stratigraphy

The sedimentary rocks of the Paleozoic sequence of Istanbul and the metamorphic rocks of the Strandja massif are separated by a fault plane called the West Black Sea Fault at the direction of N-NW in study area. In Neogene and after all the sediments are covered this fault plane. Furthermore, the presence of Eocene limestones is known above the İstanbul Paleozoic sequence and below Oligocene - Miocene sequence. These Eocene sedimentary units have unconformities with below and above units. The formations that are exposed in the study area are directed from top to bottom; Gürpınar Formation, Çukurçeşme Formation, Güngören Formation, Bakırköy Formation, also called Çekmece Group, and current alluvial

Above the Gürpinar Formation, Miocene sedimentary units are present. The first Miocene unit is Çukurçeşme Formation. This formation consists of gravelly sandstones with less fastened or non-fastened of about 25m -50m in thickness with clay beds or lenses in between. Çukurçeşme Formation has a transitional contact with Güngören Formation that consists of clay layers with greenish gray, light brown colored fine sand lenses. The uppermost unit distinguished in the Miocene sequence is called Bakırköy Formation with the thickness of 20 m. Bakırköy Formation is mainly composed of white, thin-middle layered, greenish gray clay, marl and limestone.

Alluvial and estuary deposits are located above the Bakırköy formation units. Alluvial sediments are mainly composed of yellowish brown sand and silty clay.

1.3 Structural Geology

The Oligocene aged Gürpinar Formation is mostly slightly inclined and almost horizontal. The dip directions are southward and the unit has angular unconformity with below units. The dip of the layers generally varies between 10-15 degrees.

Gürpınar Formation and Çekmece Group that consist of Çukurçeşme, Güngören and Bakırköy

Formations were generally influenced by epeirogenic movements. Çukurçeşme, Güngören and Bakırköy deposited Formations are on the Gürpınar Formation. These formations were also close to the horizontal and did not undergo deformation. The direction of the bedding of these units is in NW-SE. The dip of the layer can be correlated with stability. It is observed that high stability area where the ridges and hills, dips are horizontal while the dips are increased in the sections where the stability is loosed. The most important instability in the study area is the landslides that change the orientations of the strata and give them different directions. In the Cukurcesme and Bakırköy Formations, both NE and SW faults occur simultaneously with the formation and after the formation. Other important structural elements in the region are the distinct bedding planes in the Bakırköy limestones and fissures found intensively in the Gürpınar clay. Discontinuities are the one of the main structures causing the instabilities in the slopes of the region.

2 ENGINEERING GEOLOGY

This survey is concentrated on the gravelly, sandy, and clayey levels of the Gürpınar formation. For the design of foundations, it is needed to know physical parameters of this region. Water contents, specific bulk density, sieve analysis, soil classification and the consolidation tests were done. At the end of the consolidation tests, results were obtained for SC, SW, GW and GW-GC soils types in the area.

2.1 Consolidation

Consolidation test defined as time-dependent settlement process due to the increased stress on fine-grained units. In the previous thesis of Coşgun and Gökmen, consolidation tests were done for four different locations in the study area. These four location represent most of the area. Within the scope of the previous study, $m_V = -0.0736(a_v)^2 + 0.6473a_v + 0.0012$ equation was achieved. By using this equation mv values are found and the settlements are calculated.

Table 1. A_V min - A_V max values of soil types (Taken from Thesis of Cosgun and Gökmen, 2016).

SOIL TYPE	A _v min	A _v max
	0.056	0.215
<u> </u>	0,050	0,215
SW	0,031	0,404
GW	0,032	0,305
GW - GC	0,041	0,374

3 ENGINEERING DESIGN

3.1 FOUNDATION TYPES

Foundations are designed most sufficient sizes that bearing capacity of the soil must not be exceeded and settlement values must be tolerable. Foundations are divided into two categories as deep and shallow foundation based on the magnitude of load (e.g. building type and size), type of soil and bearing capacity. In this study shallow foundations are preferred which is defined as foundation that bears at a depth less than about 3 to 4 times its width. For the design of footings, building taken as 5 and 10 story with the area 16x24, and every story has distributed strain 13 kPa.



Figure 1. 3-D view of 5-storey building.

3.1.1 Individual footing

Individual footings are used when soil is reliable for the case of settlement and bearing capacity. They are designed for every column of the building. In this study, the dimensioning of the individual footing has been done provided that it is within the limits allowed in the regulations. Load that came from 5 story building is taken as 2500 ton and the footing sizes are 2x2. By using minimum and maximum coefficient of volumetric compression values settlement are calculated. Particle-size distribution curve shows that the clay represent the only 5% of the whole study area. That's why the all calculated settlement values are multiplied by 0,05. Settlement and base pressure values for SC soil type in 5 storey building are given in the figure.



Figure 2. Maximum and Minimum Settlements, Change of Base Pressure with Depth

3.1.2 Mat foundation

Mat foundation is defined as when soil is so loose and soil variety change frequently, and more than one line of column is supported by concrete slap. The reason of concrete slap is to prevent different settlement under the foundation. Design and settlement calculations are done for the foundation depth are 1,5 m, 2,5 m and 3,5 meters. Bearing capacities are calculated in the depth of 0,1 and 2 meters.



Figure 3. Change of Settlements with Depths

3.1.3 Terzaghi's Bearing Capacity

Bearing capacity of soils can be defined as the greatest stress that can be transferred to the ground without exceeding the shear strength and without any failure in the ground. Bearing capacities for individual and mat foundations, and 5 and 10 storey building are calculated.

4 RESULTS

In a 5-storey building with individual footing, the maximum settlement is calculated to be 1.68 cm on the SW soil, and this value is within the maximum permissible seating limits. The 10-storey building with individual footing, is again at the maximum settlement on the SW soil and is at 3.25 cm. This value is also within the maximum allowed total settlement limits. However, 10-storey building with mat foundation is recommended because of the individual footings is very likely to have a different settlement and the maximum settlement value approaches the maximum settlement limit of soil.

In the mat foundation, maximum permissible total settlement value is 12,5 cm. With the depths of 1,5m, 2,5m and 3,5m, 5 and 10-storey buildings with mat foundation, the maximum settlement value is calculated 9.66 cm on SW soil and its located at center of foundation. Settlement values are change from 0.12 cm to 9.66 cm in the center. Settlement values are change from 0.0054 to 3.43 cm in the corner. The settlements values did not exceed the permissible limits of mat foundation also.

Terzaghi ultimate bearing capacity is calculated on the basis of the depth of 0,1m and 2m. The rate of ultimate bearing capacity of soil is changes between the values 12,03 and 48,41 t/m² at 3 different depths. If the foundation depth is 0 in 5storey individual footing, net uniform base pressure exceeds the ultimate bearing capacity of soil. Therefore, it will also exceed those values of 10storey individual footing. Minimum foundation depth must be greater than frost line in corresponding district according to Specification for buildings to be built in seismic zones (2007). The stress coming from 10-storey individual footing building can be carried by GW soil type in the depth of 2m.

In the case of mat foundation net uniform base pressure is found by ratio between weight of building and total area of building. Stresses were calculated 3.81, 2.01and 0.21 t/m² for 2500 ton 5-storey building with mat foundation within depths of 1.5m, 2.5m and 3.5m. Moreover, stresses were calculated 10.32, 8.52 and 6.72 t/m² for 5000 ton 10-

storey building with mat foundation within depths of 1.5m, 2.5m and 3.5m. Ultimate bearing capacity does not exceed when it is considering the stresses came from 5 and 10-storey buildings with mat foundation.

ACKNOWLEDGMENT

I would like to give special thanks to our advisor Asst. Prof. Dr. ERKAN BOZKURTOĞLU for all guiding and informative support during this thesis preparation. I would like to give my best regards for his support Gökhan ŞANS.I am grateful to worked with my skillful thesis partners and friends Mutlu Ekin GÖK and Azad ORUCOV.

REFERENCES

Coşgun A., Gökmen K., 2016, Büyükçekmece Gürpinar Bölgesi Jeolojik Birimlerinin Zemin Sınıflarının Belirlenmesi ve Sıkışma Katsayısı ile Hacimsel Sıkışma Katsayılarının Hesaplanması, Lisans Tezi İTÜ Maden Fakültesi İstanbul.

Das, B. M., 2010, Principles of Geotechnical Engineering, Seventh Edition, Cengage Learning

Kumbasar, V. and Kip, F., 1969, Zemin Mekaniği Problemleri, İstanbul: Arı Kitapevi Matbaası.
Göl Suyu Askıda Katı Maddelerinin İz Element Jeokimyası, Acıgöl (Denizli) Trace Element Geochemistry in Suspended Matter of the Lake, Acıgöl (Denizli)

E. Arpacı, M. Karaman, M. Budakoğlu İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Acıgöl, Afyonkarahisar ve Denizli il sınırları içerisinde bulunan yüksek Na-Cl-SO₄ içerikli sığ, playa tektonik bir göldür. Gölde çeşitli sebeplerle oluşan askıda katı maddelerin iz element jeokimyasının değerlendirilmesinin yapıldığı bu çalışmada, askıdaki maddelerin iz element içeriklerinden kökenlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Haziran-2011 döneminde göl su kolonundaki asılı madde ve göl taban sedimanın iz element içerikleri ICP-MS cihazı ile belirlenmiştir. Göl su kolonunda asılı madde miktarı ortalama 65.6 mg/L seviyelerinde oldukça yüksektir. Yüksek AKM değerleri göle su girişinin ve sodyum sülfat üretimi amaçlı su çekiminin olduğu bölgelerdedir. Göl su kolonundaki asılı maddelerin iz element derişimlerinde yüksek değerler Sc, La, Se, Nd ve Th, Fe, As, Ni ve Ba'da görülür. Göl taban sedimanı ayüksek değerler Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Fe ve Sr elementlerindedir. Göl taban sedimanı ile göl su kolonunda asılı maddelerin iz element içerikleri karşılaştırıldığında göl tabanının oldukça yüksek değerlere sahip olduğu görülür. Her iki ortamda zenginleşen iz elementler göl su kolonundaki asılı maddelerin iz elementler göl su kolonundaki asılı maddelerin iz elementler göl su kolonundaki asılı maddelerin iz elementler göl su kolonunda asılı maddelerin iz element içerikleri karşılaştırıldığında göl tabanının oldukça yüksek değerlere sahip olduğu görülür. Her iki ortamda zenginleşen iz elementler göl su kolonundaki asılı maddelerin kökeninin göl taban sedimanı olduğu gösterir.

Anahtar Kelimeler: Askıda katı madde, Göl su kolonu, iz element, Nadir Toprak Elementi

ABSTRACT Acigol is a shallow, playa tectonic deposit with high Na-Cl-SO4 content within the borders of Afyonkarahisar and Denizli provinces. In this study, which is the evaluation of trace element geochemistry of suspended solid materials formed by various reasons in the lake, it was aimed to determine the origin of suspended materials from trace element contents. Trace element contents of suspended sediment in the lake water column and lake sediment were determined by ICP-MS device during June-2011 period. The amount of suspended matter in the lake water column is quite high at an average of 65.6 mg / L. High total suspended matter values are seen in areas where the lake feeding waters enter the lake and where there is water pumping for sodium sulphate production. High values in the trace element concentrations of suspended matters in the lake water column are observed in Sc, La, Se, Nd and Th, Fe, As, Ni and Ba. High values in lake bottom sediments are in Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Fe and Sr elements. When the trace element contents of lake bottom sediment and suspended matter in lake water column are compared, it is seen that the lake bottom sediment has very high values. The trace elements enriched in both environment indicate that the origin of the suspended matter in the lake water column is the sediment of the lake bottom.

Keywords: Suspended Metter, Lake Water Column, trace element, REE

1 GİRİŞ

1.1 Çalışma Alanı-Acıgöl

Acıgöl, yüksek oranda Na-Cl-SO4 konsantrasyonuna sahip tuzlu, sürekli, sığ, (playa havzası oluşturan) tektonik bir göldür. Gölün denizden yüksekliği 836 m olup derinliği ise 150 cm ile 210 cm arasındadır, yaz mevsiminde suyu azalır ve yer yer kurur. Göl suyu, sadece yağışlı dönemlerde akar durumda olan Kocaçay'ın sularıyla beslenmektedir. Ayrıca, gölün gideri yoktur. Bunun yanı sıra, gölün güneyinde fay yüzeyi boyunca konumlanmış olan Gemiş ve Akpınar kaynakları ise, yıl genelinde gölün büyük besleniminin bir kısmını sağlamaktadır.

Güneybatı Anadolu graben havzaları içinde yer alan göller içinde, gerek oluşumu gerekse sodyum sülfat içeriği ile Türkiye'nin sodyum sülfat üretiminin %85'ini karşılamakta olmasından ötürü ayrı bir öneme sahiptir (Mutlu ve diğ., 1999). Gölden glauber tuzu ve tenardit (susuz) gibi sodyum sülfat mineralleri üretilmektedir (Gündoğan ve diğ., 1995).

1.2 Çalışmanın kapsamı

Dentritik malzeme taşınımı etkisi, rüzgar vb. etkilerle gölün karışması sonucunda litolojik veya göl tabanındaki sediman birim partiküllerinin su kolonunda asılı kalması sıklıkla görülür. Göl su kolonunda asılı partiküllerin kökeninin (dentritik ya da göl tabanındaki sediman) ve partiküllerin iz element (Li, Be, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Ag, Cd, In, Cs, Ba, Tl, Pb, U, Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Th) içeriklerinin belirlenmesi bu çalışmanın kapsamını oluşturur.

2 YÖNTEM

Göl su kolonundaki asılı maddelerin iz element içeriklerinin belirlenmesi iki aşamadan oluşur.

2.1 Su kolonundan asılı maddelerin eldesi

Göl su kolonundan örneklenen göl suyundan öncelikli olarak asılı maddelerin eldesi ve gölün toplam askıda katı madde miktarı (AKM) belirlenir. AKM miktarının belirlenmesinde gravimetrik yöntem (EPA 160.2 Metodu) kullanılmıştır.

2.2 Asılı maddelerin iz elementlerinin analizi

Asılı maddelerin iz elementlerinin belirlnmesi; katı maddelerin asılı çözündürülerek sıvı çözeltiye alınması ve ICP-MS cihazı ile iz element analizi aşamalarını izler. Çözündürme işleminde kuru ve tartılmış numuneler selüloz nitrat filtre kağıtları ile birlikte 250 mL'lik beherlere konulur. Her bir behere 100 ml kral eklenerek, asitin kuruluğa suvu kadar buharlaştırılamasıyla çözümlendirme işlemi tamamlanır. Çözündürülmüş örnekler çözeltiler halinde 50 mL'lik tüplere stoklanır.

Analiz öncesinde çözeltiler mavi bant filtre kağıtları ile süzülmüştür. ICP-MS cihazı ile analiz öncesi, stok çözeltilerden iz metal ve REEs (nadir toprak elementleri) grubu için cözeltileri konsantrasyonları (trace ve REEs 10ppb-20ppb-30ppb-40ppbgrupları için) 50ppb çoklu kalibrasyon standartları ile her element icin kalibrasyon bir eğrileri oluşturulmuştur. Oluşturulan kalibrasyon eğrilerine göre, 0.94 L/dak Nebulizer gaz akışı koşullarında iz elementlerin derişimleri ppb seviyesinde belirlenmiştir.

3 SONUÇLAR

3.1 Gölde AKM

Haziran 2011 döneminde Acıgöl'de askıda katı madde miktarı 46,8 mg/lt ile 78,4 mg/lt arasında değişmektedir (Şekil 1). Gölü besleyen önemli kaynakların göle su girişinin etkisinin olduğu bölgelerde AKM değerleri yüksektir. Gölden sodyum sülfat üretim amaçlı su çekilmesi gölde kuzeyden-güneye su hareketini ve bu hareketin olduğu bölgelerde yüksek AKM değerlerinin görülmesine neden olur.



Şekil 1. Göldeki AKM dağılımı.

3.2 Asılı maddelerin iz element içeriğine göre kökeni

Asılı maddelerin iz element içerikleri sırasıyla Şekil 2, Şekil 3 belirtilmiştir. Buna göre sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.



Şekil 2. Göl su kolonundaki asılı maddelerin iz element içeriği-1.



Şekil 3. Göl su kolonundaki asılı maddelerin iz element içeriği-2.

- AKM'de, en yüksek anomaliyi skandiyum, lantan, seryum, neodim ve toryum (grup 2), demir, arsenik, nikel ve baryum (grup 3) iz elementleri göstermektedir.
- Göl tabanında Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm ve Fe, Sr elementlerinin yoğunlukta olduğu görülür.

- Göl taban sedimanındaki REE miktarı, göl su kolonundaki asılı maddelerin REE miktarından fazladır.
- Göl sedimanına göre su kolonunun düşük iz ve REE içeriği, göl sedimanı ve asılı maddelerdeki benzer iz elementlerin zenginleşme göstermesi, asılı maddelerin kökeninin göl tabanı olduğunu gösterir (Şekil 4, Şekil 5).



Şekil 4. Göl tabanı iz element içeriği-1.



Şekil 5. Göl tabanı iz element içeriği-2.

TEŞEKKÜR

Sunulan çalışmadan kullanılan örnek ve verilerde 110Y255 projesi kapsamında elde edildiğinden yazarlar TÜBİTAK'a, iz element analizlerinin yapılmasındaki katkılarından dolayı İTÜ-JAL'a teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR

- Budakoğlu, M., Abdelnasser A., Karaman M., Kumral, M., 2015. The rare earth element geochemistry on surface sediments, shallow cores and lithological units of Lake Acıgöl basin, Denizli, Turkey. Journal of Asian Earth Sciences. DOI: 10.1016/j.jseaes.2015.05.016
- Budakoğlu, M., Abdelnasser A., Karaman M., Kumral, M., 2014. Geochemical Approach of Rare Earth Element Distribution: A Case Study from

Lake Acigol, Denizli, Turkey. World Academy of Science, Engineering and Technology Geological and Environmental Engineering Vol:1, No:11.

- Budakoğlu vd., 2014. Acıgöl Gölü'nde Mekansal REE Jeokimyasal Modellemesi, Denizli,Türkiye: Mekansal Enterpolasyon ve Mekansal Korelasyon Analitik Yaklaşımı.
- Cullen, J.T., Field, M. P., and Sherrell, R. M., 2001. Determination of trace elements in filtered suspended marine particulate material by sector field HR-ICP-MS. J. Anal. At. Spectrom., 16, 1307–1312. DOI: 10.1039/b104398f
- Helvacı, C., 2016. High resolution climatic records of western Anatolia for the last 700 ka: Acigol lake sediments.
- Karaman, M., Taşdelen S., Budakoğlu, M., Kumral, M., 2010. Acıgöl'ü (Denizli) Besleyen Yeraltısularının Hidrojeokimyası, VI. Ulusal Hidroloji Kongresi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.

- Mutlu vd., 1999. Mineralogy and water chemistry of the Lake Acıgöl (Denizli), Turkey
- Carbonates and Evaporites 14(2):191-199
- Özdemir, M.A., Bahadır, M., 2009. Çölleşme sürecinde acıgöl (1970-2008). Coğrafya
- dergisi, Sayı 18, Sayfa 1-20, İstanbul.
- Peker, İ., 2007. Çevre mühendisliği Kimyası, BİRSEN YAYINEVİ. ISBN, : 9755114955, Kayseri, Standard Methods for the examination of water and wastewater, 20th Edn., APHA,AWWA,WEF 2540 B, www.ins.itu.edu.tr/cevre/labor/dokuman/Foyler/ AKM_UAKM.pdf
- Samsunlu, A., Çevre Mühendisliği Kimyası, Standard Methods for the examination of water and wastewater.
- Yiğiterhan, O., Murray, J.W., Tuğrul, S., 2011. Trace metal composition of suspended particulate matter in the water column of the Black Sea. Marine Chemistry 126 (2011) 207–228. doi:10.1016/j.marchem.2011.05.006

Kırklareli Demirköy Civarı Skarn Cevherleşmelerinin İncelenmesi

Investigation of Skarn Mineralization in Kırklareli Demirköy Province

E. Küçükdurmaz, E. Yeşil, G. Seçer, M. A. Kuru, Y. Çakıroğlu, M. Kumral İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Kırklareli ili yakınlarında yeralan Demirköy Plütonu çeşitli cevher yataklarının gelişmesini sağlamıştır. Bölgenin yerli taban kayası olan Istranca Masifi'nin üyesi karbonat nitelikli kayaçları ve söz konusu plüton nedeniyle bölgede skarn tipi cevherleşmeler gözlenmektedir.

Skarn cevherleşmelerine plütonun kenar kesimlerinde masif kökenli kireçtaşı-mermer formasyonlarında rastlanmaktadır. Bu cevherleşmeler wolfram ve molibden gibi diğer metalik maden yatakları ve diğer endüstriyel hammadde yatakları gibi önceden de bilinmektedir.

Bu cevherleşmelerin oluşturduğu yataklar demir ve bakır içeriklidir ve günümüzde kullanılmasalarda eski dönemlerde kullanıldığına ilişkin izler görülmektedir. Bu cevherleşmeler ekzoskarn tipindedir. Ancak araştırmalarda endoskarn zonlarına rastlanmamıştır.

ABSTRACT Demirköy Pluton, which is located near the province of Kırklareli, has developed various ore deposits. The carbonate-type rocks of the Istranca Massif, the indigenous base rock of the region, and the skarn type mineralizations in the region due to the pluton are observed in the investigation.

Skarn mineralizations are found in massive limestone-marble formations in the edge sections of the pluton. These mineralizations are also known beforehand as other metallic mineral deposits such as wolfram and molybdenum and other industrial raw material deposits.

The deposits formed by these mineralizations are of iron and copper content and there are signs that they are used in ancient times in today's usage. These mineralizations are of the exoskarn type. However, endoskarn zones have not been found in research.

Anahtar kelimeler: Skarn, Demirköy, Cevherleşme

Keywords: Skarn, Demirköy, Mineralization

1 GİRİŞ

Istranca masifi Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı, yer yer gnays düzeyinde metamorfizma geçirmiş ve bölgenin temel kayasını oluşturan bir masiftir. Bununla birlikte İğneada bölgesinde gözlenen, Istranca masifiyle uyumsuz Üst Kretase yaşlı birimler masif harici en yaşlı birimlerdir. Istranca masifi Kretase sonuna kadar Demirköy ve Dereköy bölgelerinde yoğunlaşan bir yayılım gösteren çeşitli plütonik dayklarla kesilmiş ve Eosen'den itibaren regresyona işaret eden konglomeralarla başlayan sığ denizel ve ardından karasal nitelikli kayaçlar gelişmiştir. Bununla birlikte masif içerisinde daha yaşlı mermerler de bulunmaktadır.

Araştırmaya konu skarn zonlarının gelişimi granitik ve/veya granodiyoritik sokulumların kalker içerikli kayaçlarla yaptığı kontak metamorfizmaya bağlıdır. Arastırma bölgesindeki skarn olusumu da vine Üst Kretase dönemindeki dalma-batma zonundaki tektonik aktiviteye bağlı olarak ortaya çıkmıştır ve Demirköy plütonunun kestiği en genç masif üyesi birim olan Kapaklı olarakta bilinen Dolapdere formasyonu kireçtaşına bağlı olarak gelişmiştir. Bu plütonun yaşı daha önce yapılan çalışmalarda Alt Kretase olarak belirlenmiştir. Bileşimi siyenogranitten kuvarsdiyorite doğru değişmektedir. Çevre kayalarda genel olarak termal ve verlesme tektoniğine bağlı olarak gelişmiş yüksek basınç metamorfizması gözlenmektedir. Bu nedenle cevre kavalarda kıvrımlanma, yapraklanma ve makaslama fayları bulunmaktadır (Aysal ve diğ., 2006, Görür ve diğ., 1983, Çağlayan ve diğ, 1990).

2 KIRKLARELİ İLİ MADEN POTANSİYELİ

Kırklareli ili, Demirköy ilçesi bölgenin jeolojik yapısı itibarıyla bazıları geçmişte işletilmiş, bazıları da potansiyel konumunda olmak üzere çok sayıda maden yatağı oluşumuna sahiptir. Bunun ana nedenlerinden biri bölgedeki plütonik dayklarla kesilmiş metamorfik masiftir (Aykol, 1979).

Istranca masifi Kırklareli ilinin kuzeyinde veralır ve belirgin mostralara sahiptir. Masif içerisinde mermer ocakları bulunmaktadır. Ayrıca masif üstündeki örtü kayalarda karbonat karakterlidir. Bunların üstüne kırıntılı Pleyistosen yaşlı Trakya havzası cökelleri gelmektedir. Masif, bölgedeki hammaddelerin endüstriyel metalik ve çeşitliliğinin kaynağı olarak kabul edilebilecek plütonik sokulumlarla kesilmiş durumdadır (Varol ve diğ., 2009). Bunun haricinde havzada hidrokarbon olasılığına istinaden sondaj çalışmaları ve jeofizik arama yöntemleriyle incelemeler yapılmaktadır.

Masifte yer alan çeşitli metalik maden yatakları geçmişte keşfedilerek işletilmiştir ve

öncelikle bakır-molibden-wolfram ile demir, manganez ve altın yataklanmaları bilinmektedir. Bunun yanında çoğunlukla masif içinde gelişmiş çeşitli endüstriyel hammadde yatakları da mevcuttur (Aykol, 1979).

2.1 Skarn Cevherleşmeleri

Skarnlar magmatik bir sokuluma bağlı olarak gelişen kayaçlardır. Bu şekilde gelişen kayacın skarn olarak adlandırılabilmesi için granitik sokulumun etkilediği kayacın saf kireçtaşı ya da dolomit olması gerekir. Aksi durumlarda oluşan kayaç hornfels (diğer bir adıyla boynuz taşı) olarak tanımlanmıştır.

Skarn olarak adlandırlan yataklar magmatik sokulumun kontak halinde olan kireçtaşıdolomitin Ca-Fe-Mg silikat mineralleri açısından zenginleştirmesiyle gelişirler. Oluşum yerlerine göre ekzoskarn ya da endoskarn olarak adlandırlırlar.

Skarn mineralleri belli bir oluşum sırası izler. Önce silikatlar, ardından oksitler ve en son olarakta sülfürlü mineraller gelişir.

Skarn mineralleri iri kristalli bir yapıya sahiptir, içerisine yerleştikleri kireçtaşları nedeniyle bantlı bir yapı gösterirler.

Oluşumlarının 3 aşaması vardır. İlk aşama gelişimini sokulumun ve kontak metamorfizmayı kapsar. Bu yerli kayaçta porozite artışına ve kayacın kırılganlaşmasına yol açar. Ardından ikinci aşamada maden cevheri olusan skarnlar gelisir ancak hidrotermal sıvıların yerli kayaçlara etki etmediği durumlarda cevher gelisimi görülmez. Son aşamada ise kalıntı sıvıların yan kayaca sızmasıyla süreç sonlanmaktadır (Akıska ve Demirela, 2014).

Skarn zonlarının arazide tespit edilmesi skarn mineral topluluklarını belirleyebildiği gibi, skarn zonlan ile skarn evreleri arasındaki ilişkinin nasıl geliştiğinin de anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır. Skarn mineralojisinin arazide haritalanabilir ölçeklerde bulunabilir ve potansiyel intrüzif kayaçlar etrafında bir alterasyon örtüsü (alterasyon halesi) olarak gözlenebilir olması, skarn zonlarının birbirleri üzerine ve ardışık olarak gelişmeleri ile skarnlaşmaya sebep olan intrüzif kayaçlann yerleşme (sokulum), kristallenme ve soğuma evreleri arasında ilişkiler kurulmasına yardım eder. Laboratuvarda yapılan incelemeler sonucunda, ince kesitlerde de görüldüğü gibi alınan numunelerde iç yapı metamorfizmayı çok güzel bir şekilde ortaya koymaktadır (Kuşçu ve Gençalioğlu, 2000).

3 BÖLGEDE GELİŞMİŞ SKARN CEVHERLEŞMELERİ

İnceleme alanında görülen sokulum yapan kayaç gabrotik diyorit olarak adlandırılan kayaçtır. Dış yüzey rengi koyu gri, iç yüzey rengi açık gri olup, minerallere ait küçük kristallerin başka minerale ait büyük kristallerin içine sokulduğu (inklüzyon) yapı tipi olan poiklitik dokuya sahiptir. İncelenen numene örneğinde plajiyoklaz, amfibol. kuvars bulmaktadır. Alınan örneklerden elde edilen analiz sonuçlanna göre bu kayacın gabrotik-diyorit olabileceği sonucuna varılmıştır.

Calışma konusu olan Fe-Cu-Skarn vataklarından alınan ilk örnek Sk-1 kodlu skarn cevheridir. Söz konusu numunede alterasyona bağlı sekonder yapıda aktinolit mineralleri almaktadır. ver Aktinolit kalsiyum, mağnezyum ve demir silikatları serisinde ver alan bir amfibol mineralidir. Aktinolit ve tremolit, zamanla klorite veya karbonatlara dönüşebilir. Bu sende yer alan ve değerlendirilen mücevher olarak nefrit minerali bir yeşim cinsidir. Silikat minerallerinden amfiboller grubuna dahil olan aktinolit genellikle düşük - orta mertebeli metamorfizmaya uğrayan bazalt ve diyabazlarla pelitik kayalarda oluşsa da bazı magmatik kayalarda da bulunabilir. Yeşil renklidir ve lifli veya iğneli bir yapıya sahiptir. İkinci mineral grubu olarak zengin amfibol mineralleri gözlemlenmektedir.

Istranca masifi içerisinde metamorfik serileri kesen plütonik kayaçlar, bölgede skarn nitelikli yataklarında dahil olduğu maden ve endüstriyel hammadde çeşitliğini oluşturmuştur.

4 SONUÇLAR

Bölgede yapılan arazi gözlemlerinde elde edilen veriler ekzoskarn zonlarına ait verilere ulaşılmıştır ancak endoskarn zonlarını işaret edebilecek oluşumlar bulunamamıştır. Bununla birlikte maden yataklarının varlığı çok önceden bilinmekte ve bu madenler işletilmiş ve bir kısmı halen işletilmektedir.

Bölgedeki skarn tip yataklar bakır-molibdenwolfram cevherlesmesi iceren Merkez-Dereköy sahası, Demirköy-Şükrüpaşa sahası, Demirköy-İkiztepe sahalandır. Bunların dışında vine bakır-molibden-wolfram yatakları gibi skarn kökenli manyetitlerden oluşan demir cevherleri de vardır ancak bu yatakların tenörü düşük olduğu için ekonomik değildirler ve şu anda işletilmemektedirler. Ancak bölgedeki demir cevherleri Osmanlı döneminde top dökümü amaçlı kullanılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın özveriyle yürütülmesi için göstermiş olduğu ilgiden dolayı danışman hocamız Doç. Dr. Mustafa Kumral'a teşekkür ederiz. Ayrıca çalışma sahasına ait haritaların hazırlanmasında ve saha çalışmasına yaptığı katkıdan dolayı Ar. Gör. Hüseyin Kocatürk'e ve tezin yazımı sırasındaki katkılarından dolayı Ar. Gör. Ali Tuğcan Ünlüer'e teşekkür ederiz. Laboratuvarda yürütülen analiz çalışmalarına katkısından dolayı Uzman Serena Sultanyan'a ve bütün İTÜ Jeokimya Araştırmaları Laboratuvarı Çalışma ekibine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akıska, S., Demirela, G., 2014. Handeresi, Bağırkaçdere ve Fınncıkdere (Kalkım, Yenice Çanakkale) Pb-Zn±Cu Distal Skarn Yataklarında Akışkanlann Kökeni. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni Yerbilimleri, 35 (3), 199- 218
- Aykol, A., 1979. Kırklareli-Demirköy Sokulumunun Petrolojisi ve Jeokimyası: *Doçentlik tezi*, İTÜ Maden Fakültesi, 204 s.(yayımlanmamış).
- Aysal, N., Hanilçi. N, Öngen. S., 2006.
 Karadoru Granitoid Plutonu Yan Kayaçlarının Petrografisi ve Skarn Zonunun Özellikleri, Yenice-Çanakkale.
 İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, C. 19, S. 2, SS. 183-194.
- Çağlayan, M.A., Şengün, M., ve Yurtsever, A., 1990. Demirköy Plütonunda Progresif, Kırılgan-Sünek Deformasyon, *MTA Dergisi*, 110, 131-142.
- Görür, N., Şengör, C., Akkök, R., & Yılmaz, Y., 1983. Pontidlerde Neo - Tetis'in Kuzey Kolunun Açılmasına ilişkin Sedimentolojik Veriler. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 11-20, Şubat 1933.
- Kuşçu, İ., Gençalioğlu, G., 2000. Karamadazı Demir Yatağında Skarn Zonlanması ve Mineralojisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni* Cilt 44, Sayı 3, Ayhan Erler Özel Sayısı.
- Varol, B., Baykal, M., & Ayyıldız, T., 2009. Trakya Havzası (Bozcada - Kıyıköy) Tresiyer Karbonatlarının (Soğucak Formasyonu) Sedimantolojik - Stratigrafik Değerlendirilmesi. *MTA Dergisi*, 139, 1-15.

Afşin - Elbistan Havzası Çöllolar Bölgesinde Yapılmış Sondajlar Yardımı ile Bölgenin Jeolojik Modelinin Oluşturulması

The Geological Model of Afşin-Elbistan Basin by Using Borehole Datas

G. Yanardağ, E.V. Yavuz İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

ÖZET Çalışmanın amacı, Afşin - Elbistan havzasındaki Çöllolar bölgesinin jeolojik yapısının, bölgede yapılan sondajlar yardımıyla modellenmesidir. Çalışma alanı; Kahramanmaraş'ın Afşin - Elbistan havzasında bulunan yaklaşık 20 km² büyüklüğünde bir bölgeyi kapsamaktadır. Afşin – Elbistan havzası; Türkiye' nin doğusunda, Malatya' nın 100 km batısında ve Kahramanmaraş' ın 73 km kuzeydoğusunda bulunmaktadır. Sahanın jeolojik modellemesi; jeolojik birimlerin oluşum ortamlarına göre belirlenmesi ve mekânsal açıdan değerlendirilmesi sonucunda sondaj verileri yardımıyla yapılmıştır. Bu litolojik birimler stratigrafik olarak en üstteki tabakadan en alttaki tabakaya doğru; karasal çökeller, göl çökelleri, taban kili ve temelde kireçtaşı olarak sıralanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Afşin – Elbistan Havzası, Çöllolar Sektörü, Jeolojik Model.

ABSTRACT The scope of this study is to create a geological model of Çöllolar region in Afşin - Elbistan basin by using data acquired from boreholes. The study area covers an area of 20 km² which is located at Afşin - Elbistan basin in Kahramanmaraş. This basin is located at the east part of Turkey, 100 km away from west part of Malatya and 73 km away from northeast of Kahramanmaraş. Geological model of the area is created with borehole data by defining formations based on depositional environment and spatial evaluation. The geological model consists of 4 lithological groups which are defined from top to bottom of a generalized stratigraphic section as terrigenous deposits, lacustrine deposits, clay and limestone, respectively.

Keywords: Afşin – Elbistan Basin, Çöllolar Section, Geological Model.

1 GİRİŞ

Afşin – Elbistan havzası; Türkiye' nin doğusunda, Malatya' nın 100 km batısında ve Kahramanmaraş' ın 73 km kuzeydoğusunda bulunur. Çalışma alanı; Kahramanmaraş' ın Afşin-Elbistan havzasında bulunan yaklaşık 20 km² büyüklüğünde bir bölgeyi kapsamaktadır (Şekil 1).

Bölgede, heyelanlar gerçekleşmeden önce birçok sondaj yapılmıştır. Yapılan sondaj sayısı yaklaşık 2000 olmakla birlikte; logu olan toplam 1152 adet sondaj bulunmaktadır. Çöllolar sektöründe yapılan sondajların istatistiki verileri Çizelge 1' de, çalışma alanındaki dağılımları ise Şekil 2' de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.

Sondaj Kodu	Toplam Sondaj Sayısı	Kullanılan Sondaj Sayısı	En Sığ Sondaj (m)	En Derin Sondaj (m)	Toplam Sondaj (m)	Sondaj Verimi (%)
A Kodlu	103	94	19	190	14039	91
G Kodlu	4	4	76	84	320	100
GS Kodlu	3	2	87	103	190	67
H Kodlu	16	13	47	120	1323	81
HİD Kodlu	2	2	400	425	825	100
HG Kodlu	79	79	12	151	9146	100
K Kodlu	13	4	163	174	671	31
KS Kodlu	5	5	26	31	138	100
OW Kodlu	204	132	20	174	14508	65
S Kodlu	717	707	48	156	64901	99
T Kodlu	102	101	53	184	15337	99
TK Kodlu	8	8	76	127	812	100
WB Kodlu	1	1	68	68	68	100
Toplam	1275	1152	12	425	122278	90

Çizelge 1. Çöllolar Sektöründe Yapılan Sondajların İstatistiki Verileri.

Bölgenin geçmişi incelendiğinde, Çöllolar açık ocak işletmesinde 6 Şubat 2011 tarihinde batı şevinde; 10 Şubat 2011 tarihinde ise doğu şevinde heyelanlar meydana gelmiştir.

10 Şubat 2011 tarihinde oluşan kayma 140 m yüksekliğindeki doğu şevinde; tahminen 1000 m uzunluğunda, 500 m genişliğinde bir alanda gelişmiştir. Yaklaşık 20 milyon m³ heyelan malzemesi çok geniş bir alana yayılmıştır.

Heyelanda 10 kişi kayan malzeme altında kalmış, bir işçi heyelandan ölü olarak çıkarılırken; biri jeoloji mühendisi, biri maden mühendisi olmak üzere 9 maden emekçisi ise halen heyelan malzemesi altında bulunmaktadır.



Şekil 2. Çöllolar sektöründe yapılan sondajların dağılımı.

Şekil 3' te çalışma alanının sayısal arazi modeli üzerinde, heyelan sınırları gösterilmiştir. Mavi ile gösterilen alan 6 Şubat 2011' de gerçekleşen ilk heyelanı, kırmızı ile gösterilen alan ise 10 Şubat 2011 tarihinde gerçekleşen ikinci heyelanı göstermektedir.



Şekil 3. Çöllolar sektöründe gerçekleşen heyelanların sınırları.

2 GENEL JEOLOJİ

Afsin–Elbistan havzası Alp orojenezi Toros Dağları'nın yükselmesi sonunda sırasında oluşmuş kapalı bir basendir. Bölgenin temelini Permo – Karbonifer yaşlı kireçtaşları oluşturur. Üzerinde taban kili olarak adlandırılan turkuaz renkli killer. uyumlu olarak çökelmiştir. Pliyosen Pliyokuvaterner yaşlı kömürlü istif, havzada kendisinden yaşlı tüm birimleri uyumsuz olarak üzerlemektedir. En genç birim olan siltli-kumlu çakıllı birimler, yer yer az tutturulmuş çoğunlukla gevşek olan, orta derecede yuvarlanmış çakıllardan olusmaktadır. Akarsu ortamında cökelen birim Kuvaterner yaşlıdır.

Yaklaşık 900 km² büyüklüğündeki havza, deniz seviyesinden 1200 m yüksekte olup, kuzeybatı ve kuzeydoğuya doğru deniz seviyesinden 1300 - 1350 m yüksekliğe ulaşmaktadır. Elbistan'ın batısında yer alan havzanın en alçak noktası güneyde yer almakta olup, bundan dolayı havzaya ait yüzey suları havzanın güneybatısına doğru boşalım yapmaktadırlar.

Havzadaki linyit yatakları, Şekil 3' de görüldüğü gibi, Çöllolar havzası ve kısmen Afşin havzası içerisinde bulunmakta olup yaklaşık 90 km² lik bir alanı kapsamaktadır. Havza, oluşum ve şeklini tektonik aktivitenin asınma ve tasınma islemleriyle ortak olarak yaptıkları etkiye borçludur. Toros ve Anti Toroslar arasında bir geçiş havzası olduğu Staesche (1972) tarafından kabul görmekte olup, havza sınırlarını belirleyen dikkat çekici geometrik yapı ve şekiller buralarda birçok süreksizlik yüzeyinin olduğunu ortava koymaktadır. Bu durum hem Staesche tarafından gerçekleştirilen harita çalışmaları sırasında hem de sayısız sondajlarda kesinlik kazanmıştır.

Bölgenin bugünkü tektonik görünüşü, jeolojik süreçte iki önemli olay tarafından yönlendirilmiştir. Bunlardan birincisi Alp orojenezi, diğeri ise havzanın çökmesidir. Alp orojenezi öncesi, özellikle erken Paleozoyik yaşlı tektonik hareketliliğe ait izler, daha sonraki tektonizmanın etkisiyle büyük ölçüde değişmiş; ancak lokal olarak bazı izler bugüne kadar gelebilmiştir.



Şekil 4. Afşin – Elbistan havzasının paleocoğrafik haritası (Staesche & Schloemer, 1972).

Elbistan havzasının çökmesi Pliyosen' de gerçekleşmiş olmalıdır. Yapılan sondajlarda, havza tabanında Pliyosen tabakalarının altında, Paleozoyik ve Mezozoyik zamana ait tabakalara rastlanmıştır. Bunun sonucu olarak havza çökmesi sırasında Miyosen' e ait çökellerin çoktan taşındığı ortaya çıkmaktadır. Havzanın çöküşü öncesi bir yükselme ve takiben bir erozyon meydana gelmiş ve bu da Miyosen denizinin gerilemesine yani Alt Miyosen' e denk gelmektedir. Havzanın çöküşü, ya da genel olarak dağların yükselişi, karasal çökelme zamanında devam etmiştir. Aynı zamanda olușmuș ve farklı süreksizlikler aynı hareketler Pleyistosen boyunca devam etmiştir. Havzanın çöküşü devam etmiş, havza kenarındaki süreksizlik sistemleri aktivitesini koruyarak gelişmiş ve Çöllolar ve Büyük Yapalak havzaları arasında Kızıldağ daha hızlı yükselerek ortaya çıkmıştır. Havza kenarında oluşmuş Kuvaterner yaşlı akarsu birikintileri, tektonik yükselme sonucunda dikleşmiştir. Havzadaki hareketlilik bugün hala devam etmektedir.



Şekil 4. Elbistan havzasına ait litostratigrafik - tektonik harita (Staesche & Schloemer, 1972).

Havzanın en önemli akarsuyu Ceyhan nehri olup, debisi ortalama 8 m³/s' dir. Ceyhan nehrinin havza içindeki önemli kolu Hurman çayıdır. Hurman çayı Afşin - Elbistan havzasının batısından başlayıp güneyinde havzayı terk etmektedir.

Bölgede linyit seviyesindeki yeraltı su durumu incelediğinde, bu kısmın çok az geçirimli ya da pratik anlamda geçirimsiz olarak kabul edilmesi gerekmektedir. Özellikle gidya biriminin porozitesi yaklaşık %50' dir ve bu birim bölgede basınçlı akifer olarak tanımlanabilir. Hidrolik iletkenliği ise yaklaşık 1x10⁻⁷ m/s' dir (Aydan ve diğ., 1996). Bu durum, gidya biriminin suyu tuttuğunu bir noktadan sonra ve taşıyamayacağı süreksizlik için oluşturabileceğini veya üzerindeki birimin sebebiyet verebileceğini kaymasına göstermektedir.

Bölgeden alınan kaolinit ve montmorillonit killerinin laboratuvar analiz sonuçları Çizelge 2' de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Kaolinit ve Montmorillonit Kıvam Limitleri (Yavuz, 2016).

	Likit Limit - w _L - (%)	Plastik Limit -w _P - (%)	Plastisite İndeksi - I _P -(%)
Kaolinit Ca ²⁺ - Form	74,2	31,4	42,8
Kaolinit Na ⁺ - Form	69,3	30,7	38,6
Montmorillonit Ca ²⁺ - Form	143,8	40,3	103,5
Montmorillonit Na ⁺ - Form	436,2	52,3	389,9

3 JEOLOJİK MODELİN OLUŞTURULMASI

Afşin – Elbistan havzası Çöllolar bölgesinin jeolojik modelinin oluşturulması için; Google Earth uydu görüntüsü, LIDAR verilerinden elde edilen bölgenin sayısal arazi modeli (DEM), bölgede yapılan sondaj verileri kullanılmıştır. ArcGIS ve AutoCAD çizim programları yardımıyla görselleştirilmiştir. Çöllolar sektöründe yapılan sondajların logları yardımıyla jeolojik birimler; karasal çökel, göl çökeli (gidya + kömür), taban kili ve temelde kireçtaşı olmak üzere 4 gruba ayrılmıştır. Bazı sondajlar bazı birimleri grubun yüzeyinin kesmediği için, her oluşturulması için kullanılan sondaj sayısı farklılık göstermektedir. Sondaj loglarında ilk görülen derinlik seviyesi referans alınarak, her grubun yüzey yapılarının modeli oluşturulmuştur. Elde edilen sonuç; en üstteki kahverengi birim karasal çökel grubundan başlamak üzere göl çökeli, taban kili ve temelde kireçtaşı olmak üzere Şekil 5' de gösterilmiştir.

₽.



Şekil 5. Yüzey yapılarının modeli.

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Afşin - Elbistan havzası, Alp orojenezi sonunda Toros Dağları' nın yükselmesi sırasında oluşmuş kapalı bir havzadır. Bu çalışmada bölgede bulunan birimler; karasal çökel, göl çökeli, taban kili ve temel kireçtaşı olarak 4 grupta incelenmiştir. Stratigrafik olarak en yaşlı birimden en genç birime doğru incelendiğinde; temel kireçtaşı, Paleozoyik dönemde oluşmuştur. Başlıca rekristalize kireçtaşından oluşan birim, sınırlı olarak dolomit, çörtlü kireçtaşı ile resifal kireçtaşı ve killi-kumlu kireçtaşı içerir. Temel kayanın üzerinde uyumlu olarak turkuaz renkli killer, taban kili, yer almaktadır. Pliyosen Pliyokuvaterner yaşlı kömürlü istif havzada kendisinden yaşlı tüm birimleri uyumsuz olarak üzerlemektedir. dağlarının Toros çökmesiyle yükselmesi ve havzanın Pliyosen'de bir göl oluşmuştur. Gidya denilen ve bol gastropot fosilleri, bitki artıkları ve humuslu oluşları ile karakterize edilen bu formasyon, gölün büyük kısmına çökelmiş kömür ile ara tabakalanmalardır. En genç birimler olan siltli - kumlu çakıllı birimler ve lehm birimi, Kuvaterner yaşlı olup geniş bir yayılım göstermektedir.

Bölgenin jeolojik yapısını anlamak ve kömür rezervinin hesabının yapılması amacıyla, sadece Çöllolar sektörü ve çevresinde 2000' e yakın sondaj yapılmış olup toplamda yaklaşık 217 km' lik sondaj açılmıştır. Ancak, bu çalışmada 2000 adet sondajdan yaklaşık 1200 tanesi kullanılabilmiştir. Sondajların sektör ve çevresine dağılımına bakıldığında homojen görülmüştür. Birbirine olmadığı yakın mesafede çok miktarda sondaj yapılmıştır. Bu yapılan sondajların, bölgedeki durum; çalışmaların maliyetini arttıran en önemli faktör olarak öne çıkmaktadır.

Havzadaki diğer sektörlerle birlikte toplam kömür rezervinin ise 3 milyar tondan fazla olduğu tespit edilmiştir. A ve B santrallerinin faaliyete geçmesiyle, buradaki kömür rezervi elektrik enerjisi eldesinde kullanılmaktadır.

Çöllolar açık ocak işletmesinde 6 Şubat 2011 tarihinde batı şevinde, 10 Şubat 2011 tarihinde ise doğu şevinde heyelanlar meydana gelmiştir. Sadece doğu şevindeki heyelanda, yaklaşık 20 milyon m³ toprak kayması gerçekleşmiştir. Bu heyelanlara

sebep olarak, karasal çökel ile göl çökeli zonunda bulunan arasındaki geçiş kil tabakasının sebep olduğu düşünülmektedir. Havzadan alınan karasal çökelden göl çökeline geçiş zonunda bulunan killerin incelenmesi sonucu, likit limit değerlerinin çok yüksek olduğu tespit edilmiştir. Göl çökeli grubunda değerlendirilen gidya biriminin porozitesi yaklaşık %50'dir ve bu bölgede basınçlı birim akifer olarak tanımlanabilir. Hidrolik iletkenliği ise yaklaşık 1x10⁻⁷ m/s' dir. Bu durum, gidya biriminin suyu tuttuğunu ve bir noktadan sonra suyu taşıyamayacağı için süreksizlik oluşturabileceğini veya üzerindeki birimin sebebiyet kaymasına verebileceğini göstermektedir. Dolayısıyla, ileride yapılacak detaylı bir hidrojeolojik çalışma sonucu havzanın drenaj sisteminin geliştirilmesi gerçekleştirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Afşin-Elbistan Çöllolar Açık Ocağı Heyelenları İnceleme Komisyonu Raporu. Jeoloji Mühendisleri Odası. www.jmo.org.tr/resimler/ekler/66db10 f3b6bfe7e_ek.pdf.
- Aydan, Ö., Ulusay, R., Kumsar, H., Ersen, A., 1996. Buckling Failure At An Open-Pit Coal Mine. *EUROCK '96 ISRM International Symposium*, Torino, İtalya.
- Besbelli, B., Karaca, K., Gökmenoğlu, O., 2009. Afşin – Elbistan Kömür Havzası HB ve HD Sektörlerinin Jeoloji, Rezerv ve Hidrojeoloji Raporu. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Staesche, U., Schloemer, W., 1972. Die Geologie des Neogen-Beckens von Elbistan/Türkei und seiner Umrandung. Stuttgart.
- Yavuz, E. V., 2016. Karşılıklı Görüşme. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Martabe High – Sulfidation Mineralization (Sumatra Island, Indonesia): Its Mineralogy and Genesis.

M. A. Akbar & H. B. Fithra Istanbul Technical University, Geological Engineering Department, Istanbul.

ASSOC. PROF. Dr. Emin Çiftçi

Istanbul Technical University, Geological Engineering Department, Istanbul.

ABSTRACT

Ramba Joring, which is one of the main ore bodies in Martabe gold deposit, occurred at depth between 200 and 700 m at temperatures between 150 and 300°C. It has 1.2 Moz Au and 5.0 Moz Ag and defined as high sulphidation epithermal system. The main purpose of the study is to understand the mineral paragenesis and the mineralogy of the ore body representing the Ramba Joring ore body in Martabe gold deposit. The methodologies that have been used to achieve the main purpose is subdivided into field studies (I) and laboratory studies (II). The methodologies for the field study are sampling and mapping while the methodologies employed in the laboratory studies including X-ray Powder Diffraction (XRD) and optical microscopic analysis which analyzing both petrographic thin section and ore microscopic polish section. 3D Modelling is used to visualize the ore body in 3D and to estimate reserves of the deposit before commencing any mining activities. The study in the regions shows that the host-rocks have been altered by hydrothermal fluids in multiple stages and the gold in the region was brought by the hydrothermal fluids into the system and deposited in the form of the vein. The highest grade of the gold content is found in the most oxidized rocks. The gold mineralization is mostly concentrated in the northern part of the study area and is found at the depth between 400 - 600 m.

Keywords: Geology, High Sulfidation Deposit, Gold Deposit.

Özet

Endonezaya'daki Martabe altın madeninin ana kütlelerinden biri olan Ramba Joring, 200-700 m derinlikte ve 150-1300 °C sıcaklıklarda oluşmuştur. Maden 1.2 Moz altın ile 5 Moz gümüş rezervine sahip olup yüksek sülfidasyonlu epitermal altın yatağı olarak tanımlanmıştır. Bu çalışma Ramba Joring cevher yatağının jenezini ve mineralojisini daha iyi anlamayı amaçlamaktadır. Bu amacın gerçekleştirilmesi için kullanılan metotlar arazi çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere iki başlık altında toplanabilir. Arazi çalışmalarında örnekleme ve haritalama çalışmaları gerçekleştirilmişken laboratuvar çalışmaları ise X-ışınları kırınım (XRD) yöntemi ile ince kesit ve parlak kesit incelemelerini kapsayan optik mikroskop çalışmalarından oluşmaktadır. 3D modelleme çalışması ile cevher kütlesi üç boyutlu olarak ortaya konulmuştur. Mineralojik çalışmalar yankayaların birden fazla safhada alterasyona uğradığını ve altın cevherleşmesinin hidrotermal çözeltilerce ortama getirildiğini ve damar şeklinde çökeldiğini ortaya koymuştur. Yatakta en yüksek altın cevherleşmesi en yüksek oksidasyona uğramış kısımlarda bulunmaktadır. Altın cevherleşmesi çoğunlukla çalışma alanının kuzeyinde yoğunlaşmış ve 400-600 m derinliklerde oluşmuştur.

1 INTRODUCTION

Martabe Gold Deposit is located in Northern Sumatra, Indonesia. It is one of the most precious Gold Deposit in Indonesia. Martabe Gold and Silver Deposit is an Epithermal High – Sulphidation type Gold Deposit and has 11 ore bodies including Ramba Joring, Purnama, Parbotikan, Plant Site, Tor Uluala, Uluala Hulu, Tol Uluala Barat, Barani, Partudungan, Horas, and Horas Barat. Ramba Joring ore body is the only ore body that has been focused for studying in this paper and will be discussed intensively. The gold mineralization in Martabe its self was discovered in 1997 and the exploration projects commenced since the discovery of the gold mineralization until the present day.

2 GEOLOGY

2.1 Geology of the Study Area

The Martabe prospect is located in western side of Sumatra Island along Sumatra fault which is the major structural control for mineral deposit. This deposit lies in the Sunda – Banda magmatic arc which includes a subduction zone and active volcanism to the east known as Barisan Mountain (Sutopo, 2013).

This region composed mainly of volcanic (porphyritic Andesite – Dacite) and volcanic breccia floored by Carboniferous – Permian basement in the Barisan mountains where parts of the Sumatran faults system tranverse (Barber et al, 2005). The metallic mineralization events in Sumatera started in Paleozoic and continue until Neogene time which now known as Neogene Gold Mineralization Belt (Crow and leeuwen, 2005). The gold mineralization in the region was brought by the hydrothermal water which derived from nearby magma. The magma was probably came from the porphyritic rock which located nearby the gold mineralization region.

The Martabe Gold and Silver Deposit located in the area of approximately 7 km including Ramba Joring prospect (Saing et al, 2015). The Ramba Joring ore body was deposited within relative simply two main broad lithological units, Volcanic Andesite – Dacite and Volcanic Breccia. Volcanic Andesite – Dacite is the domoinant in the region and indicate high level subvolcanic intrusion. The Volcanic Breccia have been highly altered and lie in allunite altered facies zone (Hanim & Hesty, 2015).



Figure 1: Location of Martabe Project, North Sumatra – Indonesia.

2.2 Hydrothermal Alteration and Zonation

The hydrothermal alteration in Ramba Joring produce 4 main facies that can be characterized by its mineral content. Most of the minerals in the host rock has been altered to clay and chlorite minerals, plagioclase (calcium rich feldspar) and like amphibole which is the typical minerals found in volcanic andesite and has been altered to clay minerals (alunite, kaolinite, dicktite, illite) and chlorite mineral respectively. According to this the facies are; Si alteration (silica), AA alteration (silica + alunite), AR alteration (kaolinite), PP alteration (chlorite). This zonation of alteration is divided based on field mapping, core sample logging, X-Ray diffraction analysis (XRD) and short-wave length infrared spectral analysis (ASD).

3 MINERALIZATION

Ramba Joring is an epithermal system shallow type deposit, it occurs in depth between 100 - 700 m and with low temperature between 150° C to $\sim 300^{\circ}$ C. The mineralization of gold formed in depth between 400 - 600 m, from the borehole data, the



Figure 2: XRD Analytical Graph

mineralization of gold, especially which has high grade only occurred in elevation between 450 - 600 m, and the trending of the mineralization looking to Northeast direction.

In Ramba Joring prospect, the Au – Ag mineralization mostly occurred in the zone where the hydrothermal fluid intruded to the surface which known by the combination of Advance Argilic alteration (defined as silica+alunite) and silica alteration (massive or vuggy silica). From the previous study, the mineralization in Ramba Joring occurred at least in 3 different stages (Hanim & Hesty, 2015). Every stages represents different kind of minerals and processes that can be studied for better understanding of the gold and silver mineralization process.

The path of the mineralization in Ramba Joring partly follows the formation of the breccia, however it cannot be stated that the breccia is the main control of the mineralization of high grade of gold because in some parts, the high grade of gold mineralization also found in the host rock of Volcanic Hornblend Andesite. In fact, Volcanic Hornblend Andesite mostly found to bear high grade of gold mineralization.

4 SAMPLES & METHODS

In order to achieve of studying the mineral paragenesis and mineralogical composition in Ramba Joring, the samples from the surface rocks, host rocks, and oxide rocks have been analyzed using XRD analysis. The host rocks, high silica altered rocks, and surface rocks samples are analyzed using petrographic microscope. Sulphide matrix rocks, the rock with vuggy silica texture, fluid inclusion, and oxide rock samples have been analyzed using microscopic ore mineral analysis.

Rutile and Goethite minerals are the main minerals in the rock bearing Au – Ag mineralization. The sample consisted of minerals which indicate the existence of Advance Argillic alteration and have been highly altered the rock sufficiently. The rock cannot be named after the minerals composition, because the rock that have Au – Ag mineralization have been highly altered, so the rock in this sample would be named the oxide rock duo to the highest oxide minerals composition in this sample. The existence of Kaolinite minerals show the rock has been washed by the hydrothermal water. The hydrothermal water has altered the feldspar minerals in the rock to be altered into clay minerals (Kaolinite with chemical composition $Al_2Si_2O_5(OH)_4$). The type of alteration can be distinguished by the existence of Kaolinite minerals, by the table 4 the alteration in this rock can be summoned as Advance Argillic alteration.

5 GEOLOGICAL MODELLING OF THE ORE BODY

Ramba Joring prospect contains 1.2 Moz Au and 5 Moz Ag and the mineralization mostly occurred in the zone where the hydrothermal fluid intruded to the surface which known by combination of Advance Argillic alteration and silica alteration. The highest grade of the gold mineralization at Ramba Joring prospect can be found in the oxide rock mostly consists of Hematite and Goethite. The gold



Figure 3: Ore Modelling of Ramba Joring Au – Ag Mineralization



Figure 5: Plan view of elevation 450m (upper) and 580m (below).

mineralization at Ramba Joring prospect mostly appears between the depth of 400 and 600m. The highest grade of the gold mineralization firstly occurred at the depth of 450m and gradually increased to 580m (figures 5). The gold mineralization grade slowly decreasing from the depth of 580m and later disappear after 600m depth.

6 CONCLUSION

In conclusion, the gold deposit in Ramba Joring ore body is derived from the hydrothermal water which caused alteration in the region. The highest oxidized rocks in Ramba Joring ore body have the highest gold mineralization content. The gold were brought by the magma/hydrothermal water which was in contact with the host rock. The rocks were altered causing the differentiation of the minerals.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank PT. Agincourt Resource and geologist teams for providing technical support, Istanbul Technical University and especially Assoc. Prof. Dr. EMİN ÇİFTÇİ for all guiding and informative support to complete this study. This study is part of bachelor thesis for both authors.

REFERENCES

- Barber, A. C. 2005. "Tectonic Evolution, in Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution." 234 - 259.
- Crow, M., J. & Barber, A., J. n.d. "Simplified geological map of Sumatra." Accessed December 6, 2016. http://mem.lyellcollection.org.
- Henim, L. & Hesty. 2015. "Geology Alteration and Mineralization Characteristic of the Ramba Joring Prospect, Martabe Project, North Sumatera, Indonesia." *Batangtoru: PT Agincourt.*
- Saing, S., Takashi, R. & Imai, A.. 2015. "Fluid Inclusion and Stable Isotope Study at the Southeastern Martabe Deposit: Purnama, Barani and Horas Ore Bodies, North Sumatra, Indonesia." *Resource Geology*. doi:10.1111/rge.12093.
- Sutopo, B. 2013. "The Martabe Au-Ag High -Sulfidation Epithermal Deposits, Sumatra, Indonesia: Implications For Ore Genesis and Exploration." PhD Thesis.

ÇANAKKALE İLİ BİGA İLÇESİ SARNIÇ KÖYÜ CİVARINDAKİ KALSİT SAHASININ JEOLOJİK – JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ ve EKONOMİK POTANSİYELİ

GEOLOGİCAL AND GEOCHEMİCAL PROPERTİES AND ECONOMİC POTENTİAL OF CALSİT AREA AROUND SARNIÇ VİLLAGE OF BİGA DİSTRİCT OF ÇANAKKALE PROVİNCE

M. Ülker, M. Kazımzade, R. Sezer İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Biga ilçesinin güney batısında yerleşen tersiyer yaşlı Kalabak birimi ve onun üyesi olan Torasan formasyonunun içerisinde bulunan rekristalize kalsit (mermer) oluşumlarının jeokimyasal ve jeolojik açıdan ve bölgenin potansiyel mermer sahasının ekonomik potansiyelin ve rekristalize kireç taşlarının termik santrallerinin emisyonunda kullanım yeterliliği incelenmiştir.

Mermer birimi içerisindeki deformasyonların gül ve kontur diyagramlarıyla yönleri belirlenmiştir. Kalabak birimine ait Torasan formasyonu ve Çamlık metagranodiyoritleri numuneleri cevher mikroskopisinde makro ve mikro ölçekli incelenmiştir. Kimyasal analizlerde XRD ve XRF teknikleri kullanılmış olup mineral içerikleri ve major oksitler belirlenmiştir. Torasan mermer üyesi numunelerindeki analiz sonuçlarında % 50 - 60 arası CaO major oksit tespit edilmiştir. Karakaya formasyonuna ait numune analizlerinde ise heterojen mineral içerikli numunelerin XRD sonuçlarında silisli major oksitlerle (SİO2) birlikte yapı içerisinde yüksek oranda %30 CaO tespit edilmiştir.

Ekonomik olarak inceleme alanına bakıldığında mermer birimlerinin potansiyel olarak gerek rezerv miktarı gerekse içerdiği yüksek CaCo3 oranı sebebiyle pek çok alanda kullanım özelliğine sahip olduğu tespit edilmiştir.

ABSTRACT Geochemical and geological aspects of recrystallized calcite (marble) formations within the inferior aged Kalabak unit and its member Torasan formation located in the south west of the Biga district have been investigated in terms of the economic potential of the potential marble area and the use of recycled limestones in the emission of thermal power plants.

The directions of the deformations in the marble unit are determined by the rose and contour diagrams. Specimens of the Torasan formation and Çamlık metagranodiorites belonging to the Kalabak unit were investigated by micro and macro scale at ore microscope. XRD and XRF techniques were used in chemical analyzes and mineral contents and major oxides were determined. In the analysis results of the samples of the Torasan marble member, 50-60% CaO major oxide was detected. In the Karakaya formation samples, 30% CaO was detected in the structure together with the silica major oxides (SiO2) in the XRD results of the heterogeneous mineral containing samples.

Economically, it has been found that the marble units have many uses of the area due to their high CaCO3 content, which is potentially a reserve amount.

1 GİRİŞ

Çalışma; Ocak - Nisan 2017 ayları boyunca saha, laboratuvar ve büro calısmaları olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Saha çalışmaları Çanakkale'nin Biga ilçesi Sarnıç köyü civarındaki 36 km^2 lik alanda gerçekleştirilmiştir. Çalışma "BANDIRMA H18-C4" paftasında 238.28 Hektarlık alanda yerleşen eski mermer sahasının ve çevresinin jeolojik özelliklerine iliskin bilgileri içermektedir.

Çanakkale-Biga bölgesinde Paleozoyik yaşlı granit kayacı ile Permiyen ve Triyas yaşlı metamorfik birimler ve Permiyen yaşlı kireçtaşı metamorfizması sonucu oluşan mermer alanının jeolojik, yapısal, petrografik ve jeokimyasal oluşumlarının belirlenmesi ve ekonomik olarak kalsit sahasının rezervini ve değerini hesaplanması lisans tezinin öncelikli amacıdır.

1.1 Çalışma yöntemi

Granit kütleleri ve metamorfiklerin ve karbonatlı kayaçların dokanakları yol boyunca takip edilerek belirlenmiş ve GPS yardımıyla konumları belirlenmiştir. Bu zonlardan ve bölgedeki birimleri temsil eden kayaçlardan numuneler alınmıştır.

Laboratuvar çalışmaları, araziden alınan numunelerin mineralojik, petrografik ve özelliklerinin belirlenmesi jeokimyasal gerçekleştirilmiştir. amacıyla İnceleme yapılan sahada alınan numunelerin XRF major tayinleri İstanbul Teknik Üniversitesi Fakültesi Aletsel Maden Analiz Laboratuvarında S8 - Tiger/Bruker cihazı ile yapılmıştır.

Saha ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen bulgular büro çalışmaları ile sürdürülmüştür. Jeolojik analiz sonuçları değerlendirilerek Geochemical Data Toolkit, Corel Draw ve Microsoft Office programları yardımıyla tablo, grafik ve şekiller oluşturulmuştur.

1.2 Çalışma bölümleri

Çalışma bölümleri Petrografik inceleme, Yapısal inceleme, Jeokimyasal inceleme ve Ekonomik inceleme olarak sıralanmıştır.

2 ÇALIŞMANIN YAPILIŞ ŞEKLİ VE KULLANILAN DENEYLER

Öncelile arazide konum belirlemek için gps kullanılmıştır. Alınan GPS verileri ve mostradan alınan örnekler karşılaştırılmış ve jeolojik harita çizimi esnasında formasyonları ve sınırlarını belirlemek için kullanılmıştır. Tabaka ve fay ölçümleri Brunton pusulasıyla yapılmıştır.

Laboratuvar ortamında ince kesit incelemelerinde optik polarizan mikrosobu minerolojik ve petrografik açıdan eldeki numuneleri belirleme için kullanılmıştır. Numuneler milimetre ölçeğinde kesilmiş olup ince kesit üzerinde polarizan mikroskopta incelenmiştir.

Jeokimyasal ölçekli analizlerde XRD ve XRF aletleri kullanılmıştır. Major oksitli minerallerin ölçümünde xrd kullanılmış olup okumaları sonucundaki mineral alet piklerine bakılarak ölcekli major minerallerin yüzdesi tespit edilmiştir. XRF alet okumalarında ise bilesikler tespit edilmiş ve LOI ölçümlerinde ise uçucu maddeler tespit edilmiştir. LOİ ve XRF sonucları birleştirilerek mineral bileşimi ve yüzdesi ortaya konulmuştur.

3 INCELEMELER

3.1 Petrografik inceleme

Yapılan ince kesit analizlerinde mermer dışındaki metamorfik birime ait kuvarsit ve hafif yönlü metakuvarsitler bölgede meydana gelmiş deformasyonlar sonucunda kataklastik dokular sergilemektedir. Ezik zonlardan alınan numunelerde yer yer hafif yönlenmeler söz konusudur. Kuvarsitler granoblastik dokuludur.

Metagranodiyorit dokanağına yakın alanlarda fels dokusu hâkimdir. Ayrıca bu alanlarda gözlemlenen metalik mineral zenginleşmeleri nedeniyle kayaç içerisinde opak minerallerin varlığı tespit edilmiştir.

Silis içerikli metamorfik türdeki kayaçlar ince kesit incelemelerinde bej-gri-siyahımsı genel renkli, heterojen renk dağılımlı ve az yönlü olarak gözlemlenmiştir. Ayrışma makroskopik olarak yoğun demir oksit getirimi şeklinde izlenmektedir. Mineral içeriği ve yapısal unsurları bakımından heterojen olduğu görülmektedir. Bazı numunelerde kuvarslar yer yer bir yönde uzamışlardır ve dalgalı sönme göstermektedirler. (Tablo 1 Şekil 1)

Bileșen	Modal Oran (%)
Kuvars	58-60
Diğer silikat mineralleri	20-22
Demir oksit	16-18

Tablo 1. Mineral bileşimi ve modal oranları.



Şekil 1. örneğin çift nikol mikroskop görünümü (kesit uzun ekseni 3 mm'dir).

3.2 Jeokimyasal inceleme

Biga yarımadasındaki bu kalsit sahasındaki jeokimyasal sonuçlara bakıldığında CaCO3 oranının yaklaşık %98 oranında olduğu MgO oranının %1 in altında olduğu, SiO2 oranının ise % 1 kadar olduğu analizler sonucunda ortaya konulmuştur. Bu sonuçlar alınan birimlerin yaklaşık genel jeokimyasal özelliklerini yansıtmaktadır.

Derlenmiş örneğin majör oksit (%) değerleri aşağıda verilmiştir. (Tablo 2)

Major oksitler			
ÇB-23			
Formula Concentratio			
SiO2	0,19%		
Al2O3	0,08%		
Fe2O3	0,02%		
MgO	0,48%		
CaO	55,68%		
K2O	0,02%		
P2O5	0,00%		
MnO	0,01%		
LOI	43,48%		
TOPLAM	99,96%		

Şekil 2. Numunenin majör oksit (%), değerleri

3.3 Ekonomik inceleme

İncelenen alanın ekonomik olarak da incelenmiş olup ekonomik alanlarda kullanımları açısında pekçok önemli veri elde edilmiştir. Özelikle kömür kullanılan termik santrallerde desülfirizasyon kullanımı açısından incelenmiştir.

Mermer sahasının görüldüğü yükseklik 661-536m olarak belirlenmiştir. Sondaj verileri olmadığı için mermer kalınlığı kalınlığı ortalama 60 metre ve ortalama yoğunluk 2.65 alınmıştır. Tahmini rezerv:

 $56.900\text{m}2 \text{ X}60\text{m}^{*}2.65\text{t/m}3 = 9.047.100 \text{ ton}$ olarak tespit edilmiştir.

Biga yarımadasındaki bu kalsit sahasındaki jeokimyasal sonuçlara bakıldığında CaCO3 oranının yaklaşık %98 oranında olduğu MgO oranının %1 in altında olduğu, SiO2 oranının ise % 1 kadar olduğu analizler sonucunda ortaya konulmuştur. Dolayısıyla dünyadaki kullanım standartlarına bakılarak uygun içerikdeki bu mermer sahasından elde edilecek malzemeler rahatlıkla kömür bazlı çalışan termik santrallerde desülfürizasyon için kullanılabilir.

Mermer olarak iri taneli olması ve oldukça kırıklı olması nedeniyle pek çok kimya endüstrisi alanında kullanılabileceği tesbit edilmiştir. 3.2 Yapısal inceleme

Bölge tektonik olarak incelendiğinde yoğun deformasyona uğramış olduğu ve birimlerin kendi içlerinde faylandıkları tespit edilmiştir. Litostratigrafik birimlerde dokanak ilişkisi genel olarak tektoniktir.

Ölçülen eklemlerin kinematik analizleri için, nokta-kontur ve gül diyagramları hazırlanmıştır (Şekil 2)



Şekil 2. Kalsit ocağı içerisinde 2 farklı lokasyonda ölçülen eklem değerlerine ait eğim yönü gül diyagramları.

Fayların türü ve doğrultuları incelendiğinde:

1.Evrede KB-GD yönlü sıkışma sonucunda KB-GD uzanımlı eğim atımlı faylar ve KD-GB uzanımlı sağ yönlü doğrultu atımlı fayın geliştiği söylenebilir

2. Evrede ise KB-GD yönlü bir açılma sonucunda ise KD-GB uzanımlı eğim atımlı fayların geliştiği ve KB-GD uzanımlı eğim atımlı fayları kestiği görülmektedir.

4 SONUÇLAR

görülen 1. Biga bölgesinin genelinde kalabak formasyonu Torasan ve kayaçlardan formasyounun metamorfik Torasan oluștuğu tespit edilmiştir. formasyonu Kalabak vine formasyonu içerisinde Camlık alan yer metagranodiyoritlerin sokulum yapmasıyla düşük metamorfizmaya maruz kaldığı tespit edilmiştir.

2.Bölge oldukça tektonik faaliyetler etkisinde kalmış dolayısıyla pek çok fayla kesilmiştir ayrıca çok fazla kırıklı çatlaklı deforme olmuş bir fiziksel yapıya sahip olduğu görülmüştür.

3.Încelemeler sonucunda kalsit oranının oldukça yüksek olduğu ve karbonatlı kayaçların yaklaşık % 98 oranında kalsit mineraline sahip olduğu tespit edilmiştir.

4.Ekonomik olarak birimlerdeki kalsit vapısı saflığı ve miktarı incelendiğinde kalsit minerallerinin dünya standartlarında pek çok kullanım özelliklerinin alanda olduğu gözlemlenmistir. Özellikle kömür bazlı desülfürizasyonunda termik santrallerin dünya standartlarında kullanılacak temizliğe ve CaCO3 oranına sahip olduğu tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Lisans Bitirme Tezi olarak hazırlanan bu calışmanın konusu öneren, çalışmanın her safhasında görüş değerli ve bilimsel katkılarını esirgemeyen, tezin tanımlamasında emeği olan hocamız sayın Mustafa Doç. Dr. KUMRAL'a teşekkürlerimizi sunarız.

Ayrıca tezin her aşamasında bize yardımlarını esirgemeyen Lokman GÜMÜŞ, Mustafa KAYA ve Muhammet KABİRU'ya, ince kesitlerin hazırlanmasında emeği geçen teknisyen Mehmet Ali ORAL'a teşekkürlerimiz sunarız.

KAYNAKLAR

Beccaletto, L.(2006) Geology, correlations, and geodynamic evolution of the Biga Peninsula (NW Turkey

Okay, A. I., Siyako, M.ve Bürkan, K. A. (1990). Biga Yarımadası'nin Jeolojisi ve Tektonik Evrimi, T. P. J. D, 2/1,83-121.

Okay, A.İ., Siyako, M.& Bürkan, K.A.1991. Geology and tectonic evolution of the Biga

Referans: Bu bildiri yazım klavuzu IMCET 2017 yazım klavuzundan uyarlanarak düzenlenmiştir.

Büyükçekmece Gürpınar Bölgesi Jeolojik Birimlerinin Zemin Sınıfı ve Geçirimliliğinin Belirlenmesi

Determination of the Soil Classifications and Permeability for Gürpınar Region, Büyükçekmece

N. Tuğ, E. Bozkurtoğlu, G. Şans

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET İstanbul ili Büyükçekmece ilçesi sınırlarında içinde bulunan ve Gürpınar belediyesi sınırlarında bulunan arazi, 15 – 20 yıl öncesine kadar buğday ve ayçiçeği yetiştirilen bir tarım arazisiydi. Gürpınar bölgesinin birinci derece heyelan bölgesidir. İnşaat çalışmalarının günümüzde iyice yoğunlaştığı bu bölgede gerçekleştirilen bitirme tasarım projesi kapsamında bölgenin zemin sınıfı belirlenmiş ve granülometrik eğrilerde ile her bir zemin sınıfına ait geçirimlilik değerlerinin değişim aralığı belirlenmiştir. Çalışılan alandaki sık görülen litoloji Oligosen yaşlı Gürpınar Formasyonu, Miyosen yaşlı Çukurçeşme, Güngören ve Bakırköy Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlardır. Zeminleri oluşturan danelerin zemin içindeki dağılımlarına ve su içeriklerine (muhtevasına) bağlı farklı davranışlar göstermesi, mühendislik özelliklerini etkilemektedir. Bu sebeple dane çaplarının ve su içeriklerinin belirlenip zeminlerin sınıflandırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Öncelikle, çalışma bölgesinde 20 farklı lokasyonda yapılan elek analizi ve kıvam limitleri deneylerinin sonuçlarından yola çıkılarak USCS'e göre zemin sınıflaması yapılmıştır. Çalışma alanındaki zeminlerin % 45'inin iyi derecelenmiş kum boyutlu, %50'sinin iyi derecelenmiş çakıl boyutlu, %5lik bir kısmının ise killi kum ve az miktarda çakıl boyutlu danelerden oluştuğu görülmüştür. ASTM D 2487 – 98 tarafından önerilen plastisite kartı ile yapılan incelerin sınıfları incelendiğinde ise çalışma alanının yaklaşık %35 inin düşük plastisiteli killerden, %30'unun düşük plastisiteli silt veya düşük plastisiteli organik zeminden, diğer %30'unun yüksek plastisiteli silt veya yüksek plastisiteli organik zeminden, %5'lik kısmının ise yüksek plastisiteli yağlı killerden oluştuğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Büyükçekmece, Zemin Sınıflaması, Zemin Geçirimliliği.

ABSTRACT The municipality of Gürpınar which is a low graduation municipality of Büyükçekmece that located in the district of Istanbul to be a farmland where the wheat and sunflower was grown about 15-20 years ago. Gürpınar is a primary landslide location. The soil classification of the study area was determined for the clay of the Gürpınar formation to propose a useful relationship between them for the senior design project. The ground classification is determined and with the granulometric curves the permability values range of variation of the area that is given. The dominant lithology at the working area is Oligocene aged Gürpınar Formation, Miocene aged Çukurçeşme, Güngören, Bakırköy Formation and Quaternary aged alluvium. Engineering features is affected by the different behavior of grains in the soil, which make up soil according to the dispersion and water content. For this reason, soil has to be classified by identifying grain size and water content. First, by using sieve analysis and consistency limit experiments solutions from 20 different locations at working area soil classification has been done according to USCS. It has been seen that at working area

the soil consists of 45% well graded sand, 50% well graded gravel and 5% clayey sand and small amount of gravel sized grains. While investigating the classification of fines' by suggested plasticity chart by ASTM D 2487 – 98 it is observed that the working area consist of 35% low plasticity clay, 30% low plasticity silt or low plasticity organic soil, 30% high plasticity silt or high plasticity organic soil and 5% high plasticity oil based clay. Keywords: Büyükçekmece, Soil Classification, Soil Permeability.

1 GİRİŞ

1.1 Çalışma Bölgesinin Tanıtımı

Lisans bitirme tez çalışması jeopolitik konumu neticesiyle ülkemizin en önemli ve en kalabalık şehri olan İstanbul İli Büyükçekmece İlçesi sınırlarında bulunan ve bir alt kademe belediyesi olan Gürpınar'da, 1:25000 ölçekli İstanbul - F21d4, İstanbul -F21d3, Bursa - G21a1, Bursa - G21a2 pafta sınırları içinde gerçekleştirilmiştir.

1.2 Çalışma Amacı ve Yöntemi

İstanbul Teknik Universitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Lisans Bitirme Tasarım Projesi için hazırlanmış olan bu calışma kapsamında İstanbul' un batısında ver alan Büyükçekmece ilçesinin belediyesi olan Gürpınar bölgesi ve civarında yüzlek Gürpınar formasvonunda bulunan veren analizinin killerin elek vapılması ve geçirimlilik potansiyelinin incelenmesi. ortamda bulunan ince daneli birimlerin özelliklerinin fiziksel tespiti. takibinde mühendislik jeolojisi modellemesi yapılması amaçlanmıştır.

2 GENEL JEOLOJİ

İnceleme alanında Oligosen yaşlı Gürpınar Formasyonu, Miyosen yaşlı Çukurçeşme Formasyonu, Bakırköy Formasyonu, rezidüel birim ve dolgu olmak üzere 3 farklı birim ayırt edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı stratigrafik kesiti (Üner B. & Öngen İ., 2009).

Çalışma alanındaki en önemli duraysızlık, tabakaların yönelimlerini değiştirip onlara farklı konumlar kazandıran heyelanlardır. Heyelanlar, Küçükçekmece gölüne bakan yamaçlarda gözlenmektedir ve başlıca KB-GD doğrultulu yamaçlarda gelişmişlerdir (Ercan, 1990).

Bölgedeki diğer önemli yapısal unsurlar Bakırköv kirectaslarındaki belirgin düzlemleri tabakalaşma ve Gürpınar killerinde yoğun olarak bulunan fissürlerdir. Yamaçlardaki duraysızlıklara neden olan ana yapılardan biri de süreksizliklerdir. Bu özellikler Üst Miyosen' de başlayan ve sonrasında devam eden yoğun bir tektonizmanın varlığına işaret etmektedir.

3 MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ

Mühendislik jeolojisi ortamları; yüzey örtüsü (su, toprak ve/veya yapay dolgu), ayrık kayaç (zemin), geçiş kayacı ve kaya olmak üzere sınıflandırmakta ve daha sonra da bu ortamların hidrolojik, fiziksel, kimyasal ve mekanik davranışlarını belirleyen ve yönlendiren özellik, nitelik ve koşullarını sayısal olarak belirtmeye çalışmaktadır.

3.1 Zemin Sınıfı

İnceleme alanında zemin sınıfını belirlemek için 20 lokasyondan örnekler alınmış ve bu örnekler üzerinde kıvam limitleri deneyleri ile granülometrik analiz yapılmıştır. Örneklerin alındığı lokasyonlar Şekil 2 ile gösterilmiştir.



Şekil 2. Örnek yerleri.

analizi) Grünolometri (elek farklı büyüklükteki tanelerden oluşan malzemenin boyu dağılımını belirlemek için tane yapılmaktadır. Deneyde Amerikan Standartlarına (ASTM E-11, 1961) uygun 31,5 mm ve 0.075 mm arasındaki elek açıklarına sahip 13 adet elek kullanılmıştır. Zemin numunelerinin granülometri eğrileri Şekil 3' de belirtilmiştir.



Şekil 3. Lokasyonlara ait granülometri eğrileri.

3.2 Kıvam (Atterberg) Limitleri

Atteberg limitleri deneyleri 40. nolu (0.425 mm) elek altına geçen malzeme ile gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4. Lokasyonlara ait plastisite kartı.

Zemin tanımlamalarına göre inceleme alanında zemin sınıflarının yayılımı Şekil 4 ile gösterilmiştir.

Zemin yayılım haritası incelendiğinde L/2.5' in SC, L/2.6' nın SW, L/2.7' nin GW, L/2.8' in GW – GC zemin sınıfında yer aldığı görülmektedir.



Şekil 5. Zemin sınıfı yayılım haritası.

3.3 Zeminlerin Geçirimlilik Değeri

Zemin sınıflarına ait geçirimlilik değer tanımlaması Çizelge 1 ile aşağıda verilmiştir.

Çizelge 1. İnceleme Alanı Zemin Sınıfları ve Geçirimlilik Tanımı.

Sinifi -	G	Tanım			
SIIIII	Min	Ort	Maks	1 411111	
ML OL	6.4x10 ⁻⁴	9.3x10 ⁻³	1.35x10 ⁻¹	Geçirimli	
MH OH	3.6x10 ⁻⁴	2.08x10 ⁻³	1.2x10 ⁻²	Geçirimli	
CH	2.43x10 ⁻¹	2.73x10 ⁻¹	3.04x10 ⁻¹	Çok Geçirimli	
CL	8x10 ⁻³	3.29x10 ⁻²	1.35x10 ⁻¹	Geçirimli	

3.4. Zemin Sınıfı Modeli

Lokasyonlardan alınan örnekler üzerinde yapılan deneyler sonucunda Çizelge 2 ile zeminlerin sınıfı, c_c ve c_u katsayıları ve geçirimlilik değerleri verilmiştir (Şekil 6)

Çizelge 2. Lokasyonlara Ait Zemin Dane Dağılımı ve Zemin Sınıfı Verileri

		Zemin		K Değerleri (cm/sn)		
Lokasyon	Cc	Cu	sınıfı k _n	k _{min}	k _{ort}	k _{max}
L 2-1	5.208	13.33	ML-OL	0.018	0.0225	0.027
L 2-2	1.911	23.35	ML-OL	0.00295	0.00445	0.00591
L 2-3	4.44	40	ML-OL	0.012	0.0135	0.015
L 2-4	1.1	27.5	ML-OL	0.00064	0.00096	0.00128
L 3	0.395	15.78	CL	0.01083	0.0121	0.01353
L 4	0.583	9.33	СН	0.243	0.2733	0.30375
L 6	1.983	26.66	MH-OH	0.00036	0.00054	0.00072
L 7	0.653	8.33	MH-OH	0.021168	0.02381	0.02646
L 8-A	0.462	16.66	MH-OH	0.027	0.03037	0.03375
L 8-B	0.93	23.33	MH-OH	0.01728	0.01944	0.0216
L 8-C	2.25	36.1	CL	0.008	0.01	0.012
L 9-A	1.083	23.076	CL	0.02028	0.0228	0.02535
L 9-B	1.031	7.33	CL	0.108	0.1215	0.135
L 10-A	1.6	10	CL	0.032	0.04	0.048
L 10-B	0.816	10	CL	0.032	0.04	0.048
L 11	0.583	9.33	ML-OL	0.108	0.1215	0.135
L 12-A	1.789	38.571	MH-OH	0.09408	0.10584	0.1176
L 12-B	0.486	6	CL	0.032	0.04	0.048
L 12-C	8	50	ML-OL	0.00512	0.0064	0.00768
L 12-D	0.444	16	MH-OH	0.08	0.01	0.012



Şekil 6. Lokasyonlara ait k_{ort} değerleri kontur haritası.

Şekil 6 incelendiğinde minimum ve ortalama geçirimlilik değerlerinin birincil olarak kuzey batıdan güneydoğuya ikincil olarak doğu batı doğrultusunda arttığı saptanmıştır. Maksimum geçirimlilik değerleri birincil olarak doğu batı yöneliminde arttığı ve ikincil olarak kuzeybatı güneydoğu olarak artığı gözlenmiştir.

4 SONUÇLAR

Günümüzde git gide inşaat çalışmalarının voğunlaştığı bu bölgede gerçekleştirilen bitirme tasarım projesi ile çalışma bölgesi sınırları zemin sınıfi belirlenmiştir. 20 farklı lokasyonda yapılan elek analizi ve kıvam limitleri deneylerinin sonuçlarından yola çıkılarak USCS'e göre zemin sınıflaması yapılmıştır. Böylece çalışma alanındaki zeminlerin % 45' inin iyi derecelenmiş kum boyutlu, %50' sinin iyi derecelenmiş çakıl boyutlu, %5' lik bir kısmının ise killi kum ve az miktarda çakıl boyutlu danelerden oluştuğu görülmüştür. İnce danelilerin sınıfları incelendiğinde ise çalışma alanının yaklaşık %35' inin düşük plastisiteli killerden, %30' unun düşük plastisiteli silt veya düşük plastisiteli organik zeminden, diğer %30' unun yüksek plastisiteli silt veya yüksek plastisiteli organik zeminden, %5' lik kısmının ise yüksek plastisiteli yağlı killerden oluştuğu belirlenmiştir.

Çizelge 2 ile sunulan lokasyonlara ait zemin sınıflaması ve geçirimlilik değerleri irdelendiğinde, düşük plastisiteli silt ve kil (ML-OL) karışımlarına ait ince daneli zeminlerin ortalama geçirimliliği 0.033 cm/sn dir. Bu dane boyutlarının ortalaması sayılabilecek düşük veya orta plastisiteli CL aralığındaki ince daneli zeminler ise 0.041 cm/sn geçirimliliğe sahiptir.

Yüksek plastisiteli inorganik siltlerden organik killere (MH-OH) kadar olan ince daneli zeminlerin ortalama geçirimliliği ise 0.032 cm/sn dir. Bu dane boyutlarının ortalaması sayılabilecek CH aralığındaki ince daneli yüksek plastisiteli inorganik zeminler ise 0.027 cm/sn geçirimliliğe sahiptir. Bu değerlendirmeler yardımı ile orta derecede geçirimli ve iyi drenaj özelliğine sahip zeminler olduğu genel pratik sonucuna varılabilir.

KAYNAKLAR

Ercan, A., 1990. Gürpınar Beldesi Yer mühendislik Projesi, Yeraltı Aramacılık.

Üner, B., Öngen, İ., 2009. Küçükçekmece (İstanbul) Sarmasiyen (Üst Miyosen) Balık Otolith' lerinin İncelenmesi, *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, Cilt. 22, s. 2, ss. 141 – 162.

Sandıklı Güney Doğusundaki Volkanik Kayaçların Petrografisi ve NTE Potansiyelinin Belirlenmesi

Investigation of Petrography and Determination of REE Potential in South East of Sandıklı

Ö.Taşdelen

İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji mühendisliği bölümü, İstanbul

T.Hüseynli

İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji mühendisliği bölümü, İstanbul

T.Ayvacı

İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji mühendisliği bölümü, İstanbul

ÖZET

Bu çalışmada, Afyonkarahisar iline bağlı Sandıklı ilçesinin güneydoğusunda yüzeylenen kayaçların jeolojik ve petrografik incelemesi yapılmış, elde edilen verilere göre volkanik kayaçlardaki Nadir Toprak Elementleri'nin (NTE) potansiyeli belirlenmiştir. Çalışma alanı 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritada Afyon L24-b3 ve L25-a4 paftalarında yer almaktadır. Saha çalışmalarında 1/25.000 ölçekli paftalar kullanılarak çalışma alanının jeolojik haritası revize edilmiştir. Bitirme tasarım projesi için saha çalışmasında 1/25.000 ölçekli topoğrafya haritası, jeolog pusulası, jeolog çekici, balyoz, murç ve GPS kullanılmıştır. Saha çalışması boyunca bölgede yer alan birimlerin formasyon sınırıları, dokanak ilişkileri belirlenerek jeolojik harita hazırlanmış, fotoğrafları çekilmiş ve yorumlanmıştır. Saha çalışmaları boyunca alınan örneklerin ince kesitleri yapılarak ve kimyasal analizleri yapılarak hem petrografik özellikleri hem de NTE potansiyeli araştırılmıştır. Örneklerin diğer bir kısmı İstanbul Teknik Üniversitesi Jeokimyasal Araştırma Laboratuvar'ına (JAL) gönderilerek aynı zamanda örneklerin içerik bileşimleri detaylı araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Volkanik, Petrografi, Afyonkarahisar, Jeokimya, Nadir Toprak Elementleri

ABSTRACT

In this study, the district of the South-East of Afyon Sandıklı surface geological and petrographic mining of rocks has been documented, according to data obtained from volcanic fractures within the rare earth Elements (NTE) potential. Workspace is locating in Afyon L24- b3, L25-a4 sheets of 1/25.000 scale topographic map. In field studies, geological map has been revised by using 1/25.000 scale sheet of the workspace. In field studies 1/25,000 scale topographic map, geologist's compass, geologist hammer, sledgehammer, hammer chisel and GPS are used for graduation design project. Throughout the field trip all formation borders, contact relations of geological units were identified and geological map was designed, photographs were taken and interpretations were made. Thin sections of samples taken along the field studies are done and made both chemical analysis of petrographic properties and REE potential was investigated. Other parts of samples are sent to the Istanbul Technical University Geochemical Research Laboratory (JAL) at the same time, the compound of contents are displayed in the detailed.

Keywords: Volcanic, Petrography, Afyonkarahisar, Geochemistry, Rare Earth Elements

1 GİRİŞ

Bu çalışma kapsamında Afyon iline bağlı Sandıklı ilcesinin güneydoğusunda yüzeylenen volkanik kayaçların jeolojik ve petrografik incelemeleri yapılmıştır. İnceleme Testikıran Tepesi, kuzeyde alanı Tepesi, batıda güneyde Bağırtlak Cicektepe doğuda ise Vadiyeri Tepesi sınırlı 25 km²'lik bir alanı ile kapsamaktadır. Bu alanda farklı yaş ve magmatik türdeki kayaçlar ve sedimanter kayaçlar yaygın mostra verir. Saha çalışması ile bölgenin 1/25000 ölçekli jeoloji haritası üretilmiş ve farklı birimlerden temsilci örnekler toplanmıştır. Bunu izleyen dönemlerde derlenen kavac örneklerinden ince kesitler hazırlanmış mikroskopta petrografik ve optik yapılmıştır. incelemeler Bunun yanında kayaçların parçalanması ve olası element iceriklerinin belirlenmesi için jeokimyasal analizler yapılmıştır. çalışmaların Tüm bu vanı sıra alanında yapılan inceleme önceki çalışmalar da irdelenerek tezin yazım aşaması tamamlanmıştır.

2 GENEL JEOLOJİ

Saha ve laboratuvar çalışmaları ve literatür araştırmaları sonucundan elde edilen verilere dayanarak çalışma stratigrafisi incelenmistir. alanının Bölgedeki jeolojinin en alt kısmında; Kretase dönemine ait Gökhacıdağ formasyonu almaktadır. bu ver formasyonda kirectasları neritik gözlemlenmiştir. Bu birimi Paleosen formasyonuna vaslı Göcen ait volkanik ara katkılı kumtasları ve bazik ultrabazik avrılmamış ve birimler takip ediyor. Göcen formasyonu Gökhacıdağ ve formasyonu arasında tektonik dokanak vardır. Bu oluşumları takip eden birimler ise Dereköy formasyonuna ait olan Orta Eosen yaslı kırıntılı ve kayaçlardan karbonatlı olusan çökellerdir. Bölgenin en genç birimi Üst Miyosen - Pliyosen dönemine ait volkanik birimler Kumalar

üveleridir. formasyonun Volkanik Kumalar Dereköv formasyonu üzerine uvumsuz formasyonun bir sekilde gelmiştir ve bu uyumsuzluk parakonformitedir. Son olarak da bahsedilen oluşum istifini Kuvarterner yaşlı alüvyonlar örtmektedir.



Şekil 1. Çiçektepe ve Kınık köyü çevresi jeolojik haritası.

3 DENEYSEL KISIM

alanından derlenen Calısma numunelerden elde edilen ana ve iz verileri element kullanılarak analizi petrografik yapılan numunelerin sınıflama jeokimyasal diyagramları çizilmiştir. Cizilen diyagramlarla iliskili detaylı açıklamalar her bir diyagramın altında



Şekil 2. Çiçektepe volkaniklerinin silisyuma göre potasyum diyagramı.

tot 27 beyaz

diyagramlarının TAS da üzere volkanik kavac doğruladığı örnekleri potasik-ultrapotasik olup silisyum karakterde düşük toprak içeriğinde olması nadir varlığını elementlerinin göstermektedir.

Analiz sonucları **GCDkit** programina uygun Excel formatina getirilerek, programa tanıtıldı ve TAS Le Bas al. 1986 sınıflamasından yararlanırarak, benzer kimyaya sahip silisyuma kavacların göre Harker diyagramları aşağıda çizilmiştir. Ba ve Sr değerleri örneklerde neredeyse sıfır diyagramlara olduğu için dahil edilmemiştir.



Şekil 3. Çiçektepe volkaniklerini oluşturan kayaç örneklerinin toplam alkali-silis diyagramında bulunduğu konumları.



Şekil 3. Volkanik kayaç örneklerine ait NMORB' a göre normalize edilmiş Spider Diyagramı.

Pb anomalisinin Yüksek varlığı kayaçların kıtasal kabuk kaynaklı bir kontaminasyona uğradıklarını Hafif nadir göstermektedir. toprak toprak elementlerin nadir ağır zenginlik elementlerine göre göstermesi magmada kristallenme esnasında kabuksal kökenli malzeme katkısının daha fazla olduğuna isaret etmektedir.



Şekil 4. Volkanik kayaç örneklerine ait kondirite göre normalize edilmiş Spider Diyagramı.



Şekil 5. Volkanik kayaç örneklerine ait ilksel mantoya göre normalize edilmiş Spider diyagramı

Kondrit, ilksel manto ve MORB'a göre normalize edilmiş spider diyagramlarının incelenmesi sonucunda kayaç örneklerinin özellikle LREE'lerce zenginleştiği, görülmektedir.

4 SONUÇLAR

Araziden alınan numuneler ince kesit getirilip haline petrografik incelemeleri yapılmıştır. İnceleme kayaçların volkanik alanı incelenmesiyle alan volkaniklerin fonolitik tefrit, tefritik fonolit, trakit ve bazalt olduğu anlaşıldı. İnceleme alanı ultrabaziklerin ise peridotit olduğu saptanmıştır. Bölgeye ait sedimanter kayaçların petrografik incelemesi yapılarak sedimanterlerin kireçtaşı ve kumtaşı oldukları sonucuna varıldı.

elde Jeokimya laboratuvarında edilen analiz sonuçları değerlendirilip, oluşturuldu. diyagramlar Bu sonuçları diyagramlar ve analiz incelendiğinde bölgedeki örneklerin potasik ve az silisyum içeren bir olduğunu yüzden vapıda ve bu bünyesinde daha çok hafif nadir toprak elementleri içerdiği tespit edilmiştir. Diğer bir yandan Spider diyagramlarında ise kayaçları

oluşturan magmanın Üst Miyosenden önce kıtasal kabuk tarafından kirlendiği doğrulanmıştır. Toryum, Lantanyum ve Seryum miktarları bize olasılıkla, bünyesine girilen mineralin apatit olduğunu göstermektedir.

TEŞEKKÜR

İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümünde yaptığımız Lisans Bitirme Tasarım Projesi'nde konu seçiminde ve hazırlanmasında bize yardımcı olan danışmanlarımıza Prof. Dr. Sezai KIRIKOĞLU'na ve Prof. Dr. Şafak ALTUNKAYNAK'a, ince kesitlerin hazırlanmasında emeği geçen Teknisyen Mehmet Ali ORAL'a sonsuz teşekkürlerimizi sunuyoruz.

Bitirme çalışması boyunca yardımlarını esirgemeyen, bizleri daim denetim altında tutan Ar. Gör. Alp ÜNAL'a , Ar. Gör. Ali Tuğcan ÜNLÜER'e ve Ar. Gör. Zeynep DÖNER'e teşekkür ederiz.

Çınarcık Havzası'nın Aktif Tektoniği ve Büyükada Güneyi Adalar Kıtasal Şelfinin Jeolojik Karşılaştırması

Active Tectonics of Çınarcık Basin and Geological Comparison with South of Büyükada in the Prince's Island Continental Shelf

T. Turgut, G. Uçarkuş

Istanbul Technical University, Geology Engineering Department, Istanbul

ÖZET Bitirme projesi, 4 ana bölümden oluşmaktadır. İlki, genel jeoloji alanında yapmış olduğum Büyükada arazi gezisi sonucunda gözlemlenen formasyonların incelenmesi, literatüre göre stratigrafik kesitinin çıkarılması ve bölgenin jeoloji haritasının çizilmesini kapsamaktadır. İkinci bölüm Çınarcık Havzası'ndan alınan 5 adet sismik kesidin literatür çalışması incelenerek deniz - göl geçişlerinin işaretlenip, kesitlerin kapsadığı alanın Holosen yaşlı kalınlık haritasının çıkarılmasını kapsamaktadır. Bu bölümde Çınarcık Havzası morfotektoniği üzerine çalışma yapılmıştır. Üçüncü bölüm ise c07 sismik kesidi üzerinden alınan MNTKS03 karotunun loglama çalışmasının yapılması ve MSCL, XRF ve tane boyu multi parametre deneyleri ile karot üzerinde belirlenen sismotürbiditlerin yaş modellemesi kullanılarak yaşlandırılmasını içermektedir. Son bölüm, Akdeniz'de gerçekleşen tsunami vakalarının Marmara Denizi'nde gerçekleşen vakalar ile karşılaştırmasının yapılarak olası bir tsunaminin incelemesini yapmaktır.

Anahtar Kelimeler: Büyükada, Sismik Kesit, Multi Parametre Analiz

ABSTRACT The graduation project consists of four main parts. First part is the analyze of Büyükada excursion, description of formations and construction of the geological map and stratigraphic section of the island. Second chapter covers the 5 seismic sections MARMA c05, c06, c07, c08 and c14. The marine - lacustrine transition boundaries were drawn on each of them, and faults were marked. That followed by the construction of a Holocene Sediment Thickness Map that was covered by the sections. This part also includes the general aspects of the morphotectonics of Çınarcık Basin. Third part was the sedimentological and multiparameter analysis of core MNTKS03. MSCL, XRF and Grain Size tests were done and the ages of seismoturbidites that were located on the core, was determined using age modeling, with the help of another core MNTKS10 which was very close to MNTKS03 both in location and in depth. Last part was to assess a possible tsunami in the Sea of Marmara by doing a comparison between past tsunami incidents in Mediterranean Sea and the Sea of Marmara. Keywords: Büyükada, Seismic Section, Multi Parameter Analysis

1 GENERAL GEOLOGY

1.1 Büyükada Excursion

The details regarding the excursion is explained in this section. The field trip took about three days, and around 30 locations are marked on the map. Previous studies regarding the study area was also used (Akyüz, H.S. 2010)

1.2 Formations of Büyükada

The Geology Map, a cross section and a stratigraphic section was constructed from the excursion data.

2 MORPHOTECTONICS OF ÇINARCIK BASIN

The general morphotectonic properties of Çınarcık Basin are studied. The locations of seismic sections to be analyzed are marked on a bathymetry map of the Sea of Marmara. Several publications were studied to gather background data regarding the subject (Uçarkuş, 2010; Armijo et al., 2002)

2.1 Seismic Section Analysis of Çınarcık Basin

Five sections taken from the Sea of Marmara are analyzed and the marine - lacustrine boundaries are marked based on previous studies (Uçarkuş, 2010; Eriş, 2012)

2.2 Thickness Map of Eastern Çınarcık Basin.

The thickness map of Holocene aged marine units was constructed. That way, the increasing thickness, the bend, towards north in result of the main northern branch of North Anatolian Fault is demonstrated.

3 SEDIMENTARY RECORDS OF THE EARTHQUAKES IN THE ÇINARCIK BASIN

3.1 Seismoturbidite Units of Sediment Core MNTKS03

Logging of the core MNTKS03 and sedimentological analysis of the core was done. 16 seismoturbidite units were determined.

3.2 Multi-parameter Analysis of core MNTKS03

MSCL, XRF and Grain Size tests were performed on the core. Seismoturbidite units were correlated with the acquired data, and were confirmed to be triggered bv earthquakes based on the peaks of elements that pointed at detrital input. Carbon dating tests were not done, so in order to date the units in the core, age modeling between core MNTKS03 and core MNTKS10 was done, which was very similar both in location and also in depth. So, all units were dated.

ID	D	Т
TH-1	1.05	790.9
TH-2	1.17	847.6
TH-3	1.61	1167.7
TH-4	2.23	1633
TH-5	2.45	1822.6
TH-6	2.86	2199
TH-7	3.10	2480.3
TH-8	3.27	2574.9
TH-9	3.40	2762
TH-10	3.68	3047.9
TH-11	4.20	3532.3
TH-12	4.53	3874.6
TH-13	4.73	4099.9
TH-X	5.50	5037.9
TH-14	6.21	5912
Th-15	6.78	6891.4
TH-16	6.86	7062.5

Table 1: Ages of turbidites located in MNTKS03 core generated by age correlation. ID: Name of the turbidite unit. D: Depth (m); T: Age (cal yr BP)

4 ASSESMENT OF A POSSIBLE TSUNAMI IN THE SEA OF MARMARA

Previous studies regarding the tsunami incidents of the Mediterranean Sea and the Sea of Marmara were studied and made comparison between them to assess any possible tsunami event that could occur in the Sea of Marmara.

5 RESULTS

My graduation project was to study active tectonics of Çınarcık Basin by gathering and evaluating data through different processes. These studies were field excursion, sedimentological and multi-parameter analysis of core MNSTKS03, analyzing seismic sections and sediment thickness map of Çınarcık Basin.

In my field trip, I have circulated Büyükada, which is the largest island of the Prince's Islands. In the excursion, around 30 locations were marked and the lithologies spatial relationships of the rock and formations were examined. With the gathered data, a geological map and a stratigraphic section is generated. 3 different formations were described which were in a conformable relationship with each other. Comparison that was made with the Prince's Island Continental Slope was in synergy with the lithology that was examined during the field trip.

For examining the morpho-tectonics of the Çınarcık Basin, studies regarding the sedimentary units of seismic sections were done and marine - lacustrine units were researched. With that gathered data, I was able to define the marine - lacustrine boundaries in five different seismic sections. Thickness map that was prepared by Carton was investigated and conclusion was done that the sediments were indeed getting thicker northwards direction because of the northern branch of NAF. Assessment of the Mediterranean Sea and the Sea of Marmara was done by investigation of the previous records of such incidents and the comparison of the run-up and the inundation values of the tsunamis.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thank you Ass. Prof. Dr. Gülsen Uçarkuş for being my advisor and for guiding me through this process.

Thank you Ass. Prof. Dr. Kadir Eriş for sharing critical information when I needed it and also for the guidance along the way.

Thank you M.Sc Nurettin Yakupoğlu and M.Sc Asen Sabuncu for being there whenever I needed them, both as assistants and also as colleagues.

REFERENCES

- Armijo, R., Meyer, B., Navarro, S., King, G. and Barka, A. 2002. Asymmetric slip partitioning in the Sea of Marmara pull-apart: a clue to propagation processes of the North Anatolian Fault?, *Terra Nova*, 14, 80-86.
- Eriş, K. K., Çağatay, N., Beck, C., and Mercier de Lepinay, B. 2012. Late-Pleistocene to Holocene sedimentary fills of the Çınarcık Basin of the Sea of Marmara. *Sedimentary Geology*, 281: 151– 165.
- Akyüz, H.S. 2010. Istanbul ve Yakın Civarının Paleozoyik İstifi, *Istanbul'un Jeolojisi Sempozyumu III,Bildiriler Kitabı, TMMOB-JMO Yayını,* ISBN: 978-9944-89-887-4, s 49-62
- Uçarkuş, G. 2010. "Active faulting and earthquake scarps along the North Anatolian Fault, in the Sea of Marmara", *Phd Thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul.

Büyükçekmece Gölü Doğusunun Hidrojeoloji İncelemesi Hydrogeology of the Eastern Part of Büyükçekmece Lake Basin

Y. Güneş, T. Altıok, B. Ayhan, R. Karagüzel, M. Erdoğan İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Büyükçekmece Gölü Havzası doğusunun hidrojeoloji incelemesinin yapıldığı bu çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde Bitirme Tasarım Projesi olarak hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında havzanın 1/50000 ölçekli jeoloji ve hidrojeoloji haritaları hazırlanmıştır. Florya Meteoroloji İstasyonuna ait veriler ve hidrolojik ölçümler değerlendirilerek su bilançosu hazırlanmıştır. Yıllık ortalama akış 54.513 x 10⁶ m³ ve süzülme ise 16.5 x 10⁶ m³ olarak hesaplanmıştır. Havzanın yeraltısuyu kalitesinin belirlenmesi için, temsili noktalarda yapılan yerinde ölçümler ve alınan örneklerin analizlerinden yararlanılmıştır. Fiper diyagramına göre bölgedeki yeraltısuları genel olarak Ca-HCO₃ tipi, ve tek bir örnek Na-HCO₃ tipi olarak sınıflandırılırmıştır. İncelenen yeraltısuyu örnekleri, TSE-266 ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) İçme Suyu Standartlarına göre, bazı örneklerde yüksek elektrik iletkenliği dışında içme suyu olarak kullanıma uygun oldukları görülmüştür. *Anahtar Kelimeler: Büyükçekmece Gölü, Hidrojeoloji, Yeraltısuyu, İçme suyu*

ABSTRACT This study, Hydrogeology of the Eastern Part of Büyükçekmece Lake Basin, was conducted as a finishing design project at Geological Engineering Department of Istanbul Technical University. In the scope of the study, geological and hydrogeological maps of Havan 1/50000 scale were prepared. The data for the Florya Meteorology Station and the hydrological measurements were evaluated and the water balance was prepared. The annual average flow is calculated as 54.513 x 10⁶ m³ and the filtration as 16.5 x 10⁶ m³. In order to determine the groundwater quality of the basin, on-site measurements at representative points and analyzes of the received samples were used. Using chemical analysis results, groundwater samples were classified according to Piper and Scholler. According to the Piper diagram, groundwater in the region is generally classified as Ca-HCO3 type and a single example Na-HCO₃ type. According to TSE-266 and World Health Organization (WHO) Drinking Water Standards, samples were found to be suitable for drinking water except for high electrical conductivity.

Keywords: Hydrogeology, Buyukcekmece Lake, Groundwater, Drinking water

1 GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı ve Yöntemleri

Bu çalışmada, İstanbul'un batısında bulunan Büyükçekmece Gölü'nün doğusunun hidrojeoloji incelemesi amaçlanmıştır.

Arazi çalışmaları kapsamında litolojik özelliklerinin tespiti için yüzlek veren birimlerde gözlemler yapılmıştır. Bölgenin jeoloji haritası ArcGIS ortamında hazırlanmıştır (Şekil 1). Florya meteoroloji istasyonundan sağlanan meteorolojik veriler kullanılarak, potansiyel buharlaşma, gerçek buharlaşma, akış ve yeraltına süzülen su miktarı hesaplanmıştır.

Litolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre sınıflandırılarak hidrojeolojik harita hazırlanmştır. Ağustos-Kasım 2016 döneminde, 7 adet kuyu ve 2 adet çeşmeden örnek alınmıştır. İnceleme alanındaki 14 sondaj kuyusuna ait veriler DSİ 14. Bölge Müdürlüğünden temin edilmiştir.
Kimyasal analizler, İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Hidrojeoloji laboratuvarları ve ACME (Kanada) laboratuvarlarında yaptırılmıştır.

1.2 İnceleme Alanının Tanıtılması

İnceleme alanı, İstanbul'un en önemli içme suyu kaynaklarından biri olan Büyükcemece Göl havzasının doğusunu kapsamaktadır. Çalışma alanı, 1/25.000 ölçekli topografik haritada yer alan İstanbul-F21d1, İstanbul-F21d3, İstanbul-F21d4 paftalarının sınırları içerisinde yer almaktadır. Büyükçekmece gölü doğuda Kaldırım Burnu ile batıda Bababurun arasında kalan dar ve sığ bir kanalla Marmara denizine bağlıdır. Büyükçekmece denizin istilasına gölü uğrayarak önce koy haline gelmiş, sonra lagün özelliği kazanmış eski bir vadi ağzıdır.

1.3 İklim

Büyükçekmece'de Marmara bölgesi ikliminin özellikleri görülür. Büyükçekmece'deki yıllık ortalama sıcaklık 14 °C; yıllık ortalama yağış ise 641 mm'dir. En sıcak ay ortalaması 23,2 °C ile Temmuz, en soğuk ay ortalaması 5,5 °C ile Şubat ayıdır.

2 GENEL JEOLOJİ

Çalışma alanının batısında Paleozoik yaşlı metamorfik birimler, doğusunda ise Karbonifer yaşlı Trakya formasyonu olarak bilinen kumtaşı, silttaşı ve kiltaşı ardalanması bulunmaktadır. Üzerine, Eosen yaşlı kirectaşı, kiltaşından oluşan Kırklareli marn ve formasyonu gelir. Kırklareli formasyonunun üzerinde ise inceleme alanındaki, heyelanların görüldüğü baslıca bulunmaktadır. Danişment formasyonunun üzerine gelen Ergene formasyonu, Miyosen yaşlı çökel birimleri oluşturmaktadır. Bu

formasyon, az tutturulmuş veva tutturulmamış çakıllı kum tabakaları ile arada kil tabakaları veya merceklerinden oluşmakta kalınlığı 20-30 m. arasında ve birimin değişmektedir. Bu birimin altında yer alan Danișment formasyonu 40 metre kalınlığında, yeşilimsi gri, açık kahverengi, ince kum mercekleri bulunan kil tabakalarından oluşur. Miyosen istifinde ayırt edilen en üst birim ise başlıca, beyaz, ince-orta tabakalı, arada vesilimsi gri kil tabakaları bulunan 10-15 metre kalınlığında marn ve kireçtaşından oluşan Bakırköy formasyonudur (MTA, 2004).



Şekil 1. Çalışma alanının jeoloji haritası.

3 HİDROLOJİ

Çalışma alanındaki ortalama yıllık yağış 641.3 mm, potansiyel buharlaşma 740.7 mm (Penman, 1948), gerçek buharlaşma 410.6 mm, akışa geçen su miktarı 235.0 mm olarak hesaplanmıştır. Burada yeraltına süzülen su miktarı yıllık 16.5x 10⁶ m³ bulunmuştur. İncelemem alanın emniyetli yeraltısuyu potansiyeli DSİ yaklaşımlarına (süzülme %70) göre yaklaşık 11x10⁶ m³ olarak kabul edilmiştir.

4.1 Jeolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

Birimler, hidrojeolojik özelliklerine göre geçirimli, geçirimsiz ve yarı geçirimli olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 2).

alanının tabanında yer alan İnceleme Kırklareli formasyonuna ait karstik kireçtaşları, Ergene formasyonunun kumluçakıllı düzeyleri ve Bakırköy formasyonuna kireçtaşları geçirimli birim ait olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca, özellikle gölü besleyen dere yataklarındaki alüvyonlar da geçirimli birim olarak sınıflandırılmıştır.

Danişment formasyonuna ait kum ve çakıllar yarı geçirimli olarak tanımlanmıştır. Bu formasyonda killerin hâkim olduğu bölgeler geçirimsiz özellik taşımaktadır.

Ergene formasyonunda kiltaşı ve marnlar hakimdir, bu nedenle geçirimsiz birim olarak kabul edilmiştir.Süloğlu formasyonunun alt kısımlarda şeyl-silttaşı ve üst kısımlarda kumtaşı-kiltaşı ardalanmaları geçirimsiz birim olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 2. Çalışma alanının hidrojeoloji haritası.

4.2 Akiferlerin Hidrolik Parametreleri

DSİ 14. Bölge Müdürlüğünden temin edilen pompaj deney sonuçları kullanılarak Hidrolik iletkenlik (K) ve Transmisibilite (T) değerleri hesaplanmıştır. Pompaj verilerinden üretilen zaman-düşüm grafiklerinin dengeli rejimi temsil ettiği görülmüştür. Akifer parametrelerinin hesabında Dupuit yöntemi uygulanmıştır. Hidrololik iletkenlik 10⁻⁷ m/sn mertebesinde bulunmuştur (Çizelge 1)

Çizelge 1. Çalışma alanında bulunan akiferlerin Dupuit yöntemine göre hesaplanan Transmisibilite (T) ve Permeabilite (K) değerleri

Su Kuyusu	K (m/gün)	T (m²/gün)	e (m)	Su Kuyusu	K (m/gün)	T (m²/gün)	e (m)
DSI_KN1	0,0949	4,7473	50	DSI_KN8	0,0328	2,6228	80
DSI_KN2	0,0238	1,3096	55	DSI_KN9	0,0105	0,7912	75
DSI_KN3	0,0242	0,9925	41	DSI_KN10	0,0264	1,5824	60
DSİ_KN4	0,0599	2,1578	36	DSI_KN11	0,0345	0,8631	25
DSI_KN5	0,0215	1,7200	80	DSI_KN12	0,0058	0,7303	125
DSI_KN6	0,0131	1,3096	100	DSİ KN13	0,0297	2,3736	80
DSI_KN7	0,0634	4,1191	65	DSI_KN14	0,0162	1,4607	90

4.3 Su Kimyası

Çalışma alanından temsili 9 adet yeraltısuyu örneği alınmıştır. Yeraltısularına ait kimyasal analiz sonuçları değerlendirilerek (Çizelge 2), Piper ve Schoeller diyagramları hazırlanmıştır (Şekil 3-4).



Şekil 1. Çalışma alanındaki kuyu sularının Piper Diyagramı üzerinde gösterimi

Şekil 4. Çalışma alanındaki kuyu sularının Schoeller Diyagramı (Schoeller, 1962) üzerinde gösterimi



Çizelge 2. Yeraltısuyu örneklerinin fiziksel ve kimysal analiz sonuçları.

Kuyu no	рН	EC (µS/cm)	Na+ (mek/l)	Ca ⁺² (mek/l)	Mg ⁺² (mek/l)	K⁺ (mek/l)	Cl [—] (mek/l)	SO ₄ ⁻² (mek/l)	HCO3 (mek/l)	SAR	%Na	۴r°
KN1	8.2	850	1.36	3.64	4.58	0.18	5.13	0.83	73.07	0.72	13.93	41.1
KN2	8.8	910	3.57	4.19	1.69	0.17	7.83	2.83	78.58	2.08	37.11	29.4
KN3	7.9	730	2.22	3.6	1.42	0.04	5.1	0.25	70.45	1.4	30.49	25.1
KN4	7.6	1550	2.45	8.93	1.5	4.04	6.39	2.08	178,16	1.07	14.48	52.2
KN5	9.2	2250	25.12	0.31	0.38	0.19	6.5	7.25	18.13	42.58	96.62	3.5
KN6	7.1	1790	3.6	12.35	2.03	0.08	7.1	2.5	243.15	1.34	19.93	71.9
KN7	8.2	7710	2.47	4.71	4.35	0.07	3.49	2.08	95.49	1.16	21.29	45.3
KN8	7.9	6780	6.51	3.11	4.55	0.2	5.69	3.08	64.83	3.32	45.3	38.3
KN9	7.3	6180	2.63	8.35	2.38	0.05	2.85	1.17	168.06	1.13	19.61	53.7

Yeraltısularının sertlik değerleri 3.5-71.9°Fr arasında olup, çok yumuşak sulardan çok sert sulara kadar değişim göstermektedir. Ölçülen pH değerleri 5 numune için TSE 266 standart değer aralığındadır. KN2 (8.8) ve KN5 (9.2) nolu örneklerin pH değerleri ise daha bazik sular olarak bulunmuştur. Schöllere göre yeraltısularının katyon trendi Ca>Mg>Na>K, anyon trendi ise HCO₃>Cl>SO₄ şeklindedir. Piper diyagramına göre bölgedeki yeraltısuları genel olarak Ca-HCO₃ tipi ve KN-5 nolu örnek Na-HCO₃ tipi olarak sınıflandırılmıştır. 350 m derinliğindeki bir sondaj kuyusundan alınan ve göreceli olarak klorür ve sülfat değerlerinin de daha yüksek olması derin dolaşımlı su olması ile açıklanmaktadır.

Yeraltısuyu örneklerimiz fizikokimyasal özellik, sağlığa ve içilebilme özelliğine etki eden maddeler ve zehirli toksik maddeler açısından, Türk Standartları Enstitüsü (TSE266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 1971) standartları ile kıyaslanmıştır (Çizelge 3). Cizelge 3. Türk (TSE-266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) İçme suyu Standartlarının Çizelge 3.Tavsiye Edilen ve Maksimum İzin Verilen Değerleri ile inceleme alanıne ait örneklerin kimyasal analiz sonuçları

		TSI	E-(266)		Alınan
PARAMETRE	BİRİM	Tavsiye Edilen	Maksimum İzin verilen	WHO	Orneklerin Min-Max Değerleri
F	izikokim	IYASAL Ö	ZELLİKLER		
рН		6.5	8.5	9	7.1 – 9.2
İLETKENLİK	μs/cm	400	2000	-	730 7710
KLORÜR	mg/l	25	600	250	101 - 278
SÜLFAT	mg/l	25	250	250	12 - 348
KALSİYUM	mg/l	100	200	-	6,19 - 247
MAGNEZYUM	mg/l	30	50		4.64 - 55.82
SODYUM	mg/l	20	175	200	31.36 - 577.83
POTASYUM	mg/l	10	12	4	1.49-158.02
SAĞLIĞA ve/veya İG	ÇİLEBİLM	E ÖZELLİ	ĞİNE ETKİ E	DEN MA	DDELER
AMONYAK	mg/l	0.05	0.5	1.5	-
NİTRAT	mg/l	25	50	50	1.2 - 18.4
NİTRİT	mg/l	-	0.1	0.2	-
ALÜMİNYUM	μg/l	50	200	200	<1 - 16
BOR	μg/l	1000	2000	500	24 - 1706
MANGAN	μg/l	50	200	50	<0.05-66.94
BAKIR	μg/l	100	3000	2000	0.5 - 9.5
ÇİNKO	μg/1	100	5000	3000	<0.02-0.09
FOSFOR	μg/l	400	5000	-	<10 - 1326
FLORÜR	μg/l		1500	1500	21
BARYUM	μg/l	100	300	700	22.09 - 256.03
	ZEHİRLİ '	TOKSİK M	ADDELER		
KADMİYUM	μg/l		5	3	<0.05-0.2
KROM	μg/1	-	50	50	9.9 - 34.6
NİKEL	μg/l	-	50	20	0.4 - 21.8
KURŞUN	μg/l		10	10	<0.1-0.3
	RADYOA	KTIF BIL	EŞENLER		49
Alfa Aktivitesi	Bq/l	0.037	0.037	0.1	-
Beta Aktivitesi	Bq/l	0.37	0.037	1	-

SONUÇLAR

- Büyükçekmece gölünün incelenen doğu kesiminde yeraltısuyu potansiyeli yıllık yaklaşık 16 milyon m³'tür.
- Yeraltısularının kimyasal analizleri sonuçları suyun içilebilirlik açısından tehlike arz etmediğini göstermiştir.
- Kimyasal özellikleri ile diğer numunelerden farklı olan KN5 numunesi için derin dolaşımlı

yeraltısuyu olabilme ihtimali üzerinde durulmuştur. Bu ihtimalin veya bölgede olası deniz suyu girişiminin etkisi ayrıntılı olarak araştırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- MTA, 2004. "İstanbul Metropolü Batısındaki (Küçükçekmece – Silivri – Çatalca Yöresi) Kentsel Gelişme Alanlarının Yer Bilim Verileri", *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Schoeller, H. 1962. "Les eauv souterrailnes", Mason, Paris.
- Penman, H. L. 1948. "Natural Evaporation From Open Water, Bare and Grass", Proc. R Soc. Lond. Ser. A 193, 120–145.
- Piper, A. M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis, Trans.Amer.Geophys. Union, 25, 914-923.
- Türk Standartları Enstitüsü (TS266) 2005. Sular -İnsanî Tüketim Amaçlı Sular, Standart. Ankara, Türkiye.
- WHO, 1971. "International Standarts for Drinking Water", 3rd ed. Geneva..

PETROL VE DOĞAL GAZ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Bitirme Tasarım Projeleri Bildirileri

Sayısal Simülatör Kullanarak Buhar Basma Performans Tahmini Steamflooding Performance Prediction Using a Numerical Simulator

E. Uslu, M. Dönmez, A. Çatak, M. Çınar

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği, İstanbul

ÖZET Bu projede, verilen bir petrol rezervuarı için buhar basma operasyonu CMG STARS sayısal rezervuar simülasyon programı kullanılarak tasarlanmıştır. Birincil üretimin azaldığı tarihten itibaren beş nokta, yatay kuyulu beş nokta, yedi nokta ve çapraz hat olmak üzere 4 farklı kuyu örüntü modeli kullanılarak buhar basma yöntemi uygulanmıştır. Basılan buharın debisi 350, 500 ve 600 varil/gün şeklinde değiştirilerek her bir model için 20 yıllık bir proje süresi için üretim projeksiyonları gerçekleştirilmiş ve maliyet hesabıyla en uygun model belirlenmiştir.

CMG STARS simülasyon programı buhar basma yöntemini farklı senaryoların performansını hesaplamak için kullanılmıştır. Simülasyonları takiben rezervuar basınç ve sıcaklık dağılımları, petrol ve su debileri değerlendirilmiştir. Her farklı kuyu dizilimi için gerek duyulan buhar jeneratörü sayısı saptanmıştır.

Farklı modeller için ekonomik analiz yapılırken açılan üretim ve enjeksiyon kuyularının maliyetlerinin yanında jeneratör sayısı, yıllık kuyu bakım maliyetleri, log operasyon maliyetleri ve basılacak suyun arıtma maliyetleri dikkate alınmıştır.

Dört farklı model için toplam üretilen petrolün satışından elde edilen gelirler ve giderler ayrı ayrı hesaplanmış ve yatay enjeksiyon kuyulu beş nokta örüntüsünün, 600 bbl/d/kuyu buhar debisi ile ekonomik açıdan en iyi senaryo olduğu belirlenmiştir. Anahtar Kelimeler: Buhar basma, simülatör, rezervuar mühendisliği.

ABSTRACT In this project, for a given heavy oil field a steam flooding design is performed using CMG STARS numerical reservoir simulator. Starting from the date at which primary production has declined, steam flooding was initiated using five spot pattern, five spot pattern with horizontal wells, seven spot pattern and staggered line. The injection rate of steam was changed over 350, 500 and 600 barrels / day, and was applied separately for each model for a project duration of 20 years.

CMG STARS simulation program was used to test the steam flooding method on different models. Following simulations, the pressure and temperature distributions in the reservoir, oil and water rates were considered. The number of generators required for each different well configuration was determined.

Economic analysis was carried out for different models by considering the number of generators, annual well maintenance costs, log operating costs and water treatment costs in addition to the costs of the production and injection wells to be drilled.

The expenditures and incomes from the sales of produced oil for four different models were calculated separately and five spot well pattern with horizontal injection wells with a steam rate of 600 bbl/day/well was found to be the best case scenario in terms of the economics.

1. INTRODUCTION

Enhanced oil recovery (EOR) methods aim to extract the incremental amount of oil resides in the reservoir after primary and phases. secondary production Primary production phase involves oil recovery by drive mechanisms. Secondary natural recovery, in part, aims to maintain reservoir pressure by injecting water or gas. After primary and secondary stages, only a portion of the original oil in place (OOIP) was produced. EOR methods target the oil remaining after primary or secondary stage for conventional oil reservoirs. In many unconventional reservoirs, such as heavy oil or bitumen, EOR methods were applied at the second stage, as secondary processes are not viable for such systems.

Steam injection is one of the EOR methods widely applied to heavy oil and bitumen reservoirs classified under thermal method. The idea is to inject saturated steam and transfer energy in forms of heat. Saturated steam is progressively injected into the oil reservoir, which has high viscosity crude. Then steam condenses and heat was transferred to the reservoir heating both oil and the rock. Due to increase in temperature, viscosity of the oil was reduced and was oil driven to the production wells. Light ends in the oil may vaporize as a response to heating and moves downstream mixing with the original crude. There are some additional mechanisms due to the heating of the reservoirs that could affect the oil recovery such as expansion, wettability change, and interfacial tension reduction.

Currently steam injection is the most widely applied thermal method and has the highest contribution to EOR production among other methods worldwide. Especially for the production of heavy oils and bitumen reservoirs, steam injection is frequently applied.

2. STEAM FLOODING PROCESS

In steam flooding process, the steam moves through the reservoir and heats the reservoir while condensing. As the temperature increases viscosity of the oil was reduced and thus mobility ratio is improved and the oil was driven towards the production wells. Thus improving the oil recovery. The process shown in Figure 1 (Çınar, 2011).



Figure 1. Steam flooding process (Çınar, 2011).

3. SCREENING CRITERIA

For screening EOR methods, one have to consider many parameters and success of the depends project on evaluating those parameters. For preliminary evaluation before conducting the project a set of statistics from previous EOR, projects were used in the industry. Those information that are useful for the selection of the best EOR method possible, are called screening criteria. Although those criteria gives useful information and an idea about the parameters and methods, it's not obligated to be the only source and if the existing conditions do not meet those criteria for the desired method, it does not mean that the process can not applicable, the choice is up to the operator, who considers to conduct the project. Criteria's can be divided into three main

sections, which are; properties of the crude oil, reservoir properties and the properties of the field. All of three sections discussed below in detailed information.

3.1. Crude Oil Properties

Viscosity, gravity and composition of the crude oil are the main parameters for screening criteria and a part of the evaluation. Main preferable ranges of the gravity of oil are the heavy oils, which ranges from 8° to 25° API. Although steam injection is applicable for 6° to 50° API oils 1992). Viscosity is the most (Olsen, important parameter for steam flooding because; reducing the viscosity by heating up the oil and increasing its mobility and it's the best candidate for heavy and viscous oils results from the other methods becoming ineffective. (Haynes, Thrasher, Katz, & Eck, 1976).

3.2. Reservoir Properties

Oil saturation is not a critical parameter, however the saturation and the residual oil saturation are the main objective of the EOR methods after primary and the secondary production processes, thus it is the first criteria that considered in the evaluation.

Formation type is also not a limiting and parameter for steam flooding critical operations; however, formations that bears high concentration of clays could be the limitation, due to swelling of clay and permeability and decreasing of transmissibility (Olsen, 1992). Permeability is also a critical and limiting parameter. It is critical for the formation to have enough permeability for oil flowing and that permeability will be enough for the steam to injected to achieve desired rates. be However, an air permeability of 300 md is desirable because of the lower injection rates will result in more heat losses to overburden and under burden and may fail to heat up the oil (Sarathi, Olsen, 1992). Thickness is an important criterion for the steam flooding process due to it is impact on heat losses. In steam, flooding thickness of reservoir from 30 to 150 ft. is desired (Sarathi, Olsen, 1992).

4. SIMULATION PROCESS

The reservoir was modelled using 50000 grid blocks. The model consists of 80 blocks in I direction, 125 blocks in J direction and 5 layers in K direction resulting in 50000 grid blocks and orthogonal corner point grid block type used. OOIP was 1.905x10⁸ barrels. In Figure 2 and Figure 3 top of structure and thickness maps of given field are provided.



Figure 2. Top of structure map of given field.

4.1. Scenarios Considered

Project based on several scenarios. Well patterns used in the pilot; staggered line, five spot, seven spot and additionally horizontal injection wells five spot. Flow rates used for injection wells; 350 bbl/d, 500 bbl/d and 600 bbl/d for horizontal five spot and seven spot patterns. Initially 41 production wells drilled with two wells per month and each have

1220 ft. spacing from each other in J directions and I. Steam flooding operations started with each injection well completed and started to operate after 608th day. All additional production wells after injection drilled at the same time as injection wells. In **Table 1** reservoir properties for the project provided.



Figure 3. Thickness map of the given field.

Table 1. Reservoir properties.

Grid Top(ft.)	4265
Average Net Pay(ft.)	50
Oil Saturation	0.7
Water saturation	0.3
Formation Comp. (1/psi)	1.8E-6
Porosity	0.256
Perm. I Direction (md)	256
Perm. J Direction (md)	256
Perm. K Direction (md)	25.6
Pressure (Psia)	1620
Temperature (°C)	115
°API	13.3
Water-oil contact (ft.)	3900

4.2. Well Configuration

In simulation process, four models were used with different flow rates and different patterns. First five spot pattern with 750 ft. spacing is used; however, it failed to heat up the reservoir. Also staggered line spot failed to heat up the reservoir in desired amount. Afterwards horizontal injection wells adapted to the five spot pattern with reduced spacing of 300 ft. with horizontal sections of wells were approximately 600 ft., which resulted in better performance in cumulative production. To be able to overcome the heating problem in the reservoir seven spot pattern was adapted to the reservoir model with spacing of 450 ft. Figure 4 gives the well configuration of the best case.



Figure 4. Horizontal five spot well configuration.

4. ECONOMIC ANALYSIS

4.1. Fixed Costs

Costs such as; steam generator, drilling costs, log costs, water treatment costs, and well maintenance costs, taken as fixed costs.

4.2. Economic Evaluation

After all simulations, cumulative oil production noted and all simulations conducted for 20 years. Economic analysis depending on the cumulative production and costs conducted for each scenario and best

case selected among them. Horizontal five spot with 600 bbl/d injection rate rises as the best scenario. In **Table 2** and **Figure 5** economic evaluation and cumulative oil production for this case is provided.



Figure 5. Cumulative oil and oil rate vs time plot for horizontal five spot 600 bbl/d.

Table 2. Economic analysis of best case pattern.

H. Five Spot 600 bbl/d	MM(\$)
Generator Cost	12
Pro. Well Cost	22.4
Inj. Well Cost	47.8
Maintenance Cost	3.14
Log Cost	0.5
Crude Cost	1.176
Feed Water Treatment	64.8
Total Cost	1327.6
Revenue	1497.5
Profit	170

5. CONCLUSION

Several cases were generated and run in the simulator. Those are; seven spot, five spot, five spot with horizontal injection wells, staggered line, patterns and with different flow rates of 350 bbl/d, 500 bbl/d and 600 bbl/d. Simulations ran for 20 years of time period. In comparison cumulative oil production, oil rate. oil saturation distribution and temperature distribution profiles compared. Staggered line and five spot applications failed to heat up the reservoir efficiently due to higher spacing and has less cumulative oil production at the end of 20 years.

Economic analysis performed with calculating the numbers of generators needed, fixed costs such as; log, water treatment, fuel cost, generator cost, drilling cost for both production and injection wells and well maintenance costs. In conclusion, five spot pattern with horizontal wells with a spacing of 300 ft. rose as the best scenario among all applications with a profit of \$ 170MM at the end of 20 years.

REFERENCES

- Boberg, T. C. (1987). *Thermal Methods of Oil Recovery.* JOHN WILEY & SONS.
- Çınar, M. (2011). Kinetics of Crude-oil Combustion in Porous Media Interpreted Using Isoconversional Methods. *PhD thesis*.: Stanford University.
- Haynes, H., Thrasher, L. W., Katz, M. L., & Eck, T.
 R. (1976). Thermal Processes. An Analysis of the Potential for Enhanced Oil Recovery from Knownn Fields in the United States--1976 to 2000 (pp. 174-175). United States: National Petroleum Council.
- Olsen, P. S. (1992). Practical aspects of steam injection processes: A handbook for independent operators. Bartlesville.

Gaz Başlıklı Doymuş Petrol Sahasında Yeraltı Gaz Depolaması Underground Gas Storage in a Depleted Oil Field with Gas Cap

M. Ridwan, A. Yılmaz, M. Ş. Tarhan, E. D. Korkmaz Başel, Ö. İ. Türeyen, A. Satman

Istanbul Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği, Istanbul

ÖZET Bu çalışmada, gaz başlıklı ve doymuş petrol MAM rezervuarının bir yeraltı gaz depolama tesisine dönüştürülmesi modellenmiştir. Bu yeraltı gaz depolanmasında, gaz üretimi ve enjeksiyonu sadece gaz başlığına yapılmıştır. Modelleme çalışması Ecrin yazılımının bir alt programı olan Rubis simülatörü kullanılarak yapılmıştır.

MAM sahasında, bir kuyulu ve dokuz kuyulu durumlar göz önüne alınarak modeller oluşturulmuştur. Depolama süresi bir yıllık periyod boyunca, ilk 150 gün enjeksiyon yapılıp sonraki 30 gün akışa kapatılması ve daha sonrasında ise 150 gün üretim yapılıp 35 gün akışa kapatılması incelenmiştir.

Bu çalışmada, kuyu başı basıncı, kuyu dibi basıncı, ortalama rezervuar basıncı, yüzey akış debisi, gaz doygunluğu ve rezervuar gaz hacmi değişimi incelenmiştir. Ayrıca çalışmamızda enjekte edilen gaz miktarına bağlı olarak değişen gaz-petrol dokunağının davranışı incelenmiş ve hacim değişimleri hesaplanmıştır. Enjeksiyon ve üretim dönemlerinde yüzey akış debileri, her durum için, sabit ve eşit varsayılmıştır.

MAM sahası, 800 psia ilk basınç durumu için, bir kuyulu ve dokuz kuyulu durumları incelenmiştir. Rezervuarın farklı derinliklerdeki gaz doymuşluğu davranışı Matlab programı kullanılarak hesaplanmıştır. Gaz başlığındaki gaz hacminin değişimi ve işletilen gaz depolama hacmi belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeraltı gaz depolaması, gaz başlığı, çalışma gazı kapasitesi, gaz petrol dokunağı.

ABSTRACT In this study, depleted MAM saturated oil reservoir field with gas cap is modeled as a natural gas storage facility. Gas is injected and produced from the gas cap only. The Rubis simulator program which is subprogram of Ecrin software is used.

Cases for one well and nine wells are simulated for the MAM field. The storage cycle consist of 150 days of injection, followed by 30 days of shut in, then 150 days production and finally 35 days of shut-in period.

The behaviors of wellhead pressure, average pressure, bottomhole pressure, surface flow rate, and gas saturation are investigated. The movement of GOC is also analyzed. Flow rate in every well is assumed to be constant for every case.

The MAM field is analyzed at initial reservoir pressure of 800 psia. Gas saturation behavior is analyzed across different depth within the transition zone between the gas cap and the oil zone using the Matlab Program for different cases. Change in volume of gas cap is analyzed through gas saturation change in the reservoir.

Keywords: Underground gas storage, gas cap, working gas capacity, gas oil contact.

1. INTRODUCTION

Natural gas storage facilities are used to store the gas during the summer when demands are low and fulfill the demands during winter when the gas consumption reaches its highest point. In addition, gas storage is important for the energy security of a country when unexpected events occur and supply of natural gas is cut, gas stored in the storage may be used during the time of crisis.

Natural gas can be stored in various ways depending on environmental and economic conditions. Types of natural gas storage can be listed as:

- Surface natural gas storage.
 - Natural gas storage in pipelines
 - Liquefied natural gas storage
- Underground natural gas storage.
 - Salt caverns
 - Aquifer
 - Depleted reservoirs

When demand is larger than the supply capacity, gas is withdrawn from the underground gas storage facility and in times of low demand, the facility is refilled by injecting gas back into storage. However, all underground reservoirs cannot be converted to natural gas storage, there are some performance criteria. Evaluation of the performance of underground storage reservoirs involves recognition of three basic requirements called performance attributes (Katz and Tek, 1981). These are:

- Verification of inventory (Storage capacity)
- Assurance of deliverability
- Containment against migration.

The inventory represents the base gas and working gas in the reservoir and verification of it means storage capacity of reservoir. Assurance of deliverability depends on the pressure of reservoir and this pressure of reservoir is a function of the amount of gas in the reservoir. Because of porous medium, the stored gas tends to migrate; therefore, there have to be containment against migration of natural gas in the environment.

2. GAS STORAGE IN A DEPLETED OIL FIELD WITH A GAS CAP

Natural gas storage in a depleted oil field with a gas cap has similar purposes like other underground storage facilities. Gas is injected into storage during periods of low demand and withdrawn from storage during periods of peak demand. Components of storage system in a depleted oil reservoir with a gas cap is shown in Figure 1.



Figure 1. Components of storage system in a depleted oil reservoir with a gas cap.

When gas is injected or produced, some parameters change in depleted oil reservoir with a gas cap. Figure 2 shows the change of gas cap volume and the solution gas-oil ratio with tank representation. A gas cap is volume of associated gas over oil layer in the depleted reservoir. The solution gas-oil ratio is a term for the amount of gas dissolved in the oil.





3. PROPERTIES OF MAM FIELD

The properties of the synthetic MAM field are as follows. The reservoir is assumed to have a square shape with surface area of 10^8 ft² where each side is 10 000 ft long. The top 50 ft of the reservoir is assumed to be the gas cap and the bottom portion is assumed to be the oil zone. Gas is injected and produced from the gas cap only. The top of the reservoir is located at a depth of 3937 ft. Other properties of the field are given in Table 1.

Solution of gas oil ratio is 106 SCF/STB and the formation volume factor of oil is 1.08 bbl/STB at 800 psia initial reservoir pressure.

Table	1.	Reservoir	and	fluid	properties	of
MAM	Ga	s Field.				

Properties	Values
Reservoir Type	Saturated
	reservoir
Reservoir temperature, °F	155
Reservoir pressure, psia	800
Specific gravity of gas in gas	
cap	0.561
⁰ API of saturated oil	30
Horizontal permeability, mD	200
Vertical permeability, mD	100
Reservoir thickness, ft	300
Depth to top of reservoir, ft	3937
Porosity (%)	20
Bubble point pressure, psia	3918
Solution gas oil ratio @	
bubble point, SCF/STB	700
Oil formation volume factor,	
BBL/STB @800 psia	1.08
Gas formation volume factor,	
cuft/SCF @800 psia	0.0205
OGIP, BSCF	136
OOIP, Million STB	826

The illustration of the cross-section of the reservoir emphasizing the gas cap and oil zones are given in Figure 3.



Figure 3. Cross sectional view of reservoir and well for GOC analysis.

4. DESIGN STUDY

In this study, Reservoir model is constructed to analyze the movement of gas oil contact (GOC). The change of GOC is monitored through analyzing the change of gas saturation in transition between gas and oil. Flow rate, bottomhole pressure, wellhead pressure, average reservoir pressure, working gas capacity and GOC are analyzed for a one-year period assuming cases with varying number of wells. The storage cycle consists of 150 days of injection followed by 30 days of shut-in and then 150 days of production finally followed by 35 days of shut in period.

4.1 Performance for Case with One Well

In this case the reservoir behavior is analyzed using a single well. The location of the well is given in Figure 4.



Figure 4. Top view of reservoir model.

Figure 5 shows the behavior of average pressure (starting at 838 psia), bottomhole pressure and wellhead pressure. During the injection period, all pressures increase as expected. During the shut in periods the pressures trend to stabilize. This is followed by a decrease in the pressures during the production period. Because the injected gas is quite small, average pressure does not change significantly. The behavior of gas saturation with depth is illustrated in Figure 6. The change in GOC is observed, at around 0.1 ft.



Figure 5. Pressure behavior versus time at initial pressure 800 psia for one well case.



Figure 6. Gas saturation graph versus depth for one well.

Figure 7 compares the volume change at reservoir condition. The average pressure started at 838 psia. The changes of volumes given in Figure 7 are given against the average pressure. Here it is important to note that the average pressure in this case represents the volumetric average pressure of the entire reservoir (gas cap and oil zone combined).



Figure 7. Gas cap, oil zone and injected gas volume change at reservoir condition versus average pressure.

4.2 Performance for Case with Nine Wells

In this case reservoir with nine wells is constructed as shown in Figure 8.



Figure 8. Top view of reservoir model.

The behavior of average pressure, bottomhole pressure and wellhead pressure of center well is given in Figure 9. During the injection period all pressures increase as expected. During the shut in period pressures tend to stabilize, and during production period pressures tend to decrease.



Figure 9. Pressure behavior versus time at the center well at initial pressure 800 psia for nine wells case.

GOC behavior during the injection period tends to get deeper until injection period is over. As the production period starts, GOC tends to become shallower and return to initial condition when the production period ends as shown in Figure 10. Since average reservoir pressure is higher than the previous cases, GOC movement is also getting deeper. Comparison of movement between initial day and final day of injection is around 0.8 ft.



Figure 10. Gas saturation graph versus depth for nine wells.

Figure 11 compares the volume change of oil zone, gas cap and injected gas at reservoir pressure. It is important to note as stated in previous cases, average pressure is the volumetric average pressure of entire reservoir (oil zone and gas cap combined).



Figure 11. Gas cap, oil zone and injected gas volume at reservoir condition versus average pressure.

Results of modeling based on average reservoir pressure, well head pressure, bottomholle pressure, wellhead flow rates and gas saturation have been analyzed. During the injection period, bottomhole pressure, wellhead pressure and average pressure increase. Then, during the shut-in period pressure, bottomhole average wellhead and pressure pressure stay constant. In the production period average reservoir pressure, bottomhole pressure and wellhead pressure decrease. Flow rate and working gas capacity (WGC) for different number of wells are analyzed.

Table 2. Amount of working gas capacity and total flow rate.

	Number of Wells					
	1	Well	9	Wells		
Initial Reservoir Pressure, psia	WGC, bscf	Total flow rate, MMSCF/D	WGC, bscf	Total flow rate, MMSCF/D		
800	3	20	27	180		

Table 2 shows the WGC and flow rates for different number of wells at initial reservoir pressure of 800 psia. From the table, as number of wells increase total flowrate and WGC of reservoir also increases, since more production and injection of gas can be done at a given time.

5. CONCLUSIONS

The following conclusions are obtained from this study:

1- Number of wells has significant effect on the performance of gas deliverability and working gas capacity of natural gas storage. One well case and nine wells case give significant difference on the amount of gas injected into the reservoir.

2- As more gas is injected into the reservoir due to increased number of wells, the gas cap volume expands displacing the oil zone.

3- When gas is injected into the gas cap two process take place. The first is that the gas cap volume increases to accommodate the injected gas. The second is that some of the gas is dissolved into the oil phase.

4- As expected, with increasing number of wells the working gas capacity increases as well.

REFERENCES

- Kappa-Ecrin, v4.30.09,2017. Software, KAPPA Engineering SA.
- Katz, D. L. V. and Tek, M. R., 1981. Overview on
- MATLAB. 1996. The language of technical computing:computation,visualization, programming: installation guide for UNIX version 5. Natwick :Math Works Inc.
- Underground Storage of Natural Gas, SPE, U. of Michigan, New York.

Gaz Yoğuşuk Kuyuların Üretim Sisteminin Tasarımı Production System of A Gas Condensate Well

A.B. Hoşafoğlu, M.D. Özçelik, Ö. Soylu, M.S. Ergül, Ş. Yamanlar Istanbul Technical University, Department of Petroleum and Natural Gas Engineering, Istanbul

ÖZET Bu bitirme projesinde rezervuar akışkanlarının üretim sistemi ve tanımlanması detaylı bir şekilde verilmiştir. Bu çalışmada rezervuar akışkanlarının tanımlanması Peng-Robinson durum denklemiyle PVTtools programından faydalanılmıştır. Faz davranışını bulmadan önce durum denkleminin optimizasyonu yapılmıştır. Ayrıcasıcaklığımızın düşük basıncımızın yüksek olmasından ötürü hidrat oluşumu gözlenmiştir. Üretim debisi, akış performansı ve tubing performans eğrilerinin çakışmasıyla bulunmuştur ve üretimin her yıl %10 azalacağı farzedilmiştir. Tubing performans eğrisiyle, akış performans eğrisi 10 yılın sonunda birbirine çok yaklaşmıştır.

Anahtar Kelimeler: Üretim, sistem tasarımı, gaz yoğuşuk

ABSTRACT The aim of this report is to give the detailed explanation of production system and characterization of reservoir fluids. In this study, the fluid characterization was done by using Peng-Robinson EOS program. Before predicting the phase behavior, the EOS is tuned against the experimental data. Also because of the low temperature and high pressure, the observation of hydrate forms. Production rates are predicted by intersecting the inflow performance rate curve and tubing performance curve with the 10% of reservoir pressure decrease per year. After the 10th year, it is observed that inflow performance and tubing performance curve became so close to each other, production will no longer continue with current.

Keywords:Production, system design, gas condensate

1. INTRODUCTION

Oil and gas production is highly significant for the energy sector. Oil and gas production and processing contains drilling a well into petroleum and gas reservoir, pumping they to the surface and separate they. The aim of production engineers is decreasing costs and increasing oil and gas production. Thus, thechosen of the tubing size selection has a significant role in well design. In this graduation project, first of all C_{7+} components are divided into 5 subcomponent using three parameter gamma distribution model for a gas condensate and phase diagram of gas condensate reservoir is obtained by using Lee - Kesler correlations

with Peng - Robinson equation of state (Kesler, 1976). Using the optimized equation of state optimum separator pressure is calculated. The fluid property data is used in a multiphase flow program to choose tubing size and to predict future performance of the well. Before the most appropriate tubing size and separator can be designed for given cases, the production rates and future performance of the well are determined by obtaining relationship between inflow performance (IPR) and tubing performance (TPR). Finally, the relationship between IPR and TPR for 10 years are determined and plotted graphically.

2. C7+ CHARACTERIZATION

Reservoir fluids includes hydrocarbons compounds from methane to carbon number greater than 50 along with nonhydrocarbons (i.e. H₂S, CO₂, N₂). Phase estimation of hydrocarbons, behavior volume. temperature (PVT) pressure. predictions require using of equations of state(EOS) for compositional reservoir simulation. The equation of state (EOS) predictions are affected by critical properties of each C_{7+} fraction (Whitson, 1984). Changes of heavy component properties may have important impact on phase equilibrium and physical properties.

2.1. Gamma Distribution Method

The three parameter gamma distribution is a more general model for describing of oils and condensates and proposed by Whitson(1983).The gamma probability density function is given below.

$$P(M) = \frac{(M - \eta)^{\alpha - 1} exp\left\{-\left[\frac{(M - \eta)}{\beta}\right]\right\}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \qquad \text{Eq. 1}$$

$$\beta = \frac{M_{C_{7+}} - n}{\alpha}$$
 Eq. 2

$$n = \frac{110}{1 - (1 + \frac{4}{\alpha^{0.7}})}$$
 Eq. 3

The three-parameter gamma distribution model has been fit to true boiling point data from our samples of stock tank gas condensate, obtained from separation of reservoir fluids.

2.2. Lee-Kesler (1976) Correlation

Lee-Kesler improved some equations to appraise properties of undefined petroleum fractions. Specific gravity (SG) and boiling point (T_b) or molecular weight (M_w) of petroleum fraction, physical properties are estimated. Table 1 is show that gas condensate compositions. Phase envelop of this gas condensate is stated that in the Figure 1.



Figure 1. Phase envelop of the reservoir fluid.

Table1. Gas condensate composition and reservoir properties.

#	С	MW	SD	RF		
1	CO2	44.01		2.44		
2	H2S	34.076		0		
3	N2	28.013		0.08		
4	C1	16.043		82.1		
5	C2	30.07		5.78		
6	C3	44.097		2.87		
7	i-C4	58.124		0.56		
8	n-C4	58.124		1.23		
9	i-C5	72.151	0.625	0.52		
10	n-C5	72.151	0.631	0.6		
11	C6	86.18	0.71	0.72		
12	C7+	132	0.774	3.1		
C: (C: Component, MW: Molecular weight					
(g/r	(g/mol), SD: Standard density (g/cc),					
RF:	Reservoir	Fluid (m	nol %100)	I		

3. HEATING VALUE AND OPTIMUM SEPARATOR PRESSURE DETERMINATION

The heating value of a substance is the energy released upon combustion of the substance at standard conditions. The heating value can be measured as energy released per unit mass, unit volume or unit mole of a substance. It is aimed to reach the1065 Btu/scf heating value of gas condensate at 1000 psia separator pressure by decreasing the temperature. As the result of the procedure performed by trial and error method, the temperature is found be 0°F.The Table 4 below shows the steps of trial and error method.

Table2. Heating values of real gas for different separator temperatures.

Т	HVRG			
32	1083.78			
20	1076.673			
10	1070.813			
0	1065.061			
-10	1059.481			
-20	1054.154			
-30	1049.186			
-40	1044.734			
-50	1041.085			
-60	1038.930			
T: Temperat	ture (F), HVRG:			
Heating value of real gas (Btu/scf)				

3.1. Optimization of Separator pressure

A separator used a split a mixed-phase stream into gas and liquid phases that are "relatively"free of each other. Separator calculation are performed to determine a optimum operating pressure for processing a particular hydrocarbon mixture. Basically there are two variety of separator. These are separator two-stage and three-stage separator. Two stage separator is used in this graduation project. The optimum pressure value for the middle stage is the value that maximum liquid produces vield (by minimizing GOR) of a maximum quality (by maximizing stock-tank API gravity). The smaller the value of GOR, the larger the liquid yield. The higher the API gravity of the stock-tank fluid, the more profitable its commercialization. Separator calculations are basically performed to determine the following: Optimum separation conditions,

separator pressure and temperature, compositions of the separated gas and oil phases, producing Gas-Oil ratio, API gravity of the stock tank oil. Last separator pressure is chosen as 72.5 psia and 15 psia, and first separator pressures are optimized accordingly. Table 3 and 4 show the optimal separator pressures.

Table 3. Basic properties of gas condensate at 147 psia separator pressure and 15 psia stock tank pressure.

Total GOR(scf/stb)	15851.82
Gas specific gravity	0.713
API gravity	66.943

Table 4. Basic properties of gas condensate at 339 psia separator pressure and 72.5 psia stock tank pressure.

Total GOR(scf/stb)	14986.703
Gas specific gravity	0.69
API gravity	73.724

4. HYDRATE FORMATION

Hydrates are crystalline solid compounds formed from water and small molecules. In most general sense, a hydrate is a compound which is containing water. If there is a low temperature and a high pressure, hydrates may form anywhere and anytime. Hydrates of natural gas components are classified by the arrangement of water molecules in the crystal structure. There is three crystal structures which are I, II and H. In this graduation project, selected pressure is 1000 psia and selected temperature is 0°F, therefore, our gas condensate example forms hydrate. Selected gas condensate examples run at this pressure and temperature and after the separator, Hydoff program is used in order to determine the temperature and hydrate formation. Leepressure of Kesler(1976)correlations used. Figure 2 shows that hydrate formation of phase envelope.



Figure 2. Hydrate formation location and phase envelope.

5. TUBING DESIGN

Reservoir fluids are produced with the help of tubing strings. In our study, we have studied on a gas well that these wells produce gas through tubing strings to decrease the problems of liquid loading. To determine the deliverability of a well, one of the important factor is that pressure drop is required to lift a fluid with the help of the production tubing at a selected flow rate. Three tubing diameters are considered in selecting the future production.Optimization procedure requires the deciding ideal tubing diameter. Regulating the correct size is approximately important, because 80 percent of total pressure loss happens in tubing. If the exploratory well is drilled newly, irrelevant data may be chosen for determining the tubing size. In the table 5 showed production rate and pressure values of 2.375 inch, 2.875 inch and 3.5 inch tubing.

Table 5. Production rates and pressures of 2.37 inch tubing, 2.875 inch tubing and 3.5 inch tubing.

	TS					
	2.375		2.875		3.5	
Y	Q	Р	Q	Р	Q	Р
1	8300	2650	10100	2000	10850	1650
2	6850	2195	7940	1520	8552	1350
3	5500	1810	6380	1275	6530	1050
4	4210	1350	4370	920	4810	790
5	3050	1000	3230	660	3370	550
6	2065	700	2130	487	2180	390
7	1210	445	1245	330	1250	280
8	600	295	605	240	608	235
9	216	220	217	240	218	213
10	34	203	34	203	34	203
Y:	Y: Year, Q: Production Rate (Mscf/D), P:					
Pressure (psia), TS: Tubing size (inch)						

6. CONCLUSIONS

 C_{7+} Characterization of the pseudocomponent is made using the three parameter gamma method. C₇₊ pseudocomponent was divided into five subcomponents.Tuned equation of state produce more accurate results compared to experimental data.

The GOR, oil formation volume factor and specific gravity of stock tank oil are calculated for different separator pressures to find the optimum separator pressure is found to be 147 psia. At this pressure, GOR, Specific gravity, API gravity values are 15851.82 scf/stb, 0.707853 and 66.94331 respectively. Hydrate formation is observed due to low temperature and high pressure. The average reservoir is assumed as decreasing ten percent per year, in this situation 2.875 inch tubing is more accurate compared to 2.375 inch and 3.5 inch.

REFERENCES

- Cavett, R.H: "Physical Data for Distillation Calculations, Vapour-Liquid Equilibria", Proc. of 27th API Meeting, San Francisco, 351-366 (1962).
- Kesler, M.G. and Lee, B.I: "Improve Predictions of Enthalpy of Fractions", Hydro Proc., 153 158 (March, 1976).
- Whitson, C.H., Anderson, T.F. and Soreide, I: " C_{7+} Characterization of Related Equilibrium Fluids Using Gamma Distribution", in " C_{7+} Characterization", Ed: Chorn, L.G. and Mansoori, G.A., Taylor & Francis, 35-56 (1989).
- McCain, W.D., 1990. "*The Properties of Petroleum Fluids*." 2nd edition, Oklahoma, USA. Pennwell Publishing Whitson C.H., and Brule M.R., 2000. "*Phase Behaviour*."
- Whitson, C.H.,(1983). Characterizing Hydrocarbon Plus Fractions. *Society Of Petroleum Engineers*, 23(4),683-694.

Doğal Gaz Sahasının Geliştirilmesi Natural Gas Field Development

E. Göçmen, M. Özyağcı, F. Yücekaya, E. D. Korkmaz Başel, Ö. İ. Türeyen, A. Satman

İstanbul Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu projede, bir doğalgaz sahası için geliştirilen çeşitli senaryoların sahanın üretim performansı üzerine olan etkileri incelenmiştir. Bu amaç için MEF adı verilen sentetik bir kuru gaz sahası Rubis simülatörü kullanılarak modellenmiştir. Simülasyonlarda üretim, hem sabit kuyubaşı akış basıncında hem de sabit kuyubaşı debisinde olacak şekilde tasarlanmıştır. Tüm senaryolar için proje ömrü 25 yıl olarak kabul edilmiştir.

Bu çalışma iki ana kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda farklı kuyu sayılarının üretim performansına olan etkileri incelenmiştir. Bu kısımda üretim, üç farklı (20, 50 ve 70 bara) sabit kuyu başı akış basınçları kullanılarak tasarlanmıştır. Buna ek olarak sahada birden fazla kuyu olması durumu için kuyular arası debisel girişim etkileri de incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında ise kuyuların ardı ardına üretime alınmasının etkileri araştırılmıştır. Kuyular rastgele ve birbirinden uzak olacak şekilde her sene sonunda birer kuyu açılmak üzere toplamda 7 kuyu açılmıştır. Senaryolar sabit kuyu başı debisi ve sabit kuyu başı akış basıncında (20 bara) olacak şekilde tasarlanmıştır. Kuyuların zamana bağlı olarak ortalama rezervuar basıncı değişimleri, toplam gaz üretilebilirlik değerleri ve toplam debi gibi değerleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Gaz Sahası, Saha Geliştirilmesi, Kuyu sayısı, Girişim Etkisi

ABSTRACT In this project, the effects of varying development scenarios on the production performance for a natural gas field are investigated. A synthetic MEF dry gas field is modeled using Rubis software. Simulation runs are performed either, using a fixed wellhead flowing pressure or a fixed wellhead flow rate. Project life of 25 years is considered for all scenarios.

This study consists of two main parts. In the first part, the effects of using various number of production wells on the production performance is investigated. In doing so production is maintained at a fixed wellhead flowing pressure. Three different wellhead flowing pressures of 20, 50 and 70 bara are considered for comparison. Furthermore, the effects of interference on flow rate, where more than one wells are used, is also investigated.

In the second part of the study, the effects of successive commissioning time of wells on the production performance is studied. Two scenarios; production at a constant flow rate and production at a fixed wellhead flowing pressure (20 bara) are considered in this part. Changes in average reservoir pressure, total flow rate and cumulative produced gas are discussed as a function of time.

Keywords: Natural Gas Field, Field Development, Number of Wells, Interference Effect

1. INTRODUCTION

Natural gas is a mixture of hydrocarbons, mostly methane (CH₄), ethane (C₂H₆), propane (C₃H₈), butane (C₄H₁₀), and some inorganic components which are carbon dioxide (CO₂), hydrogen sulfide (H₂S). Natural gas is colorless, odorless, tasteless and shapeless. Natural gas is used in many areas which are power generation, industrial usage, residential and agricultural consumption.

2. NATURAL GAS FIELD DEVELOPMENT

It is essential that development and operation of newly discovered reserves be conducted with maximum efficiency and economy. There are three main parameter exist on the basis of the development of a gas field which are reservoir management, well spacing and surface facilities. Reservoir management aims to maximize the value of a hydrocarbon asset. Well spacing plays a significant role in the development of gas reservoirs and in control of the recovery process. Surface facilities are necessary to remove impurities, water and extra hydrocarbon liquid. In this study, only the effects of well spacing on production performance of a natural gas field is investigated.

3. PROPERTIES OF THE MEF GAS FIELD

The field is called "MEF gas field" that is a synthetic field with a dry gas reservoir. The initial reservoir temperature and pressure are 68 °C and 143 bara, respectively. The depth of the reservoir is 1200 m and the reservoir thickness is 60 m. The reservoir area is about 6.25 km². The water saturation is considered to be zero. The water saturation is considered to be zero. Reservoir is both homogenous and isotropic. The cross section of the reservoir and a vertical at the center is shown in **Figure 3.1**. Reservoir and fluid properties are given in **Table 3.1**



Figure 3.1. The cross-section view of the reservoir with a vertical well at the center.

Properties	Values
Fluid type	Dry gas
Reservoir Temperature, °C	68
Initial Reservoir Pressure, bar	143
Specific gravity of gas	0.561
Permeability, md	100
Porosity, %	15
Reservoir thickness, m	60
Reservoir depth, m	1200
Reference depth, m	1230
Formation compressibility, /bar	43.5×10 ⁻⁶

Table 3.1. Reservoir and fluid properties of MEF gas field

4. MODELING STUDY

This section describes the details of the modeling of the MEF gas field. The reservoir is simulated with the help of Rubis software (Kappa- Ecrin v4.30.09, 2017). In this study, simulation is performed according to following rules:

- Production at different wellhead pressures (20 bara, 50 bara and 70 bara).
- 25 years (9125 day) of production.
- Cases are performed for five different number of wells (1, 2, 4, 8 and 16 wells).

4.1. Effect of Number of Wells on Reservoir Production Performance

Five different cases (1, 2, 4, 8 and 16 wells case) are discussed in this part. Every case contains information about cumulative produced gas and flow rate per well values.

Figure 4.1 gives the cumulative gas production at 20 bar and **Figure 4.2.** illustrates the flow rate per well at five different case.



Figure 4.1. Cumulative produced gas at wellhead flowing pressure 20 bara for various production well scenarios



Figure 4.2. Flow rate per well for various production well scenarios with time axis in log scale.

Interference between the production wells is investigated and results are provided in **Table 4.1.** Flow rate per well values are compared when the values of $p_{res}^2-p_{wf}^2$ are the same for different number of wells. For comparison, $p^2_{res}-p^2_{wf}$ value is decided as 463.18 bara. When more than one well is used, the flow rate per well decreases because each additional well affects the flow rate of the original single well flow rate proportionally.

Table 4.1. Flow rate per well for the same p^2_{res} - p^2_{wf} values.

P _{res}	P _{wf}	p^2_{res} - p^2_{wf}	# of Wells	Flow Rate Per Well, Million sm ³ /D
54.2	49.7	463.18	1	0.575804
51.8	47.1	463.18	4	0.538495
49.9	45.0	463.18	16	0.515452

4.2. Effects of Commissioning Time of Production Wells on Field Performance

In this section, two different scenarios with different production two methods are studied. In the first scenario, simulation is performed with a constant flow rate per well. In the second scenario, simulation is performed with a constant wellhead flowing pressure of 20 bar. In both scenarios effects of commissioning time is examined. Wells start production successively, where a new well is added in consecutive years. For example, production initially starts with a well. The single second well is commissioned to produce at the beginning of the second year. The other wells follow the same type of time scheduling. Placement of the wells are shown in Figure 4.3.



Figure 4.3. Placement of wells in a consecutive manner.

The outputs of the scenarios are shown in **Figures 4.4.** and **4.5.** Results of the graphs are given in the conclusions part.



Figure 4.4. Cumulative produced gas for constant flow rate case.



Figure 4.5. Cumulative produced gas for 20 bara wellhead flowing pressure case.

5. CONCLUSIONS

When a lower wellhead pressure is used for production, more gas is produced.

No matter how many wells are used, a maximum recoverable amount of gas can not be exceeded. This maximum amount of gas depends on limit set for the wellhead flowing pressure. Although, increasing the number of well allows the production of the maximum recoverable amount gas to be reached at an earlier time.

For successive commissioning of wells if a constant flow rate scenario is used, using more number of wells results in higher recovery.

For successive commissioning of wells, using four, five, six or seven wells result in the same amount of production in just about the same time for the specific conditions considered in this study.

REFERENCES

AI-Hussainy R. and Humphreys N., 1996. Reservoir Management: Principles and Practices, paper SPE 30144.

- Kappa Ecrin, v4.30.09, 2017. Software, KAPPA Engineering SA.
- Satman, A., 1985. *Doğalgaz Mühendisliği*, Faculty of Mines, ITU.

Petrol Kuyusunun Üretimi ve Dizaynı Production and Design of an Oil Well

H. Sarıkaya, R. Çetin, M.S. Ergül, Ş. Yamanlar

Istanbul Technical University, Department of Petroleum and Natural Gas Engineering, Istanbul

ÖZET Bu çalışmada bir petrol üretim kuyusunun kuyu dibi ve yüzey ekipmanı tasarlanıyor. Birinci adımda, rezervuar akışkanının faz davranışı çalışıldı. İkinci adımda, seperator basıncını optimize edildi. Üçüncü adımda, akış performansı ilişkisi (IPR) ve tubing performansı ilişkisi (TPR) eğrileri kullanılarak kuyunun verimliliği hesaplanmıştır. Son olarak üretim dizisi ve pompa tasarımı yapıldı.

Anahtar Kelimeler: Üretim, dizayn

ABSTRACT In this study, a well production and surface equipment of an oil production well is being designed. In the first step, the phase behavior of the reservoir fluid was studied. In the second step, the separator pressure was optimized. In the third step, the efficiency of the well was calculated using the inflow performance relationship (IPR) and the tubing performance relation (TPR) curves. Finally, the production line and the pump were designed. Keywords: Production, design

1. INTRODUCTION

In the beginning of this study, behavior of reservoir fluid of state is investigated. In the next stage, different correlations were tried to model the phase behavior and Pedersen's correlation is selected. To find optimum separator pressure, gas oil ratio (GOR) and formation volume factor (Bo) are minimized and the stock tank oil gravity is maximized. Future flow potential of the well is calculated by inflow performance relation and tubing performance relation curves. And finally, the sucker rod and pump systems are designed.

2. RESERVOIR FLUIDS AND PHASE BEHAVIOUR

In this chapter, C_{7+} characterization by exponential distribution model is calculated. Critical properties are calculated from Pedersen's correlation (Pedersen et al., 1989). Phase behavior of the crude oil in calculated from the Peng-Robinson equation of state (EOS) based software. Peng-Robinson EOS is given in **Equation 1**.

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a(\alpha)}{V(V+b) + b(V-b)} \qquad \text{Eq 1}$$

Composition of the crude oil is given in **Table 1**.

The phase envelope of crude oil is shown in **Figure 1**.



Figure 1. Crude oil phase envelope.

Component	Composition of	
Component	mole Fraction	
CO ₂	0.0042	
N ₂	0.0035	
C1	0.6349	
C ₂	0.1132	
C ₃	0.0591	
i-C4	0.0102	
n-C ₄	0.0186	
i-C ₅	0.0087	
n-C ₅	0.0065	
C ₆	0.0104	
C ₇₊	0.1307	
Σ	1.0000	
Properties of C ₇₊		
Specific gravity	0.819	
Molecular weight	212 lb/lb-mole	

Table 1. Mole fractions of components.

Figure 1 shows the change in phase envelope as a result of different C_{7+} characterizations.

3. PROPERTIES OF RES FLUID AND PVT ANLAYSISS

This chapter including some of properties of reservoir and some laboratory pressure/ volume/ temperature (PVT) analysis. For PVT analysis, constant composition expansion (CCE), differential liberation (DL) and multi – stage separator test experiments are used.



Figure 2. Pressure vs. Relative Volume.

Figure 2 shows the pressure vs relative volume result from CCE experiment. The results of DL experiments are shown in Figure 3 and Figure 4.



Figure 3. Oil density vs Pressure.





And finally, multi - stage separator test experiment results are calculated and given in **Table 2**.

Table2.Multi-stageseparatortestexperimental results.

Separator Pressure (Psia)	Separator Temperature °F	Gas/Oil Ratio	Stock- Tank Gravity API°	B _{oSb} Formation Volume Factor	Separator Volume Factor
65	75	718			1,0228
to					
15	75	33	43,71	1,442	1,0041
115	75	665			1,0471
to					
15	75	76	43,92	1,4379	1,0041
215	75	600			1,0874
to					
15	75	150	43,74	1,4439	1,0041
315	75	550			1,1187
to					
15	75	211	43,50	1,452	1,0041

4. SEPERATOR OPTIMAZTION

Optimum value of the separator pressure is the one that produces oil at maximum liquid yield and maximum quality. To obtain the maximum liquid yield total producing gasoil ration (GOR) and formation volume factor (Bo) should be minimum. To obtain maximum quality, API gravity of stock-tank should be maximum.

Figure 7 shows optimum GOR at optimum separator pressure, Figure 8 shows optimum FVF and Figure 9 shows optimum API gravity.



Figure 7. Optimum GOR at optimum separator pressure.



Figure 8. Optimum FVF at optimum separator pressure.

For this study, optimum separator pressure is 140 Psia with 43,55 API gravity, 725.1 GOR and 1,4272 FVF.



Figure 9. Optimum API gravity for optimum separator pressure.

5. RESERVOIR INFLOW PERFORMANCE AND TUBING PERFORMANCE

Reservoir inflow performance and tubing performance is used to predict the production rate of reservoir.

In this study, Fetkovich's equation is used for computing IPR and future IPR curves. For TPR curves, two correlation is used. These correlations are Mukherjee & Brill and Ansari mechanistic. **Figure 10** shows for IPR curves and TPR curves which is computed by using Mukherjee & Brill correlation.



Figure 10. IPR and TPR curves for Mukherjee & Brill method.

In **Figure 11** Ansari mechanistic correlation is used for computing TPR curve, and for IPR curves Fetkovich's equation is used. The intersection of IPR and TPR curves shows the natural flow rate. And this natural flow rates are represented in **Table 3** and **Table 4** for each year and each correlation.



Figure 11. IPR and TPR curves for Ansari mechanistic model.

Table 3. Flow rate for each year with Mukherjee & Brill correlation.

Mukherjee & Brill			
	Flow rate (bbl/D)	Pressure (Psia)	
Year 1	345	1822,4	
Year 2	257	1866,5	
Year 3	188	1914,2	
Year 4	131	1973,8	
Year 5	83	2041,7	
Year 6	33	2181,2	

Table 4. Flow rates for each year with Ansari mechanistic.

Ansari Mechanistic			
Flow ratePressure(bbl/D)(Psia)			
Year 1	371	1359	
Year 2	280	1475,4	
Year 3	205	1630,5	
Year 4	139	1855,1	

6. SUCKER ROD PUMPING

It provides mechanical energy to lift oil from bottom hole to surface. It is efficient, simple, and easy for field people to operate. It can pump a well down to very low pressure to maximize oil production rate. Sucker rod pumping design equations are not explained due to page restrictions.

7. CONCLUSIONS

As a conclusion, the C7+ subcomponent is modeled by using exponential distribution. Critical temeperature, critical pressure and acentric factor are all predicted from Pedersen correlations. Optimum seperator pressure is found 140 psia for two stage seperation system. Inflow performance is calculated from a Fetkovitch IPR equation and the tubing performance is calculated Mukherjee & Brill and Ansari Mechanistic multiphase flow correlations. Under the current equipment, the well can be produced up to 6 years. At the end of 6 years period an artificial lift method (sucker rod pumping) should be installed.

REFERENCES

Golan, M. & Whitson, C.H., 1991, *Well performance*, Prentice-Hall, Trondheim, Norway Guo et al., 2007, Petroleum production engineering,

Elsevier, Louisiana, USA.

McCain, W.D., 1993. *The properties of petroleum fluids*, PenWell, Tulsa, Oklahoma, USA.

- Mukherjee, H. & Brill, J.P., 1998, *Multiphase flow in wells*, Texas, USA
- Pedersen, K.S., Thomassen, P., and Fredenslund, A., 1989, Properties of Oils and Natural Gases, Contributions in Petroleum Geology and Engineering, Vol. 5, Gulf Publishing Co., Houston, USA.

Karot Örnekleriyle Yerinde Yanma Tasarımı In Situ Combustion Design by Using Core Samples

A. Bakır, B. Onbaşı, İ. Pala, M. Çınar

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği, İstanbul

ÖZET Üretim arttırma yöntemleri (UAT), petrol sahalarında üretimi arttırmak için farklı ve çeşitli teknikler içerir. Isıl yöntemler üretim arttırma yöntemlerinden başlıcalarındadır. Isıl yöntemler genellikle ağır ham petrolleri barındıran geleneksel olmayan kaynaklarda uygulanır. Yerinde yanma ağır petrol rezervuarlarına uygulanan ısıl yöntemlerden biridir. Yerinde yanmanın esası rezervuara hava veya oksijenle zenginleştirilmiş gaz basmak suretiyle yerinde petrolün bir kısmının yakılarak ısı üretilmesidir. Yanma reaksiyonlarının bir sonucu olarak, yanma cephesi rezervuara yayılırken sıcaklık artar, yanma gazları ve hafif hidrokarbonlar üretilir, petrolün kalitesi yükselir ve akmazlık azalır. Petrol yanma gazları ve suyla birlikte üretim kuyularına ötelenir. Bu bitirme tasarım projesinde karot örnekleriyle gerçekleştirilen yanma deneyleri kullanılarak yerinde yanma tasarımını içermektedir. Deneyler Batı Raman petrolü ve kumtaşı örneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlarla gerekli gaz miktarı, yerinde yanacak petrol miktarı, beklenen petrol üretimi hesaplanmış ve gerekli kompresörlerin özellikleri bulunmuştur.

ABSTRACT Enhanced Oil Recovery (EOR) comprises of various techniques used to improve oil recovery. Thermal methods are the one of the enhanced oil recovery methods. Thermal methods are generally applied to unconventional heavy reservoirs. In situ combustion (ISC) is one of the thermal methods applied to heavy oil reservoirs. The principle of ISC is to generate heat within the reservoir by burning some portion of the original oil in place by injecting air and oxygen-enriched air. As a result of combustion reactions, a combustion front propagates through a reservoir, increasing temperature, producing combustion gases and light hydrocarbons. Consequently, oil is upgraded, and viscosity is reduced. Oil is driven to the production wells with an active drive of combustion gases and project involves in situ combustion design using core samples and project consists of experiments and analysis of experimental results. Experimental results air requirement, fuel content, expected recovery were estimated and properties of the compressors needed were found.

1. INTRODUCTION

In situ combustion (ISC) is a long standing EOR method that had limited application in the industry. Successful field applications yielded the highest oil recoveries compared to other techniques. The idea is to inject air or oxygen enriched gas into a reservoir to burn some portion of the hydrocarbons in place to generate heat. As temperature increases oil viscosity is reduced and oil is driven towards the production wells by a vigorous drive of combustion gases and water. Also, as the heaviest components are burned oil and sulphur content is reduced oil is upgraded in situ.

The field application of ISC require laboratory studies to characterize the combustion properties and find required parameters. In this study, in situ combustion tube experiments were conducted with Batı Raman oil and sandstone with both air and oxygen enriched gas.

The combustion tube experiments were conducted in a 1m meter long stainless steel tube with a diameter of 73 mm. The cores that are used in experiments, were saturated with water, oil and gas and then combustion experiments were carried out with saturated cores in combustion tubes.

Project consist of experiments and analysis steps. The experimental data was analyzed and parameters such as air requirement and fuel content needed for an in situ combustion project design were estimated.

2. IN SITU COMBUSTION

In situ combustion (ISC) can be classified into two group based on the direction of air flow. These are forward and reverse combustion. In the forward combustion, combustion moves in the direction of the air flow but in the reverse combustion, front moves in the reverse direction compared to gas flow. In field, only the forward combustion is used. Forward Combustion is categorized into 'dry combustion' and 'wet combustion. While dry combustion uses only air, wet combustion uses air and water. In this project, dry combustion was considered only.

2.1. Forward Combustion

In laboratory tube tests, forward combustion is chosen more than reverse combustion. Wet combustion is more effective than dry combustion but dry combustion is preferred more than wet combustion in field because of the water requirement. In this work dry combustion tube tests were conducted with Batı Raman oil and sandstone samples.

2.1.1. Dry Combustion

In dry combustion, air or enriched air is injected to the injection wells firstly and then, oil in the formation is ignited by heaters. In some cases, ignition can be initiated automatically when reservoir temperature is sufficiently high.

2.1.2. Wet Combustion

Dry air is not efficient as efficient as water to sweep the energy left behind the combustion front. The remaining heat behind the front could be a considerable amount. However, water can absorb and transfer heat much more efficiently than air. There might be more energy stored in the burned sand and this energy can be recovered and transferred downstream, if water is injected after or during air injection. This is called as wet combustion process.

2.2. Reverse Combustion

Reverse combustion occurs in opposite direction of air flow. While this process is so useful for high viscous heavy oils in laboratory, certain failures may also happen inevitably during the field applications. First of all, reverse combustion needs more oxygen and has higher cost than forward combustion. Secondly, coke might stand in burned zone and it can start to burn automatically which turns the process to forward combustion. Therefore, reverse combustion has not been applied commercially in field tests. Unlike forward combustion, reverse combustion does not have well – established operating principles.

3. IN SITU COMBUSTION TUBE TESTS

Combustion tube tests are crucial for providing necessary parameters for an in situ combustion design. These test provide air requirement and fuel content that are crucial for the design of such a project. In addition, these test provide additional information such as compositional changes and peak temperatures.

4. APPARATUS

Conducting these experiments in laboratory generally involves two steps and two different apparatus. First one is saturation part that is conducted with core holder. In this step by injecting water and heavy oil into the core sample in core holder the core sample is saturated with oil and water. Second step is the combustion experiments that are conducted by using combustion test apparatus designed by Murat Cinar (2011). The apparatus consists of flow meter, mass temperature flow controller. reader. temperature controller, temperature limit furnace, relief controller. valve. back pressure controller, data loggers, and a gas analyzer.

5. ISC EXPERIMENTS

ISC experiments have three steps and these are; preparation (1), the experiments (2) and post mortem analysis (3). Preparation step consists of preparation of combustion tube and saturated cores. The experiments begin with the ignition and it involves observation of temperature and gas concentration. These data are continuously recorded using data loggers. Finally, post mortem analysis involves visual study of the burned region.

6. EXPERIMENTAL RESULTS

First experiments were done with air having 29 % O_2 concentration. Combustion could not be propagated in the combustion tube. Thus the experiment was ended. Second experiment was conducted with enriched air that has 39 % O_2 concentration. Enriched air experiment was successful and the design was based on this experiment's results.

7. DESIGN CALCULATIONS

A pilot test was designed with experimental results and production data was calculated with Nelson and McNeil Method (1961). Reservoir properties are shown in Table 7.1. Method gives expected recovery, maximum rate and injection pressure. Based on this results a compressor is selected.

Table 7.1. Reservoir Parameters

Distance Between Injection	
and Production Wells	400 ft
Formation Thickness	50 ft
Formation Temperature	85 °F
Production Bottom Hole	
Pressure	14.7 psia
Porosity	23 %
Specific Permeability	1062 md
Oil Saturation	64 %
Water Saturation	33 %
Volumetric Sweep Efficiency	25 %
Production Well Radius	0.276 ft

Table 7.2. Nelson and McNeil Method Results

Overall Recovery	
Efficiency	53 %
Maximum Air Injection	
Pressure	2505 psia
Maximum Air Rate	2.194 scf/day
Duration of the project	550 days

8. ECONOMIC ANALYSIS

Also an economic analysis is conduced based on the design of the project. Using expected recovery total income is estimated assuming that the oil price is constant through the life time of the project that is 550 days. Also initial investment for the pilot project is considered based on compressor requirement and additional costs.

- Oil production = 630276 bbl
- Total Income = \$ 18,531,239
- Total Cost = \$10,560,000

9. CONCLUSION

In this project by using a sandstone core sample and Batı Raman oil an in situ combustion field design in performed. Based on experimental results the air requirement and fuel content is estimated as 8.02 MMscf/acre-ft and 186 bbl/acre-ft respectively. Nelson and McNeil Method (1961) yields 53% recovery assuming 25 % volumetric sweep efficiency. Based on the economic analysis the project is profitable.

10. ACKNOWLEDGEMENT

First of all, this project has provided us a new view point to petroleum engineering, and all of us was able to work with crude oil more than usual. Although, this laboratory experiments require hard work, we finished the experiments and these experiments are the most important experience in our education and it was an honor being in this project. Unless our supervisor Asst. Prof. Dr. Murat Çınar, we were not able to join and finish this project. We also have special thanks to Melek Deniz Paker who provides us possibility of joining this project and who helped us during laboratory experiment.

REFERENCES

- Belgrave, J. D. M., Moore, R. G., Ursenbach, M. G., & Bennion, D. W. (1993, April 1). A Comprehensive Approach to In-Situ Combustion Modeling. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/20250-PA
- Burger, J. G., and, Sahuquet, B. C., Chemical Aspects of In-Situ Combustion - Heat of Combustion and Kinetics, SPE Journal, Vol: 253, pp: 410-422, SPE 3599-PA, October 1972.
- Cinar, M., Hascakir, B., Castanier, L. M., and, Kovscek, A. R., Predictability of crude oil in-situ combustion by the isoconversional kinetic approach, SPE Journal, Vol: 16, 3, pp: 537 – 547, SPE 148088-PA, September 2011.
- Green, D. W., and, Willhite, G. P., Enhanced Oil Recovery, SPE Textbook Series, Vol: 6, Texas, USA, 1998.
- Lake, L. W., Enhanced Oil Recovery, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 1989.
- Lapene, A., Castanier, L. M., Debenest G., Quintard, M., Kamp, A. M., and, Corre, B., Effects of Water on Kinetics of Wet In-situ Combustion, SPE 121180, presented at SPE Western Regional Meeting, San Jose, California, USA, March 2009.
- Sarathi, P. S., In-Situ Combustion Handbook: Principles and Practices, Final report: November 1988, doe/pc/91008-0375, United States Department of Energy, National Petroleum Technology Office, January 1999.
- Satman, A., In-Situ Combustion Models for The Steam Plateau and for Fieldwide Oil Recovery, SUPRI TR 13, Ph.D. Thesis, Petroleum Research

Institute, Stanford University, California, United States, February 1979.

- Syed, A. A. N. (2012). Enhanced Oil Recovery of Heavy Oil by Using Thermal and Non-Thermal Methods (Unpublished Doctoral Thesis). Dalhoise University, Halifax, Canada.
- Turta, A., In Situ Combustion, In J. J. Sheng (Ed.), Enhanced Oil Recovery Field Case Studies, Elsevier Inc., Oxford, UK, 2013.
- URL1:https://staticseekingalpha.a.ssl.fastly.net/uplo ads/2015/5/24/saupload_Nmw2Lh1rde2331X1sQ 4THkUiJgQ4TSYBDGM1UVqklsx_wFimE1wd T9g_8cP3WZFOEXJJAa7DIx0GfjZzkI1BJaq03z iQoLEaygzkYK1ZqDc8rsyzp6vTA1YCblvckY1 P8pGzY
- URL2:http://ucalgaryreservoirsimulation.ca/kineticmodeling-of-the-in-situ combustion-process-forathabasca-oil-sands
- URL3:http://www.insitucombustion.ca/picts/Cpicture2.png

Akaryakıt Sızıntısı ile Kirlenmiş Sığ Yeraltı Katmanlarını İlgili Yönetmelikler Kapsamında İyileştirme Tasarımı

Remediation Design Within the Pertinent Regulations for Shallow Strata Contaminated With the Leaked Fuel

H. K. Dölek, İ. Gülmez, D. Ermen, İ. M. Mıhçakan

Petroleum and Natural Gas Engineering Department, Istanbul Technical University, Istanbul

ÖZET Bu çalışmada, gerçek bir akaryakıt istasyonunda yeraltı depolama tanklarından sızan akaryakıt ile kirlenmiş sığ yeraltı toprak katmanlarının iyileştirilmesi için, önce ilgili yönetmelik uyarınca yapılan birinci aşama araştırma ile kirlilik durumu saptanmıştır. Alınan yeraltı toprak ve su örneklerinin analiz sonuçlarına göre ana kirletici bileşen benzendir. Yöre jeolojisi ve toprak örnekleri, istasyon cıvarında su tablası üzerindeki sığ katmanların, derine indikçe artan kil içeriği ile geçirgenliği düşen ince taneli kumlu kil olduğunu göstermiştir. İyileştirme yöntemi olarak, istasyon alanında 3 kuyu delinmesi, iki kuyudan kirletici benzen buharına doygun 2-6 metre derinlik aralığına hava basılarak benzenin dışarı alınacağı üçüncü kuyuya süpürülmesi düşünülmüştür. Gözenekliliği 0.32 olan dört katmandan oluşan sistem CMG andırı (simülasyon) yazılımı ile modellenmiş, yöntemin minimum 5-10 md toprak geçirgenliğinde ve en az 4.75 yıl hava basılması ile gerçekleşebileceği bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: akaryakıt, istasyon, sızıntı, yeraltı, iyileştirme.

ABSTRACT In this study, initially the contamination state is detected in the first-stage investigation at an actual gasoline retail and service station, in accordance with the regulations, for the remediation of shallow soil layers contaminated by leaked fuel from underground storage tanks. According to the analyses of subsurface soil and water samples the major contaminant is benzene. Local geology and soil samples indicate that the shallow layers above the water table at the station site are fine-grain sand containing clay, of which permeability decreases with increasing clay content with depth. For the remediation the method considered is to drill 3 wells at the station site, inject air via two of them into 2-6 meter benzene-vapor-saturated depth interval, and sweep benzene to the third well of venting. The system of four layers with porosity of 0.32 is modeled using CMG simulation software, and it is found that the method will realize with minimum 5-10 md permeability and 4.75 years of air injection.

Keywords: fuel, station, leakage, subsurface, remediation.

1 INTRODUCTION

Fuel leakages and spills may occur due to some problems originated from the transfer operations or installations at the storage and transfer facilities and at the retail and service stations of fuels. Subsurface seepage and spread of thus liberated fuel to contaminate underground soil and water is a commonly faced trouble. Conducting an investigation and design study, in accordance with the law and regulations at issue, is indispensible to choose the most applicable and economic method for removing the contamination and remediating the medium at an industrial site, e.g., a gasoline retail and service station, where subsurface contamination is detected.

The most common points for fuel leakage at storage and transfer facilities are the flow lines, aboveground storage tanks (AST), and the transfer units of fuel. At gasoline retail and service stations, however, in addition to the buried flow lines, underground storage tanks (UST), remote fill points of USTs, and the retail dispensers of gasoline and diesel oil constitute the most common points for fuel leakage.

2 SUBSURFACE CONTAMINATION

The fuel leaked from one of the aforementioned sources, such as an UST, can easily seep into the subsurface soil layers and may reach the water table, as shown in Fig. 1.



Figure 1. A Schematic of the seepage of fuel leaked from an UST into subsurface soil and aquifer waters.

Seeped hydrocarbon liquid (fuel) can move and disperses out within the flowing aquifer water to further contaminate the subsurface environment. Eventually, the contaminant in the produced water might be contacted by human beings through drinking or bathing and, hence, creates jeopardy for their health.

3 REMEDIATION TECHNIQUES

There are a number of methods for removing contaminants from the subsurface soil and water and they generally classified as,

- 1. Ex situ treatment
- 2. In situ treatment
- 3. Containment

Each of these general groups are further divided into several distinct techniques, of which one or a combination of them can be used to remove contaminant or the pollutant from the contaminated soil, water, or air.

In ex-situ treatment the contaminated soil is first excavated and, then, remediated by either of biological, physical/chemical, or thermal treatment techniques.

Containment is simply the isolation of the contaminated soil by surrounding it with an impermeable barrier.

In-situ treatment involves in biological or physical/chemical treatments. Among those, air sparging and vapor extraction, enhanced with bioremediation, in soils seem to be the appropriate techniques for the problem here.

4 TURKISH LEGISLATION AT ISSUE

The Turkish law and regulations, pertinent to the remediation of contaminated/polluted sites at and around the industrial facilities including the fuel retail and service stations, were accepted by the Parliament and became effective in June 2015. All industrial sites and facilities were asked to report any prior or current contamination or pollution in their facilities, as best to their knowledge. If not done so, substantial penalty is to be applied.

Aforementioned regulations is called the "Directive Related to the Superintendence of Soil Contamination and the Point-Source Contaminated Fields," and abbreviated in Turkish as TKKNKKSDY. For any field or facility this directive is applied in four steps,

- 1. detection and registration
- 2. first stage evaluation
- 3. second stage evaluation
- 4. remediation and cleaning

5 DESCRIPTION OF THE PROBLEM

Unknown quantity of fuel (gasoline and/or diesel oil) leakage was claimed at one of the fuel retail and service stations in İstanbul province. According to the TKKNKKSDY Directive, the station site was required to be investigated for the possible contamination of subsurface soil and water. A licensed company was assigned for carrying out the investigation, evaluation, and remediation tasks by complying with the TKKNKKSDY Directive. The licensed company performed
the tasks by adhering to the aforementioned steps, in Section 4 above, and submitted a report to the governing authority at the end of each step. The licensed company started each subsequent step only upon the approval of the report by the authority.

5.1 Site Visit, Investigation, and Detection

A team of the licensed company visited the station and conducted an investigation to determine the sources for any possible fuel leakage and the contamination. It was found that the station have been in operation under flag of three petroleum companies in three different time intervals, since 2005. As seen in Fig.2, there exist six underground storage tanks (USTs), of which two are unleaded gasoline and six are diesel-oil tanks with 20,000 liter capacity each. Maximum burial depth of USTs is 4.5 meters and all the retail and remote filling flow lines are galvanized metal pipes. Moreover, a 10,000-liter above ground LPG tank does exist at the station.



Figure 2. The location of water monitoring wells (MW) and slim holes (SP) for soil and water sampling in the fuel station area.

In the station area 3 water monitoring wells (MW), marked with solid white circles in Fig.2, were detected. The owner of the station reported that the depth of water in monitoring wells was deeper than 14 meters, based on a previous investigation at the site.

The location of 7 slim holes, designated with SP in Fig.2, are decided to be adequate for obtaining the subsurface soil and water samples that can represent contamination at shallow depths. The SP5 slim-hole location is chosen as the reference point, where the contamination in subsurface soil and water was unlikely. All results of the investigation and the proposed actions were submitted in a Site Sampling Analysis Plan (SÖAP) report to the governing authority.

5.2 First Stage Evaluation

After the acceptance and approval of the SÖAP report by the governing authority, the "First Stage Evaluation" phase was started. Initially, the region encompassing the station area was studied in terms of the geological and geo-hydrological conditions. It is found that a Late Miocene-Pliocene aged sediment unit is the major rock type in the region. The station is located over a mainly clay member of this sedimentary unit. With the thickness from 2-3 to 30-40 meters, the clay formation is entirely of high-plasticity and has low silt content outside its thin and sandy layers.

The aerial geo-hydrological properties of the upper members of the main geological unit seem to coincide with their geological attributes in the region. The station area is located on a very small and isolated semipermeable formation, acting as an aquitard, surrounded by an impermeable member of the sedimentary unit.

The slim holes were opened by percussion drilling with successive 1-meter penetration. The soil samples collected after each 1-meter penetration were examined by PID (photo ionization detector) measurement and with fuel fragrance detection. No free water did exist for sampling in any of the slim holes.

The soil sampling was started below the 0.3-meter thick concrete sub-structure of the station and continued until no contamination was detected. The PID readings on the soil samples from SP1, SP3, SP5, and SP6 holes were significantly low (< 25 ppm). In other samples from SP4, SP7, and especially from SP2, a heavy fuel fragrance was detected and the PID readings on those latter soil samples varied from 180 ppm to higher than 15,000 ppm, implying a high level of contamination, particularly around SP2 hole. PID readings on soil samples diminished after the depth of 5 meters, indicating that the contamination

did not extend beyond 6-meter of depth. The laboratory analyses of soil samples had revealed results that support the field PID measurements and fragrance detections.

Especially the soil samples from SP2 hole exhibited very high concentration of TPH (total petroleum hydrocarbons), TVOC (total volatile organic compounds), ethylbenzene, and xylene. The ratio of the concentration of these contaminants in soil samples from SP2 to those from the reference soil sample from SP5 were found to be 450 for ethylbenzene, 13,200 for xylene, and 72 for TVOC.

The laboratory analyses of water samples obtained from 3 monitoring water wells also yielded a rather high concentrations of AOX (adsorbable organically bound halogens), BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene), and TVOC contaminants in water samples from MW1 and MW2 wells, as seen in the following table.

Laboratory analysis results for AOX, BTEX, and TVOC concentrations in waters sampled from MW1, MW2, and MW3 wells.

Contaminant	MW1	MW2	MW3
AOX (µg/L)	2260.	1370	0
BTEX (µg/L)	208.8	15.3	0
TVOC (µg/L)	254.4	26.	0

This tabulated data clearly shows that the water in and around the MW3 well was not contaminated by any of those components. Yet, the area between SP2 and SP3 sampling points and, primarily, around MW1 well are severely contaminated by those components.

5.3 Second Stage Evaluation

After the acceptance and approval of the First stage report by the governing authority, a risk analysis was conducted to evaluate the cancer risk in humans who would establish contact with the contaminated groundwater moved out from this station area.

According to the risk analysis results the major contaminant was benzene and other benzene containing organic compounds. Since benzene is a carcinogenic compound jeopardizing human health, the fuel station site was proposed to be considered for the subsurface remediation and cleaning.

5.4 Selection of Remediation Technique

At this stage the major issue was the method selection for the most efficient and economic remediation and cleaning at the station site.

As the subsurface shallow formation was mostly consisted of clay, its permeability to water would be significantly low. Moreover, it is estimated that the benzene is in vapor phase at the in-situ pressure and temperature conditions. Thus, conducting a waterflood to displace the benzene out from MW1 well is eliminated. Instead, however, as shown in Fig. 3, air sparging application could yield successful results. Since benzene can be consumed as a nutrient by the in-situ aerobic bacterial colonies, the introduction of air into the soil would also active the bacterial decomposition of benzene and result with exalting the benzene removal.



Figure 3. The remediation methods of air sparging and vapor extraction from soils – modified from EPA, 2012.

6 SIMULATION OF AIR SPARGING

It has been probably the first time ever the CMG professional reservoir simulator is used to numerically model air sparging in the shallow soil strata in a very limited area of the fuel station. The main efforts were concentrated on the construction of oil-water and gas-oil relative permeabilities in a soil, saturated mostly with benzene vapors. The permeability of soil, which is mostly clay, and the constant air injection rate have been the main parameter tested for the success of air sparging technique.

The subsurface soil is divided into four layers with the same relative permeability behavior. After a number of trials on CMG software, it is found that the application of air sparging, by air injection from MW2 and MW3 wells and vapor extraction from MW1 well, could be successful if the permeability of the top layer is at least 10 md and that of the three lower layers is at least 5 md.

After 1119 days (~3 years) of air injection in MW2 and MW3 wells with the constant rate of 2.3 m³ per day, the air injected in MW2 well breaks through at MW1 well, as seen in Fig. 4.



Figure 4. Air breakthrough at MW1 after 1119 days of 2.3 m^3 per day air injection in MW2 and MW3 wells.

At the end of 1735 days (4.75 years), the total air injected is about 7942 m³ and the total benzene extracted from MW1 well is 72.44 m³. Total pore volume contacted by the injected air is 372.63 m³. If the average benzene content in regular unleaded gasoline is assumed to be 10.5 g/L, then, the leakage of at least 22,752 L of unleaded gasoline in 12 years, between 2005 and 2017, is estimated. The maximum pressure attained in the soil strata has reached about 100 psia,

which may be unacceptable for such shallow clay formations. Moreover, the time frame for the entire operation may increase the cost to a level that air sparging application may not be feasible.

7 CONCLUSIONS

In this study the air sparging method for the remediation of liquid fuel contaminated soil and water in the shallow strata under a real fuel retail and service station is designed. It is found that the magnitude of permeability of the clay strata and the air injection rate are the controlling parameters for the success of the method. In case that if those parameters are not favorable and, hence this technique is found unsuccessful, then, the only technique that can be applied will be the excavation and replacement of station soil down to the depth of 6 meters. The excavated soil would be cleaned by an ex-situ treatment technique.

ACKNOWLEDGEMENTS

Our immense gratitude goes to TORA Petroleum Produts, Inc. for the information that made this study possible. Our thanks go to ITÜ Petroleum and Natural Gas Engineering Department for providing CMG software for the simulation part of our work. Our thanks are also extended to Dr. Murat Çınar for his indispensible help in the use of the software.

REFERENCES

- ÇŞB, 2009. *Kirlenmiş Saha Etüt Teknik Rehberi*, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- EPA, 2012. A Citizan's Guide to Soil Vapor Extraction and Air Sparging, EPA 542-F-12-018, Office of Solid Waste & Emergency Resp., U.S. Env. Prot. Agency, September, USA.
- McMullen, J., Scott C., Silva, Q., and Chavez, V., 2014. *Measuring the Concentration of Benzene in Gasoline Vapors in Nacogdoches, TX*, supported by Jerez, S., Stephen A., Austin State University, Texas, U.S.A.
- Montgomery, J.H., 2007. *Groundwater Chemicals Desk Reference*, 4th ed., CRC Press, Boca Raton, FL, USA, p.83.
- RG, 2010. Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik, Resmi Gazete, 08 Haziran, Sayı 27605, Ankara.

Doğal Beslenme Konfigürasyonların ve Kuyu Sayısının Jeotermal Enerji Santralinin Kapasitesinin Tasarımı Üzerinde Etkisi

Effects of Number of Wells And Natural Recharge Configurations on The Design of Geothermal Power Plant Capacity

M. Altundağ, F. G. Yeşil, E. D. Korkmaz Başel, Ö. İ. Türeyen, A. Satman İstanbul Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu çalışma jeotermal sahasında en iyi performansı elde etmek amacıyla yapılan bir tasarım projesidir. Amaç eşit alanlarda rezervuarda açılan kuyuların etkisini ve doğal destek kaynaklı durumdan nasıl etkilendiğini incelemektir.Bu bitirme tasarım projesinde sanal bir saha göz önüne alınmış ve farklı koşuldaki en uygun üretim araştırılmıştır. Saha geliştirme girdileri optimum sabit kuyu debisi ve kuyu başı akış basıncı 5 barın altında olmaması durumu göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Performans analizleri yapıldıktan sonra jeotermal saha geliştirmek için kuyu sayıları arttırılmıştır. Sonuçlar kuyu sayısına göre karşılaştırılmıştır. Performanslar karşılaştırıldıktan sonra elektrik santralleri kurularak üretilen elektrik analiz edilmiştir.

ABSTRACT This study represents the development design which aims to obtain the best performance from a geothermal field. The purpose was to investigate the effects of number of wells with equal well spacing on the power generation capacity, and presence of natural recharge for the reservoirs.

In this graduation design project, a hypothetical field is assumed and optimal production scheme in multiple cases is investigated. The results of this study were obtained by developing the geothermal field while considering some approaches such as constant mass flow rate and wellhead pressures should be no lower than 5 bar for each well. After analyzing the reservoir performance, geothermal field has been developed by increasing the number of well. And the results are compared in terms the number of wells. After comparing the performance, power plants are conducted and the generated electricity power is analyzed.

1. PROBLEM STATEMENT

The Gazali-Merve (GM) geothermal field, is assumed to be a hot water field with 250 °C temperature and 200 bara initial reservoir pressure. There exists an uncertainty with regard to the geometry of the natural recharge. To handle the uncertainty performance predictions to be used in the design process, two main configurations are considered. Conceptual model of the reservoirs are investigated based on two configurations of natural recharge influx;

• In one case the natural recharge is assumed to be from the bottom of the reservoir

• In the second case the natural recharge is assumed to be from bottom and from one of the sides.

Consequently, this study is conducted such that an optimal number of wells is determined for power generation; for comparing the scenarios, the behavior of average reservoir pressures, wellbore flowing pressures, mass flow rates and total produced heat are analyzed.

2. DESIGN STUDY

In this section, details of RUBIS (Kappa-Ecrin v4.3, 2013) simulator in modelling geothermal field is presented. Fluid type in the reservoir is assumed to be compressed hot water. Rubis model uses correlations to define water properties. The project life is considered as 10000 days (≈ 27 years). In this strategy, the flow rates are determined individually for each scheme using a trial and error method where the criteria for determining the flow rate is such that at the end of the 10000 days production period, all wellhead pressures should be no lower than 5 bar for each well. By applying this strategy, the effects of number of wells (1 well, 2 wells, 4 wells, 8 wells, 16 wells, 32 wells), these schemes illustrated in Figure 1. The input properties of GM geothermal field for modelling are given in Table 1.

Table 1.	Properties	of	geothermal	reservoir
for mode	lling.			

Parameters	Value
Initial Reservoir Pressure, bara	200
Initial Reservoir Temperature, °C	250
Reservoir Surface Area, km ²	30.25
Reservoir Depth, m	1500
Reservoir Thickness, m	1000
Recharge Constant, kg/bar-s	20
Permeability, mD	200
Porosity	0.05
Water Density, kg/m ³ @T=250 <u>°C</u>	826.28
Water compressibility, 1/bar @T=250 °C P=200 bara	1.15×10 ⁻⁴
Formation Compressibility, 1/bar	1×10-4
Total Compressibility, 1/bar @T=250 °C P=200 bara	2.15×10 ⁻⁴
Water Viscosity, cp @T=250 °C P=200 bara	0.113
Wellbore Radius, m	0.1
Water Formation Volume Factor, m ³ /sm ³	1.22

2.1 Production Scenarios for Reservoir With Natural Recharge From Bottom

In this study, it is assumed that there is a natural recharge support from the bottom of the reservoir. The recharge constant (α) is assumed to be as 20 kg/bar-s, as shown in Figure 1.



Figure 1. The schematic 3D view of reservoir with natural recharge from bottom.

By increasing the number of wells, mass flow rate per well decreases since total mass flow rate increases and average reservoir pressure decreases more. It is important to note that the total field mass flow rate does not change much after 8 wells. Average reservoir pressures stabilize at 190, 185.5, 182, 180.4, 179.7, and 179.5 bara for 1, 2, 4, 8, 16, and 32 wells, respectively.



Figure 2. Cartesian plot of average reservoir pressure per well versus time for reservoir with natural recharge from bottom.

Then the stabilization of the average reservoir pressures are because of the effect of the support of the natural recharge. The stabilization values of average reservoir pressure are decreasing with increasing number of wells. While increasing the number of wells, difference between initial pressure and average reservoir pressure increases since production is increasing. For example, average reservoir pressure drop for 1 well is around 10 bar, but it is around 19.6 bar per well for 8 wells. Cumulative produced water is shown in Figure 3. As expected the maximum amount of water production for such a case is obtained using the scheme with 32 wells. As the number of wells increase, the total amount of water produced increases as well, however not much difference is obtained after 8 wells.



Figure 3. Cartesian plot of cumulative produced water versus time for reservoir with natural recharge from bottom.

2.2. Production Scenarios for Reservoir With Natural Recharge From Bottom And Edge

In this study, it is assumed that there is a natural recharge support from the bottom and edge of the reservoir. The recharge constant is assumed to be 20 kg/bar-s, separately. The recharge constant is assumed to be 20 kg/bar-s, separately (Figure 4).

The stabilization values of average reservoir pressure are decreasing with

increasing number of wells. While increasing the number of wells, difference initial between pressure and average reservoir pressure increases since production is increasing. For example, average reservoir pressure drop for 1 well is around 6.1 bar, but it is around 17.7 bar per well for 8 wells. These values are greater than the case given in section 2.1, since natural recharge is increasing.



Figure 4. The schematic 3D view of reservoir with natural recharge from bottom and edge.



Figure 5. Cartesian plot of average reservoir pressures versus time for reservoir with natural recharge from bottom and edge.

Cumulative produced water, while increasing the well number, produced water increases. As expected the maximum amount of water production for such a case is obtained using the scheme with 32 wells.

2.3. Comparison in Terms of Natural Recharge Configurations

According to Figure 6, while average reservoir pressure for reservoir supported by natural recharge from bottom remains constant 180.4 bara at 1000 days, average reservoir pressure for reservoir supported by natural recharge from bottom and edge remains constant 182.2 bara at 500 days. When natural recharge support is stronger, the reservoir reaches more rapidly steady state pressure at higher value.



Figure 6. Average reservoir pressure versus time for two reservoir conditions with 8 wells.

According to Table 2, in the reservoir with natural recharge only from bottom, difference of power capacity between 1 well and 8 wells is two times increasing. In the reservoir with natural recharge from bottom and edge, difference of power capacity between 1 well and 8 wells is three times increasing. As a natural recharge support is stronger, power capacity is larger.

	Power Capacity for the Case With Recharge From Bottom, <u>MWa</u>	Power Capacity for the Case With Recharge From Bottom and Edge, <u>MWa</u>
1 Well	12.43	14.76
2 Wells	18.20	24.57
4 Wells	22.40	34.75
8 Wells	24.44	43.28
16 Wells	25.34	47.10
32 Wells	25.59	48.51

Table 2. Comparison in terms of power capacity for the case with recharge from bottom and for the case with recharge from bottom and edge.

3. CONCLUSIONS

The GM geothermal field is considered to be a compressed liquid type of a reservoir. A design study is conducted such that an optimal number of wells is determined for power generation. In the optimization process, only technical aspects are taken into account. Economical aspects have not been considered in this study. For this purpose, the Rubis simulator has been used for modelling the geothermal reservoir. We considered six different schemes each with a specified number of wells. The total area was divided by the number of wells that each wells drainage area was kept the same. For each scheme we considered production for a period of 10000 days. The flow rates were determined individually for each scheme using a trial and error method where the criteria for determining the flow rate is such that at the end of the 10000 days production period, all wellhead pressures should be no greater than 5 bar for each well. We compared the results of reservoir behavior for 1, 2, 4, 8, 16, and 32 wells. Based on the results of the average reservoir pressure and cumulative produced water for all cases with various number of wells, the optimum number of well is determined to be 8. In the reservoir supported by natural recharge from bottom, 24.44 MWe was generated with 8 wells. On the other hand, in the reservoir supported by natural recharge from bottom and edge, 43.28 MWe was produced with 8 wells. Consequently, based on the results of the pressure, produced heat and power capacity; when the natural recharge support is stronger;

- Average reservoir pressure is fixed at a higher value,
- More hot water is produced,
- More electricity power is generated.

REFERENCES

Kappa-Ecrin, Rubis Black Oil Simulator v4.30, 2013. Sophia Antipolis, France.

Ağır Petrol Sahasının Geliştirilmesi Heavy Oil Field Development

Z. M. Baday, Ş. Alkış, E. D. Korkmaz Başel, Ö. İ. Türeyen, A. Satman İstanbul Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu çalışma ağır bir petrol sahasının geliştirilmesi üzerine tasarlanmıştır. Tasarımda sahaya delinecek kuyu sayıları ve kuyu tipleri (düşey ve yatay) dikkate alınmıştır. Toplamda 12 farklı durum incelenmiştir. Bu amaçla, MS olarak adlandırılan sentetik ağır bir petrol sahası Rubis simülatörü kullanılarak modellenmiştir ve proje ömrü 10000 gün olarak kabul edilmiştir. Saha hacimsel petrol sahası olarak kabul edilmiştir (akifer desteği yoktur). Tüm durumlarda kuyudibi akış basıncı sabit 500 psia olarak kabul edilmiştir ve ortalama rezervuar basıncları, toplam petrol üretimleri, petrol debileri ve üretim faktörleri karşılaştırılmıştır.

Kuyu sayılarının ve tiplerinin etkileri düşünüldüğünde, rezervuar davranış sonuçları üretim uzunlukları 230 ft olan, başka bir deyişle üretim uzunluğu rezervuar kalınlığına eşit olan dikey kuyular için kuyu sayısı 1'den 24'e kadar artırılarak karşılaştırılmıştır. Daha sonra, farklı uzunluklardaki her yatay kuyu için (230 ft'ten 5520 ft'e) davranışlar incelenmiştir. Saha içerisinde kuyular birbirlerine seri ve paralel olacak şekilde konumlandırılmış ve rezervuar davranışları incelenmiştir. Son olarak, yatay kuyular için farklı kuyu sayıları dikkate alındığında, toplam yatay uzunluk her durum için eşit kabul edilmiştir. Başka bir ifade ile, dört tane 460 ft yatay kuyu, iki tane 920 ft yatay kuyu ve bir tane 1840 ft yatay kuyu karşılaştırmaları sunulmuştur.

Anathar Kelimeler: Ağır petrol, Ağır petrol sahası geliştirilmesi, Dikey kuyu, Yatay kuyu.

ABSTRACT This study is designed on the development of a heavy oil field. Number of wells and types of wells (vertical-horizontal) are taken account in the design of the field. A total of 12 cases are investigated. For this purpose, a synthetic MS heavy oil field is modeled using Rubis simulator program. The reservoir is assumed to be a volumetric oil reservoir (without any aquifer support).

For all cases, production at a fixed 500 psia bottomhole flowing pressure and the results are compared in terms of average reservoir pressure, cumulative oil production, oil flow rate, and recovery factor behavior are investigated.

When the effects of the number and type of wells are considered, the results of reservoir behavior is compared for increasing vertical well number from 1 to 24 with producing lengths of 230 ft which corresponds to a well that is fully completed through the entire reservoir thickness. Then, behaviors of each horizontal well with various lengths (230 ft to 5520 ft) are analyzed. Furthermore, horizontal wells have been considered to be in series and in parallel placements. Finally, when different number of horizontal wells are considered, the overall length of the different number of wells are treated to be the same. In other words, some comparisons such as the comparison between the behaviors of four horizontal wells with 460 ft, two horizontal wells with 920 ft, and one horizontal well with 1840 ft are presented. Keywords: Heavy oil, Heavy oil field development, Vertical well, Horizontal well.

1. INTRODUCTION

Crude oil consists of carbon, hydrogen, nitrogen, oxygen, sulfur, and some metals. Heavy oil is very viscous and does not flow easily. Crude oils which have viscosity between 100 and 1000 cp and API gravity ranging from 10° to 21° are called conventional heavy oils, whereas API gravity below 10° and viscosity above 1000 cp are named as unconventional heavy oil or extra heavy oil, however defining heavy oil with viscosity is more accurate then API gravity (Banerjee, 2012).

2. HEAVY OIL FIELD DEVELOPMENT

Oil field development refers to number of stages of processes starts with exploration and drilling activities, followed by further stages involving production, extensive drilling and injection.

By implementing horizontal drilling and the state-of-the-art completion methods now available, heavy oil fields are now being revitalized. This development strategy reduces the number of surface locations and facilities, subsequently decreasing the overall field development costs (Cavender, 2004).

In addition, well spacing of heavy oil fields should be small for more production and higher recovery.

3. DESCRIPTION OF THE MODEL

A synthetic heavy oil field which is called Meltem-Şuayip (MS) has 11 °API of oil gravity. The aim of this study is to investigate the effects of different numbers of vertical wells, horizontal wells and horizontal well lengths on development of MS heavy oil field. The top of the the reservoir assigned is taken to be at 5249 ft, the reference depth at which initial reservoir pressure is 5364 ft, which corresponds to the midpoint of the thickness. Rubis software uses some correlations to define rock and fluid properties. Standing's correlation is used to define oil formation volume factor, Vasquez - Beggs correlation is used to define the compressibility of oil while the viscosity is taken as a constant value of 420 cp. The project life is considered as 10000 days. The reservoir is assumed to be a volumetric oil reservoir (without any aquifer support). The geometry of MS heavy oil field is presented in **Figure 1**. **Figure 2** shows the schematic of the cross section of the reservoir.



Figure 1. The schematic of the reservoir.



Figure 2. Schematic view of the cross section of the reservoir.

Relevant data about the MS reservoir is given in **Table 1.**

Table 1. Rock and fluid data of MS heavy oil reservoir.

Properties	Values
Fluid type	Dead Oil
Reservoir Temperature (°F)	170
Initial Reservoir Pressure (psia)	2150
API gravity	11
Permeability (md)	60
Porosity, Ø @ 2150 psia	0.155
Reservoir thickness, h (ft)	230

Depth, D (ft)	5249
Oil viscosity, μ_o (cp)	420
Total compressibility, c_t (psia ⁻¹)	8.0×10 ⁻⁶

4. DESIGN STUDY

In this section, various well placement scenarios are compared mainly based on number and type (vertical or horizontal) of wells. In comparing the scenarios following points are taken into account.

No matter what type of well placement is used, (vertical or horizontal) the comparison is made by keeping the overall lengths of wells to be the same.

The placement of the vertical and horizontal wells is distributed uniformly so that they all have the same drainage area.

A constant bottomhole flowing pressure of 500 psia production scenario is used and results are given. Comparisons of production performances of specific configurations are presented in each case. When vertical wells are considered, all wells are taken to be vertical and when horizontal wells are considered all wells are taken to be horizontal. There exists no case where vertical and horizontal wells co-exist.

4.1. Case 1: One Vertical and One Horizontal Well, Both with Equal Completion Length

Firstly, one vertical well with a completed vertical interval of 230 ft and one horizontal well with 230 ft horizontal length are compared. **Figure 3** presents recovery factor with time for two well types.



Figure 3. Recovery factor vs. time.

The recovery factor is higher for horizontal well because during the production time horizontal well produces some of oil from its tips when compared to the vertical well.

4.2. Case 2: Three Vertical Wells Each with 230 ft and One Horizontal Well a with Horizontal Well Length of 690 ft

Three vertical wells with 230 ft producing interval and one horizontal well with 690 ft horizontal length are compared. Recovery factor results are presented in **Figure 4**.



Figure 4. Recovery factor vs. time.

Three vertical wells with interval of 230 ft are better than one horizontal well with 690 ft horizontal well length. Because number of vertical wells is higher than number of horizontal well while keeping the total horizontal well length equal to the total vertical well interval.

4.3. Case 3: Three Horizontal Wells in Series Each with 230 ft, Three Horizontal Wells in Parallel Each with 230 ft and One Horizontal Well with a Horizontal Well Length of 690 ft

Cases for one horizontal well with horizontal well length of 690 ft and three horizontal wells with horizontal well length of 230 ft located as in series and in parallel are compared. **Figure 5** presents the recovery factor vs time results.



Figure 5. Recovery factor vs. time.

A single long horizontal well gives the poorest recovery performance. This is because when horizontal wells are considered some of the production is provided from tips. A single longer horizontal well has only two tips whereas three shorter horizontal wells have six. When the three horizontal well cases (in parallel and in series) are compared, it is clear the case where the wells are in series provides better recovery performance. This is due to the change of the drainage areas. As pointed out by the Dietz shape factors (Earlougher, 1997).

4.4. Case 4: Four Horizontal Wells Each with 460 ft, Two Horizontal Wells Each with 920 ft and One Horizontal Well with 1840 ft Four horizontal wells with 460 ft producing length, two horizontal wells with producing length of 920 ft and one horizontal well with producing length of 1840 ft results are compared. Recovery factor results are given in **Figure 6.**



Figure 6. Recovery factor vs. time.

It is clear that the number of wells is important for comparison of horizontal well cases. The case of four horizontal well with 460 ft is better than the other cases for given results because of having more tips to produce oil.

4.5. Case 5: Comparison of the One Horizontal Well with Different Horizontal Well Lengths

Finally results are compared for seven horizontal wells separately with horizontal well lengths of 230 ft, 460 ft, 690 ft, 920 ft, 1840 ft, 3680 ft and 5520 ft. Results are illustrated in **Figure 7** in terms of the recovery factor.



Figure 7. Recovery factor vs. time.

As expected a shorter horizontal well length results in less recovery. This is because longer horizontal well lengths provide more contact area with the reservoir.

5. CONCLUSIONS

As the number of production wells increase, the recovery factor increases as well.

The increase in the horizontal well length results in an increase in the recovery factor.

Longer horizontal wells yield higher growth rates in the recovery factor.

In the examples provided in this study, if the horizontal wells are used in series, this results in higher recovery. This is because, when a parallel configuration is used, the drainage area shape changes and becomes unevenly distributed. The wells in series in this study provide a much more uniformly distributed drainage area leading to a higher Dietz shape factor and a higher recovery factor.

While keeping the total length of the horizontal wells the same (for example the case where the comparison is made between 4 hw (460 ft) 2 hw (920 ft) and 1 hw (1840 ft)), the case with higher number of wells yields higher recovery. This is because some of the production is provided from the tips of the horizontal wells. As the number of horizontal wells increase, the number of tips increase leading to greater recovery.

All cases of single horizontal wells no matter what the horizontal lengths are given show the same behavior. This is because; production is maintained at a constant bottomhole flowing pressure. The amount of production therefore is controlled by the difference between the average reservoir pressure and the bottomhole flowing pressure.

REFERENCES

- Banerjee, D. K., 2012. *Oil Sands, Heavy Oil & Bitumen: From Recovery to Refinery*, PennWell Corporastion., Oklahama, USA.
- Cavender, T., 2004. Summary of Multilateral Completion Strategies Used in Heavy Oil Field Development, paper SPE 86926
- Earlougher, Jr, R.C., (1977), Advances in Well Test Analysis, 2nd print, Monograph Vol.5, Henry L. Doherty Series, Soc. of Pet. Eng., Dallas, USA, p.203.
- Kappa- Ecrin, v4.30.09, 2017. Software, KAPPA Engineering SA.

Ağır Petrol Sahasının Geliştirilmesi Heavy Oil Field Development

Z. M. Baday, Ş. Alkış, E. D. Korkmaz Başel, Ö. İ. Türeyen, A. Satman İstanbul Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu çalışma ağır bir petrol sahasının geliştirilmesi üzerine tasarlanmıştır. Tasarımda sahaya delinecek kuyu sayıları ve kuyu tipleri (düşey ve yatay) dikkate alınmıştır. Toplamda 12 farklı durum incelenmiştir. Bu amaçla, MS olarak adlandırılan sentetik ağır bir petrol sahası Rubis simülatörü kullanılarak modellenmiştir ve proje ömrü 10000 gün olarak kabul edilmiştir. Saha hacimsel petrol sahası olarak kabul edilmiştir (akifer desteği yoktur). Tüm durumlarda kuyudibi akış basıncı sabit 500 psia olarak kabul edilmiştir ve ortalama rezervuar basıncları, toplam petrol üretimleri, petrol debileri ve üretim faktörleri karşılaştırılmıştır.

Kuyu sayılarının ve tiplerinin etkileri düşünüldüğünde, rezervuar davranış sonuçları üretim uzunlukları 230 ft olan, başka bir deyişle üretim uzunluğu rezervuar kalınlığına eşit olan dikey kuyular için kuyu sayısı 1'den 24'e kadar artırılarak karşılaştırılmıştır. Daha sonra, farklı uzunluklardaki her yatay kuyu için (230 ft'ten 5520 ft'e) davranışlar incelenmiştir. Saha içerisinde kuyular birbirlerine seri ve paralel olacak şekilde konumlandırılmış ve rezervuar davranışları incelenmiştir. Son olarak, yatay kuyular için farklı kuyu sayıları dikkate alındığında, toplam yatay uzunluk her durum için eşit kabul edilmiştir. Başka bir ifade ile, dört tane 460 ft yatay kuyu, iki tane 920 ft yatay kuyu ve bir tane 1840 ft yatay kuyu karşılaştırmaları sunulmuştur.

Anathar Kelimeler: Ağır petrol, Ağır petrol sahası geliştirilmesi, Dikey kuyu, Yatay kuyu.

ABSTRACT This study is designed on the development of a heavy oil field. Number of wells and types of wells (vertical-horizontal) are taken account in the design of the field. A total of 12 cases are investigated. For this purpose, a synthetic MS heavy oil field is modeled using Rubis simulator program. The reservoir is assumed to be a volumetric oil reservoir (without any aquifer support).

For all cases, production at a fixed 500 psia bottomhole flowing pressure and the results are compared in terms of average reservoir pressure, cumulative oil production, oil flow rate, and recovery factor behavior are investigated.

When the effects of the number and type of wells are considered, the results of reservoir behavior is compared for increasing vertical well number from 1 to 24 with producing lengths of 230 ft which corresponds to a well that is fully completed through the entire reservoir thickness. Then, behaviors of each horizontal well with various lengths (230 ft to 5520 ft) are analyzed. Furthermore, horizontal wells have been considered to be in series and in parallel placements. Finally, when different number of horizontal wells are considered, the overall length of the different number of wells are treated to be the same. In other words, some comparisons such as the comparison between the behaviors of four horizontal wells with 460 ft, two horizontal wells with 920 ft, and one horizontal well with 1840 ft are presented. Keywords: Heavy oil, Heavy oil field development, Vertical well, Horizontal well.

1. INTRODUCTION

Crude oil consists of carbon, hydrogen, nitrogen, oxygen, sulfur, and some metals. Heavy oil is very viscous and does not flow easily. Crude oils which have viscosity between 100 and 1000 cp and API gravity ranging from 10° to 21° are called conventional heavy oils, whereas API gravity below 10° and viscosity above 1000 cp are named as unconventional heavy oil or extra heavy oil, however defining heavy oil with viscosity is more accurate then API gravity (Banerjee, 2012).

2. HEAVY OIL FIELD DEVELOPMENT

Oil field development refers to number of stages of processes starts with exploration and drilling activities, followed by further stages involving production, extensive drilling and injection.

By implementing horizontal drilling and the state-of-the-art completion methods now available, heavy oil fields are now being revitalized. This development strategy reduces the number of surface locations and facilities, subsequently decreasing the overall field development costs (Cavender, 2004).

In addition, well spacing of heavy oil fields should be small for more production and higher recovery.

3. DESCRIPTION OF THE MODEL

A synthetic heavy oil field which is called Meltem-Şuayip (MS) has 11 °API of oil gravity. The aim of this study is to investigate the effects of different numbers of vertical wells, horizontal wells and horizontal well lengths on development of MS heavy oil field. The top of the the reservoir assigned is taken to be at 5249 ft, the reference depth at which initial reservoir pressure is 5364 ft, which corresponds to the midpoint of the thickness. Rubis software uses some correlations to

define rock and fluid properties. Standing's correlation is used to define oil formation volume factor, Vasquez - Beggs correlation is used to define the compressibility of oil while the viscosity is taken as a constant value of 420 cp. The project life is considered as 10000 days. The reservoir is assumed to be a volumetric oil reservoir (without any aquifer support). The geometry of MS heavy oil field is presented in **Figure 1**. **Figure 2** shows the schematic of the cross section of the reservoir.



Figure 1. The schematic of the reservoir.



Figure 2. Schematic view of the cross section of the reservoir.

Relevant data about the MS reservoir is given in **Table 1.**

Table 1. Rock and fluid data of MS heavy oil reservoir.

Properties	Values
Fluid type	Dead Oil
Reservoir Temperature (°F)	170
Initial Reservoir Pressure (psia)	2150
API gravity	11
Permeability (md)	60
Porosity, Ø @ 2150 psia	0.155
Reservoir thickness, h (ft)	230
Depth, D (ft)	5249
Oil viscosity, μ_o (cp)	420
Total compressibility, c_t (psia ⁻¹)	8.0×10 ⁻⁶

4. DESIGN STUDY

In this section, various well placement scenarios are compared mainly based on number and type (vertical or horizontal) of wells. In comparing the scenarios following points are taken into account.

No matter what type of well placement is used, (vertical or horizontal) the comparison is made by keeping the overall lengths of wells to be the same.

The placement of the vertical and horizontal wells is distributed uniformly so that they all have the same drainage area.

A constant bottomhole flowing pressure of 500 psia production scenario is used and results are given. Comparisons of production performances of specific configurations are presented in each case. When vertical wells are considered, all wells are taken to be vertical and when horizontal wells are considered all wells are taken to be horizontal. There exists no case where vertical and horizontal wells co-exist.

4.1. Case 1: One Vertical and One Horizontal Well, Both with Equal Completion Length

Firstly, one vertical well with a completed vertical interval of 230 ft and one horizontal well with 230 ft horizontal length are compared. **Figure 3** presents recovery factor with time for two well types.



Figure 3. Recovery factor vs. time.

The recovery factor is higher for horizontal well because during the production time horizontal well produces some of oil from its tips when compared to the vertical well.

4.2. Case 2: Three Vertical Wells Each with 230 ft and One Horizontal Well a with Horizontal Well Length of 690 ft

Three vertical wells with 230 ft producing interval and one horizontal well with 690 ft horizontal length are compared. Recovery factor results are presented in **Figure 4**.



Figure 4. Recovery factor vs. time.

Three vertical wells with interval of 230 ft are better than one horizontal well with 690 ft horizontal well length. Because number of vertical wells is higher than number of horizontal well while keeping the total horizontal well length equal to the total vertical well interval.

4.3. Case 3: Three Horizontal Wells in Series Each with 230 ft, Three Horizontal Wells in Parallel Each with 230 ft and One Horizontal Well with a Horizontal Well Length of 690 ft

Cases for one horizontal well with horizontal well length of 690 ft and three horizontal wells with horizontal well length of 230 ft located as in series and in parallel are compared. **Figure 5** presents the recovery factor vs time results.



Figure 5. Recovery factor vs. time.

A single long horizontal well gives the poorest recovery performance. This is because when horizontal wells are considered some of the production is provided from tips. A single longer horizontal well has only two tips whereas three shorter horizontal wells have six. When the three horizontal well cases (in parallel and in series) are compared, it is clear the case where the wells are in series provides better recovery performance. This is due to the change of the drainage areas. As pointed out by the Dietz shape factors (Earlougher, 1997).

4.4. Case 4: Four Horizontal Wells Each with 460 ft, Two Horizontal Wells Each with 920 ft and One Horizontal Well with 1840 ft

Four horizontal wells with 460 ft producing length, two horizontal wells with producing length of 920 ft and one horizontal well with producing length of 1840 ft results are compared. Recovery factor results are given in **Figure 6.**



Figure 6. Recovery factor vs. time.

It is clear that the number of wells is important for comparison of horizontal well cases. The case of four horizontal well with 460 ft is better than the other cases for given results because of having more tips to produce oil.

4.5. Case 5: Comparison of the One Horizontal Well with Different Horizontal Well Lengths

Finally results are compared for seven horizontal wells separately with horizontal well lengths of 230 ft, 460 ft, 690 ft, 920 ft, 1840 ft, 3680 ft and 5520 ft. Results are illustrated in **Figure 7** in terms of the recovery factor.



Figure 7. Recovery factor vs. time.

As expected a shorter horizontal well length results in less recovery. This is because longer horizontal well lengths provide more contact area with the reservoir.

5. CONCLUSIONS

As the number of production wells increase, the recovery factor increases as well.

The increase in the horizontal well length results in an increase in the recovery factor.

Longer horizontal wells yield higher growth rates in the recovery factor.

In the examples provided in this study, if the horizontal wells are used in series, this results in higher recovery. This is because, when a parallel configuration is used, the drainage area shape changes and becomes unevenly distributed. The wells in series in this study provide a much more uniformly distributed drainage area leading to a higher Dietz shape factor and a higher recovery factor.

While keeping the total length of the horizontal wells the same (for example the case where the comparison is made between 4 hw (460 ft) 2 hw (920 ft) and 1 hw (1840 ft)), the case with higher number of wells yields higher recovery. This is because some of the production is provided from the tips of the horizontal wells. As the number of horizontal wells increase, the number of tips increase leading to greater recovery.

All cases of single horizontal wells no matter what the horizontal lengths are given show the same behavior. This is because; production is maintained at a constant bottomhole flowing pressure. The amount of production therefore is controlled by the difference between the average reservoir pressure and the bottomhole flowing pressure.

REFERENCES

- Banerjee, D. K., 2012. *Oil Sands, Heavy Oil & Bitumen: From Recovery to Refinery*, PennWell Corporastion., Oklahama, USA.
- Cavender, T., 2004. Summary of Multilateral Completion Strategies Used in Heavy Oil Field Development, paper SPE 86926
- Earlougher, Jr, R.C., (1977), *Advances in Well Test Analysis*, 2nd print, Monograph Vol.5, Henry L. Doherty Series, Soc. of Pet. Eng., Dallas, USA, p.203.

Kappa- Ecrin, v4.30.09, 2017. Software, KAPPA Engineering SA.

Su Enjeksiyonu için Optimum Debinin ve Enjeksiyon Örüntüsünün Ticari Rezervuar Simülatörü ile Tespiti Determination of Optimum Injection Rate and Injection Pattern of a Waterflood Using Commercial Reservoir Simulator

M. Hansaparov, R. Çapan, S. Gidici, Çınar M

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği, İstanbul

ÖZET Bu çalışmada ticari CMG rezervuar simülatörü kullanarak bir saha su enjeksiyonu için modellenmiştir. İlk olarak veriler simülatöre girilerek jeolojik model oluşturulmuş ardından PVT verileri incelenerek bir "black oil" modeli yaratılmıştır. Numerik rezervuar modeli tamamlandıktan sonra kuyular yerleştirilmiş ve simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

Doğal üretim potansiyeli tükenmiş olan rezervuarda değişik su enjeksiyonu senaryoları uygulanarak üretim performansı değerlendirilmişti. "Peripheral", "direct line" and "five spot" örüntü modelleri sabit enjeksiyon debisinde değerlendirilmiştir. Farklı örüntü modellerinin sonuçları karşılaştırılarak en yüksek üretimi verecek örüntü modeli araştırılmıştır. Farklı enjeksiyon debileri değerlendirilmiş ve en az sayıda enjeksiyon kuyu ile en fazla kurtarımı verecek senaryo tespit edilmiştir. "Peripheral" örüntü modelinde 27 su enjeksiyon kuyusu yerleştirilmiş ve en çok kurtarımı 1000 varil/gün sabit su enjeksiyon debi senaryosunda görülmüş olmasına rağmen, en az sayı enjeksiyon kuyu ile en fazla kurtarım koşulunda en etkin üretim performansı 19 tane üretim kuyusu su enjeksiyon kuyusuna çevrilmiş olan "Peripheral" modifiye örüntü modelinde 1250 varil/gün sabit su enjeksiyon debi senaryosu olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Su basma, simülasyon, rezervuar mühendisliği

ABSTRACT In this study a numerical reservoir model of an oil field was developed using a commercial simulator CMG (version: 2015.10.5715.22942). Initially, all the data available are integrated in the simulator and a geological model was built. Next, using the PVT data a black oil model was created. Once the numerical model was finalized the wells were placed and simulations were run.

Various recovery scenarios were developed for oil production with waterflooding after depletion to improve recovery. Recovery scenarios were based on patterns of water injection at constant rate. Peripheral, direct line and five spot pattern were considered for water injection. The effect of water injection well patterns was investigated in order to obtain the highest recovery. Various injection rates were applied to obtain the maximum production with minimum number of injection wells. Although peripheral pattern with 1000 STB/day water injection rate case yielded highest recovery where 27 water injection wells drilled, peripheral modified pattern where 19 of producer wells turned into water injection wells with 1250 STB/day water injection rate have shown the best performance subject to maximum production with minimum number of injection wells.

Keywords: Waterflooding, simulation, reservoir engineering

1. INTRODUCTION

Waterflooding is a secondary oil recovery method by means of injecting water into reservoir. It is probably most widespread method of secondary oil recovery in the industry. Definitions of primary, secondary and tertiary oil recovery in the oil industry commonly used to describe the production method of oil recovery with respect to historical development of the field through time (Tarek, 2006). Primary oil recovery is

the stage in production life of reservoir when hydrocarbon production is performed by reservoir's own energy i.e. natural drive mechanism. Natural drive mechanisms of reservoirs are; rock and fluid expansion drive, depletion drive, gas cap drive, water drive, gravity drainage drive and combination of more than one drive mechanisms. Hydrocarbon recovery of reservoir is performed by one of these drive mechanisms, therefore understanding and predicting performance of reservoir drive mechanism that controls fluid behavior is crucially essential in reservoir management.

1.1. Purpose of this project

In this study a numerical reservoir model of an oil field was built using commercial simulator CMG (version: reservoir 2015.10.5715.22942) as the reservoir considered is an anticline structure sided with permeable faults. The reservoir is undersaturated at the initial stage and stayed undersaturated after primary production due to low bubble point pressure (33 psia) of the reservoir crude. The average initial reservoir pressure was 3420 psia and the reservoir temperature was 172 °F. The API gravity of the oil is 30.4° with a low gas oil ratio of 15 scf/STB. The water oil contact is located at 5890 ft with respect to mean sea level. Primary production the reservoir is depleted with 36 acre spacing Total of 39 production wells were drilled during this stage.

The aim of this study is to compare various recovery scenarios in waterflooding process oil recovery. Recovery scenarios are based on patterns of water injection wells on constant rate injection. Peripheral, direct line and five spot pattern are developed in the numerical model, constraints for production wells are listed as; minimum 400 psi bottom hole pressure, maximum 2000 barrels/daily oil production rate, minimum of 15 barrels/daily of oil production and maximum water cut of 0.90. The effect of water injection well patterns is investigated in obtain the highest recovery. order to Economic feasibility of a waterflooding process depends mainly on the injection pattern.

1.2. Scope of the project

This study involved simulations of oil recovery with waterflooding process on various water injection well patterns and injections rate with reservoir simulator CMG (version: 2015.10.5715.22942). The simulation is done only with vertical wells, injection constant rate basis. on a Complicated geological structure and the variations in petrophyscical properties such as permeability and porosity challenge application of analytical methods. On the other hand, advanced reservoir simulators gives the reservoir engineers the opportunity to design and develop operations at field scale by cost and time effective manner.

In this work we study various waterflood design cases based on location of injection wells and water injection rate. We studied 4 cases establishing locations of water injection wells and 5 subcases of water injection rate in each cases respectively. We modeled 4 pattern cases of locating injection wells as peripheral, 5 spot, direct line and peripheral modified, constant injection rates were applied as 500 STB/day, 750 STB/day, 1000 STB/day, 1250 STB/day and 1500 STB/day.

2. CONSIDERATIONS IN WATERFLOODING DESIGN

Since a petroleum reservoir is a composition various parameters, all of these of parameters should be taken in consideration while planning a waterflooding project on a reservoir in order to accomplish the project as efficient as possible. In order to determine the suitability of a candidate reservoirs for waterflooding, following the reservoir characteristics must be considered:

- Reservoir geometry
- Fluid properties
- Reservoir depth
- Lithology and rock properties
- Fluid saturations
- Reservoir uniformity and pay continuity
- Primary reservoir driving mechanisms

On the other hand, Bradley et al. (1992) stated that factors other than reservoir characteristics also will have a great influence. These include the price of oil, marketing conditions, operating expenses, and availability of water.

3. CANDIDATE RESERVOIR FOR WATERFLOODING

For the reservoir considered the top of structure map is illustrated in Figure 1. It has digitized been with appropriate PC applications to atlas map format and named as Maslak field. Primary production modeled and simulated in matter of best oil recovery. In primary production it is planned to drill 39 production wells, having a chance of being dry well or producer. Since our goal to study performance of waterflooding in this reservoir, there was no any consideration on production. optimizing primary The structure is a typical anticline.

Field sizes defined as 5000 meters (16404.2 feet) in length and 3500 meters (11482.94 feet) in width as may be checked from Figure 1 in the contour map of Maslak field.



Figure 1. Top of structure map of Maslak field.

The below Table 1 summarizes available parameters of the reservoir considered.

Table 1. Maslak field available reservoir properties.

Reservoir pressure, Pres (psia)	3420
Reservoir temperature, T _{res} (°F)	172
Average porosity, Ø _{avg}	0.11
Average permeability, k _{avg} (md)	300
API gravity (°API)	30.4
Viscosity, µ _{oil} (cp)	7.7
Bubble point pressure, P _{bp} (psia)	33
Gas density, lbm/ft ³	0.8
Initial water saturation, S_{wi}	0.30
Initial oil saturation, Soi	0.70
Oil-water contact, (feet)	5889.09
Reference depth, (feet)	5675.84
Specific gravity	0.87
Rock compressibility, 1/psi	5.3 x 10 ⁻⁶
Reservoir thickness, (feet)	173.88

Various injection patterns are considered with different injection rates. Among those models best performance is achieved with modified peripheral injection model shown in Figure 2.



Figure 2. Modified peripheral injection model.

In Figure 3, production data for 1250 STB/day constant rate of water injection is given for modified peripheral injection case. Water injection started at 730th day and breakthrough is observed in 10322nd day of simulation. Cumulative production of field with waterflooding enhancement at end 10322nd day is 75.26x106 STB including primary production.



Figure 3. Simulated production data for Modified peripheral injection model.

4. CONCLUSIONS

Based on the simulations performed, oil recovery increased proportional with water injection rate. However, with increasing water injection rate breakthrough time of waterflooding curtailed since waterfront velocity increases as water injection rate increased. Increase in waterfront velocity due to water injection rate have good effect on sweep performance as can be seen from recovery rates until the rate of water injection where due to high waterfront velocity, water will pass oil bank through instead of displacing that will decrease oil recovery. Case with peripheral flooding pattern 27 water injection wells yielded highest oil recovery as 77.08x106 STB with 1000 STB/Day water injection rate at breakthrough on 9720th day. Water injection performance evaluated based on condition of obtaining high recovery with minimum number of injection wells, Case with modified peripheral flooding pattern where 19 of producer wells turned into water

injection wells with 1250 STB/Day water injection rate have shown the best oil recovery performance of 75.26x106 STB.

5. ACKNOWLEDGEMENT

First of all, we would like to thank Istanbul Technical University and Petroleum and Natural Gas Department.We kindly express our warm thanks to our graduation project advisor Ass.Prof. Murat Çınar for his support, aspiring guidance through the graduation project and opportunity to work with commercial reservoir simulator CMG.

REFERENCES

- Bradley H.B., Gipson F.W., Odeh A.Z., Sizer P.S., Mortada M., Raymer L.L., Smith G.L., 1992. *Petroleum Engineering Handbook*, Society of Petroleum Engineers, Richardson, Texas, USA.
- CMG STARS. Version 2015. Released date: October 2015. CMG (Computer Modeling Group).
- Tarek A., 2006. *Reservoir Engineering Handbook*, 3rd edition, Gulf Professional Publishing, Burlington, Massachusetts, USA.

Açık Deniz Yatay ve S-Tipi Kuyu Tasarımı ve Paradigm Sysdrill Yazılımıyla Simülasyonu

Designing Offshore Horizontal and S-Shape Wells and Simulating with Paradigm Sysdrill Software

N. Seyidov, O. Bayrak, A. Atadeğer, G. Altun

Istanbul Technical University, Department of Petroleum and Natural Gas Engineering, Istanbul

ÖZET Bu mezuniyet tasarım projesi, Paradigm Sysdrill (v.10.5) yazılımı kullanılarak açık deniz için iki yönlü kuyu için yapılan mühendislik tasarımını - birisi S-biçimli kuyu ve diğeri yatay kuyu - içermektedir. Tasarımda saha ve hedef koordinatları, kuyu yörüngeleri, koruma borusu derinliği, sondaj dizisi tipi ve içeriği, tork ve sürükleme analizi, çimento programı ve koruma borusu analizi gibi ayrıntılı analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler kısaca açıklanmaktadır. Ayrıca uygun olan durumlarda, Tork ve Sürtünme Analizi, Hidrolik Analizi ve Koruma Borusu Analizi gibi kısmi analitik çözümler de yapılarak simülasyon sonuçları test edilmiştir. Analitik yöntemler ve simülasyondan elde edilen sonuçların karşılaştırılması tasarımın daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır. Gözenek basıncı ve çatlatma basıncı değerlerinin derinlikle değişimi, üretim koruma borusu çap değeri ve sondaj sıvısı özellikleri projenin ana girdilerini oluşturan parametrelerdir. Ayrıca, tasarımda Herschel-Bulkley modeli kullanılarak akışkan davranışı ve kuyu içi hidroliği modellenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Açık deniz kuyu tasarımı, Sondaj simülasyonu, S-Tipi yönlü kuyu

ABSTRACT This graduation design project involves in designing two offshore directional wellsone S-shape well and one horizontal well, using Paradigm Sysdrill (v.10.5) software. In the design, detailed engineering analysis on field and target coordinates, casing depths, assembly types and content, torque and drag analysis, cementing program and casing analysis are carried out. These analyses are explained briefly. Moreover, the simulation results are also tested with analytical methods partially such as Torque and Drag Analysis, Hydraulic Analysis and Casing Analysis to ensure that the simulation results are correct. Comparison of analytical and simulation results provides better understanding of the design. Pore pressure and fracture pressure variations with respect to depth, production casing size and drilling fluid properties are the crucial input parameters of the project. In addition, Herschel-Bulkley rheological model is used to model fluid behavior and borehole hydraulics.

Keywords: Offshore well design, Drilling simulation, S-Type directional well

1. INTRODUCTION

Challenging reservoirs with high potential push oil and gas industry towards directional drilling. High recovery factor, complex lithology and urbanization are few of the factors in focusing on directional drilling methods and techniques.

2. AIM OF THE STUDY

This graduation design project study provides complete design of two directional wells using Paradigm Sysdrill software. The first well has S-shaped and drilled for exploratory purposes. The second well has horizontal trajectory and is planned to drill for development purposes if the first one is a discovery. Analytical solutions are provided for comparison and evaluation.

3. ANALYTICAL ENGINEERING CALCULATIONS

Drillstring design, hydraulic design and casing design is done for both wells individually. Input values are obtained from Sysdrill for meaningful comparison.

Torque and drag analysis of these wells are calculated and results are stated Table 1 below. In both wells, S-135 drill pipe is used and the tensile yield strength of this pipe is 488,800 lbf and the torsional yield strength of this pipe is 33,400 lb-ft. The results from the analytical solutions are tabulated below. Results from these calculations indicate that S-135 drillpipe usage of is correct. especially for the directional sections having high buckling tendency. Drill collar usage was decreased to minimum for smoother geosteering (Ozbayoglu & Altun, 2010). Schematic illustration of S-shaped and horizontal well trajectories are shown in Figure 1 and 2.



Figure 1. Schematic illustration of S-shaped well trajectory.



Figure 2. Schematic illustration of horizontal well trajectory.

Table 1. The result of the torque and drag analysis.

-	Tension (lb)	Torsional (lb-ft)
HW	235,976	6,020
SW	147,529	4,117
HW: Horizontal well, SW: S-shaped well		

In hydraulic analysis, Herschel-Buckley model is used. Results obtained from analytical solutions are listed below in Table 2. Herschel-Buckley equations are derived in SI units (Merlo, Maglione & Piatti, 1995). However, results on the table are in oilfield units for common understanding.

Table 2. The results of the hydraulic analysis.

-	FPL	BPL
HW	888	1,192
SW	528	875

FPL: Frictional pressure loss (psi), BPL: Bit pressure loss (psi), HW: Horizontal well, SW: S-shaped well Casing depths are determined from the pore and fracture pressure data representing the field being investigated. Sysdrill determined 4 casings for S-shaped well and 3 casings for horizontal well. However, 5 casings are set for both wells because of the encountered problems with hydraulic analyzes. Additional casings are set manually by the user (Bourgoyne, Millheim, Chenevert & Young, 1986).

Each casing interval must be checked with kick tolerance calculator for additional safety. The casing and casings depths are listed below in Table 3.

Table 3. Casing depth for both wells

	HW	SW	
Surface	2,800	2,500	
Intermediate I	4,500	4,800	
Intermediate II	6,000	6,000	
Intermediate III	8,000	8,800	
Production 11,320 11,500			
HW: Horizontal well, SW: S-shaped well			

Note that values in Table 3 are in TVD terms. MD values can be obtained from overall graduation project.

4. WELL DESIGN USING PARADIGM SYSDRILL SOFTWARE

Well design is a complex matter and involves many unknowns. Paradigm Sysdrill is designed as a practical approach for quick well design. This software performs elementary, intermediate and even advanced calculations such as Torque and Drag analysis, Casing analysis and Hydraulic analysis. Results from these calculations are given in Table 4, 5 and 6, respectively.

Table 4. Results of Torque and Drag analysis.

	Hook Load (lbf)	Torque(lb-ft)
HW	272,990	10,391
SW	227,100	3,965
HW: Horizontal well, SW: S-shaped well		

Table 5. Results of Casing Analysis.

_			
-	BP	СР	
HW	11,890	8,714	
SW	1,333	485	
BP · Burst pressure (psi) CP· Collapse pressure			

BP: Burst pressure (psi), CP: Collapse pressure (psi), HW: Horizontal well, SW: S-shaped well

Table 6. Results of hydraulic analysis.

-	FPL	BPL
HW	1,298	1,213
SW	739	994

FPL: Frictional pressure loss (psi), BPL: Bit pressure loss (psi), HW: Horizontal well, SW: S-shaped well

On top of this, software provides detailed reports for secondary user to comprehend drilling process.

5. RESULTS AND COMPARISON

Examining and comparing results obtained from analytical calculation and software, it is possible to state that there exist relatively moderate differences between these two methods. Even though analytical solutions are based on well-developed theories and principles, numerous simplifications, idealizations and assumptions are involved in derivation of these principle. On the other hand, software solutions are derived in black box about which the user has no information. Therefore, selection of one of two methods is not completely logical. Correct and efficient use of software is accomplished when experts and professional engineers operate with it. It might be difficult for undergraduate or recently graduated young engineers designing sophisticated wells completely.

6. CONCLUSION

Detailed evaluation of two directional wells is carried out in this project. Advanced engineering calculations offered by the software is performed and each one of them passed successfully for both wells and for all analyzed sections. Additionally, analytical solutions of major parameters are provided for evaluation and comparison purpose. Both wells are drilled in formation with challenging pore/fracture pressure variations respect to depth. Complex trajectory of the wells made expensive but high resistance material to be equipped. Drillpipe is selected as S-135 and casing strings have minimum grade of P110. Additionally, high power mud pump is chosen for efficient circulation along with borehole cleaning needs.

REFERENCES

- Bourgoyne, A. T., Millheim, K. K., Chenevert, M. E., & Young, F. S. (1986). Applied drilling engineering. SPE Textbook series. Vol 2. Richardson, TX, USA
- Merlo, A., Maglione, R., & Piatti, C. (1995, January1). An Innovative Model For Drilling Fluid Hydraulics. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/29259-MS
- Ozbayoglu, M.E. & Altun, G. (2010). Drillstring Design in Turkish. Turkish Petroleum Course Book. 6-9 April, Ankara.
- Altun, G., 2017. Drilling Engineering II course notes, ITU, Istanbul.
- Devereux, S. (1998). Practical well planning and drilling manual. PennWell Books.
- Devereux, S. (1999). Drilling for Oil & Gas: A Nontechnical Guide. PennWell.

Doğu Kıbrıs'tan Yunanistan'a Sanal Bir Gaz Boru Hattının Tasarlanması

Designing A Virtual Gas Pipeline From The Eastern Cyprus to Greece

Ş. Altan, M. E. Yıldırım, M. H. Özyurtkan

Istanbul Technical University, Department of Petroleum and Natural Gas Engineering, Istanbul

ÖZET Doğalgaz gerek direk ısınmada, gerekse endirek olarak elektrik üretiminde kullanılan önemli bir enerji kaynağıdır. Doğaya saldığı karbondioksit oranının daha az olması da kendisinin gelecekte tüketilebilecek başlıca enerji kaynakları arasında yer almasını sağlayan bir diğer faktördür. Avrupa kıtası hem sanayisi gelişmiş bir kıta olması, hem de ikliminin soğuk olmasından dolayı büyük bir doğalgaz talebi olan bir kıtadır. Avrupa Birliği, bu talebin karşılanması noktasında, kendisinin Rusya'ya olan doğalgaz bağımlılığını azaltacak alternatif arz kaynaklarına önem vermektedir. Türkiye, jeolojik konumundan dolayı, ortadoğu ve asyadan avrupa kıtasına sağlanabilecek doğalgaz boru hatları için ideal bir doğalgaz transit ülkesi niteliğindedir ve bu çalışmanın amacı Doğu Akdeniz'den Yunanistan'a Türkiye üzerinden çekilebilecek bir doğalgaz boru hatlını tasarlamaktır.

Anahtar Kelimeler: Gaz Boru Hattı, Gaz Akışı, Doğu Akdeniz.

ABSTRACT Natural gas is an important energy source that is both directly in heating or indirectly in electricity generation. Since the amount of carbon dioxide that it emits is lower than oil, it is one of the potential energy source that could be chosen in future. Europe is a major natural gas market due to its cold climate, and developed industry. European Union attach great importance the alternative energy sources that will lessen its dependency on Russia as a natural gas supplier. Turkey, due to its geological position, is a transit country for potential future energy route prospects, and the aim of this study is to illustrate a virtual natural gas pipeline from eastern Mediterranean Sea to Greece.

Keywords: Gas Pipeline, Gas Flow, East Mediterranean.

1. INTRODUCTION

Natural gas has tremendous applications in daily life. During winters seasons it is use for heating homes and all the time for cooking meals, it is also used for transportation such some of cars use it for working. Furthermore it is well known an energy source for producing electricity. The other reason of using natural gas is it is simple to getting energy from it. Besides all these important use of natural gas, it should be transported safe and secure to every delivery point because of explode potential of it. This reason takes the lead to safety measurements at transportation and needs of it. The transportation of natural gas should be applicable and easy to access for users. At this point, pipeline systems are used for transportation. Pipeline systems are the safest and the securest way to deliver the natural gas and it has been used for centuries.

Line pipe is a series of pipes that is conducted to each other from producing to the delivery point. It is not an easy job to take the entire natural and bring it to our houses, business centers and electricity power plants. It comes from far away distances and making all international or national regulations for the deliverability of natural gas is a quite hard business. The length of natural gas pipeline systems can be derived from a hundred miles to thousands. All of these operations are making the use of natural gas for the users easy as possible. As an energy source natural gas is cleaner than oil, coal or any other carbon based energy resources. It is the cleanest energy of carbon based energy sources. Due to this it is considered as future energy source.

The pressure drop and flow in pipes for gas flow are generally considered as turbulent flow. Fully turbulent equations can be essentially divided into Panhandle B, Weymouth, AGA fully turbulence and Colebrook-White. To begin with Panhandle B fully turbulent equation, it is usually used in gases with high flow rate, large diameter pipes (larger than 24 NPS pipes) and high pressure systems. Pipeline efficiency and degree of accuracy is linked to each other. The degree of accuracy is based on measurement of pipeline efficiency.

Weymouth fully turbulent equation is similar to Panhandle B; the properties of flow also should be high flow rate, large diameter pipe and high pressure systems. This equation overrates the pressure drop calculations and has a lower degree of accuracy.

For the AGA fully turbulent equation, it is mostly recommended and widely used equation in high flow rate systems, high pressure and large diameter pipes. The prediction of flow and pressure drop is highly accurate, when the effective roughness is calculated carefully.

The difference of Colebrook-white equation is it unites partially turbulent and fully turbulent regimes. It is most applicable for the pipeline that operates in transition the zone. As other fully turbulent equations, it is used for high pressure, large diameter and medium to high flow rate systems (Mohitpour, Golshan & Murray, 2000).

Using a main route and considering the operation range of 700-1200 psi, the

pressure values for 10 kilometer sections have been calculated. The number and places of the pumps for three different diameters of 15.56, 19.56, and 23.496 inches have been determined separately for four fully turbulent flow equations respectively, AGA Fully Turbulent, Colebrook-White, Panhandle B, and Weymouth equations.

2. GAS FLOW HYDRAULICS

Since there had been no production history in the issued gas field, all constant parameters have been assumed considering average natural gas properties. The parameters are given in Table 1.

Table 1. Gas flow parameters

Q _b	250,0000 scf/D
P ₁	1200 psi
P_2	700 psi
Ζ	0.9
G	0.6
μ	0.000008 lb/ft.s
K _e	0.0007

Elevation profile of the proposed route had been indicated before calculations. For each pipeline systems having different diameters, the pressure drop calculations had been run for different equations using stated previously. The Figures 1, 2 and 3 are examples of the required compressor stations calculated for NPS 16, 20 and 24 using Weymouth equation. Similar calculations had been performed for 20 and 24 inch diameter pipe systems using different pressure drop equations. On the figures, the y axis represent the pressure on the lines, and each sharp point on the 1200 psi line in figure indicating pressure the is a compressor station location.



Figure 1. Pressure and elevation for NPS 16 using Weymouth equation.



Figure 2. Pressure and elevation for NPS 20 using Weymouth equation.



Figure 3. Pressure and elevation for NPS 24 using Panhandle B equation.

3. CONCLUSION

The number of pumps for NPS 16, NPS 20 and NPS 24 is 22, 6 and 2 respectively. It is well seen that when the pipe diameter decrease, the number of the pump required to displace the gas increase. This means the less pipe diameter, the higher the pressure drop which the equations of flow satisfy as well.

The locations for NPS 16 are: Minarelikoy and Akdeniz districts in Cyprus, Anamur, Gazipasa, Anamur and Manavgat districts of Antalya, Bucak and Guneyyayla disticts of Burdur, Basmakci district of Denizli, Bekilli and Esme districts of Usak, Selendi, Gordes and Kirkagac districts of Manisa, Ivrindi district of Balikesir, Can and finally Akcali, Gallipoli, and Kesan districts of Çanakkale given in Figure 4.



Figure 4. Pump station locations for NPS 16 using Colebrook-White equation.

For the pipe of NPS 20 the places of pumps are respectively from start point are: Anamur and Manavgat districts of Antalya, Aglasun district of Burdur, Esme district of Usak, Savastepe district of Balikesir, and Bayramic district of Canakkale given in Figure 5.

For NPS 24 pipe, the places of pumps are: Manavgat district of Antalya and Civril district of Denizli given in Figure 6.



Figure 5. Pump stations for NPS 20 using AGA Fully Turbulent Equation.



Figure 6. Pump stations for NPS 24 using AGA Fully Turbulent equation.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank to Petroleum and Natural Gas Engineering Department at Istanbul Technical University for their support.

REFERENCES

Folga, S. M. (2007). *Natural gas pipeline technology* Menon, E.S. 2005 *Gas pipeline hydraulics*. Boca

- Rotan, FL: CRC Press
- Mohitpour, M., Golshan H. & Murray A. (Eds.). (2000). *Pipeline design & construction: a practical design*. New York: ASME Press
- U.S. Energy Information Administration. 2016. International energy outlook.

Sysdrill Yazılımı Kullanılarak Denizdeki Yatay bir Sanal Kuyunun Tasarlanması

Designing A Virtual Horizontal Offshore Well Using Sysdrill Software

O. Ünal, M. Gündüz, S. Akman, M. H. Özyurtkan

Istanbul Technical University, Department of Petroleum and Natural Gas Engineering, Istanbul

ÖZET Bu çalışmada offshore yatay kuyu, Paradigm Sysdrill yazılımı kullanılarak tasarlanmıştır (v.10.5.). Kuyu planlaması sırasında gözenek basıncı ve çatlatma basınç gradyanları simülasyona uygulandı. Sondaj dizisi ve koruma borusu montajları yapıldıktan sonra, çimentolama ve hidrolik hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamaları yaparken, su derinliği 1500 ft olarak alındı ve üretim koruma borusu çapı 3.5 inç seçildi. Kuyunun tasarımını tamamladıktan sonra bazı hatalar görüldü. Daha sonra Power Law Modeli ile Herschel Bulkley Modeli arasındaki hatalar ve farklılıkların sebepleri tartışıldı. Anahtar Kelimeler: Yatay Kuyu, Sysdrill, Reolojik Model.

ABSTRACT In this study, an offshore horizontal well is designed by using Paradigm Sysdrill software (v.10.5.). During the well planning, pore pressure and fracture pressure gradients were applied to simulation. Drill string and casing string assemblies are detected and related to assemblies, cementing and hydraulic calculations were made. While doing these calculations, water depth has been taken as 1500 ft and production liner casing size was 3.5 inch. After finishing the design of the well, some errors has been seen and then the reason of the errors and differences between Power Law Model and Herschel Bulkley Model were discussed.

Keywords: Horizontal well, sysdrill, rheological model.

1. INTRODUCTION

The petroleum industry also benefits from computers, especially applications and software. Paradigm Sysdrill is one of these softwares. Paradigm Sysdrill software is one of the most useful petroleum industry software in use today. One of the reasons for this is the very wide range of this application. It covers every aspects related to drilling such as hydraulic calculation, torque and drag calculation, casing analysis. It improves the accuracy of the well planning and ensures the location of the well by the coordinates. In this well design project, Hydraulics and Cementing calculations, and Casing & Assemblies are aimed to minimize the problems that can be seen in drilling operation. In the well design, firstly the drill string and casing string assembly were created. Then, Hydraulics Calculations are done for each drill string assembly. Furthermore, Cementing Calculations were made considering drill string and casing string assembly.

2. WELL DESIGN

The purposes of offshore deep water horizontal drilling well project is to create proper well design. The well planning data is given in Table 1. Well path created using pore pressure and fracture pressure data is depicted in Figure 1 and 2.

Table 1. Well planning data.

Depth of Water	1500 ft
Total Depth	15000 ft
Inclination angle	2.6 /100 ft
Rig type	Semisub
Horizontal Departure	3000 ft
Production Casing	3.5 inch
Azimuth angle	Constant
Kick & Trip Margin	0.2 lbm/gal



Figure 1. Two dimensional image of planned wellpath.

Regarding the created well path, the drill string assembly was designed. Drill string used during drilling operation consists of 5 different parts mainly bit, mud motor, drill collar, heavy weight drill pipe and drill pipe.



Figure 2. Casing design.

For the created well the drill strings of 6.5 inch, 8.5 inch, 12.25 inch, 17.5 inch and 22 inch are selected from the catalogue of the software program, however the drill string of 3.75 inch is selected manually. As an example, a drill string of 3.75 inches in diameter consist of 619 drill pipes in 31 ft length, 1 heavy weight drill pipe in 31 ft length, 1 drill collar in 30 ft length, 10 ft long mud motor and 0.5 ft length Bit. Because of the total length of the assembly is 19260.5 ft, one heavy weight drill pipe and one drill collar were settled.

Additionally, hydraulic calculations are calculated separately for two different mud models that are Power Law and Herschel Burkley. In both mud models; the values of pump pressure, ESD, ECD, swab & surge cuttings transport ratio, trip, cuttings transport ratio, cuttings concentrations and cuttings concentrations will be examined to ensure that they are within the optimum values allowed by the Sysdrill 10.5 program. Mud densities that would be used in hydraulic calculations were selected as 17.2 ppg, 16.8 ppg, 15.7 ppg, 13.1 ppg, 11.1 ppg and 10 ppg, respectively, from the smallest casing to the largest casing. Mud densities determined by the Sysdrill 10.5 program were selected from the maximum and densities. minimum mud The plastic viscosity (PV) and yield point (YP) values required for each selected mud are taken from Applied Drilling Engineering Book.

The PV and Yield Value values for a 3.75 inch drill string are found as 27 cP and 7 $lbf/100ft^{2}$ (Bourgoyne Jr., Millheim, Chenevert, & Young Jr., 1991). The fluid density, flow rate, riser boster flow rate, rock density, cuttings diameter, penetration rate and mud temperature were inputed as 17.2 ppg, 200 gal/min, 200 gal/min, 2.15 SG, 0.3 inch, 100 ft/hr and 200 °F, respectively. Since the maximum depth to be drilled is 19257.86 ft, the largest capacity pump in the Sysdrill 10.5 program was selected. The name of the selected pump is W-3000 and the liner diameter is 6 inch. The 3000 value in the name of the pump refers to the power of the pump. Although there is a direct proportion between the pump power and the pump outlet pressure, high pump outlet pressures can be achieved with the modification to the mechanical equipment of some pumps with small pump power. In order to obtain high pump output pressures with low pump power, the engine providing radial mechanical movement to the pump should be selected as high speed and four time diesel engine. The selected high speed diesel engine should be fitted with gearing which provides loss of strength and gain from the road. The gear that is selected will increase the mechanical power of the pump. The output pressure of the pump will also increase because the pump output pressure is proportional to the pump's mechanical power. Since high pump outlet pressures can be obtained with high speed diesel engines, the output pressure of the W-3000 pump in the Sysdrill 10.5 program will be calculated by selecting a value above the normal value of "Pop Off Pressure".

Besides, cementing calculations were given for the proposed well path. All cementing calculations will be done with Power Law fluid model. Four different fluids will be examined in the cementation calculations. In the Sysdrill 10.5 program these fluids were named as displaced fluid, tail cement, lead cement and new fluid. Displaced fluid is the fluid that remains in the well after the drilling operation is finished and will be shifted outward at the beginning of the cementing operation. Tail cement is the best quality cement and is only swooped to the bottom of the latest casing which is put into the hole with hole section which is drilled. The tail cement can be swooped a little higher than the bottom of the last casing to make the well stronger. The lead cement is less stable than the tail cement and is swooped from the end of the tail cement to the surface casing. The new fluid is the closest to the density of the mud that displaces the tail cement and lead cement and is to be used in a subsequent drilling operation.

As an example, the cement calculation for the 3.5 inch diameter casing was performed with displaced fluid density of 17.2 ppg, tail cement density of 17.4 ppg, lead cement density of 17.3 ppg and new fluid density of 17.5 ppg. When the Sysdrill 10.5 program is run for the cementing operation, the hydrostatic pressures of the displaced fluid, the tail cement, the lead cement, and the new fluid are smaller than the fracture pressure and larger than the pore pressure.

3. CONCLUSION

This study is on designing a well which is horizontal on offshore with a water depth of 1500 ft and total depth of 15000 feet. The production liner casing size is 3.5 inch and there is a horizontal departure about 3000 ft. The inclination angle is 2.6/100ft and semisubmersible rig type is used. Some of the parameters are taken from the Sysdrill software manual.

The main purpose of this project is to mimic a real design of an horizontal offshore well. Finding the kick volume and casing numbers by entering the datas pore pressure and fracture pressure is the cause of planning this could be well. Because there some complications with the design of the well, the main goal was to reduce the possibility of problems and therefore, engineering calculations such as Casings, Assemblies Cementing and Hydraulic calculations were made.

As the advantages of Paradigm Sysdrill software, it is eliminating/reducing the possibility of the risks of calculation error on uncertainty and drilling parameters. It is increasing the safety of drilling and therefore the human life. This software is helping the engineers and companies in an economic way. It shows multiple design solutions and analysis, for different models.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank to Petroleum and Natural Gas Engineering Department at Istanbul Technical University for their support.

REFERENCES

- Bourgoyne Jr., A. T. (2003). *Pore Pressure and Fracture Gradients*. Texas: Society of Petroleum Engineers.
- Bourgoyne Jr., A. T., Millheim, K. K., Chenevert, M. E., & Young Jr., F. (1991). Applied Drilling Engineering. Texas: Society of Petroleum Engineers.
- Paradigm Sysdrill 10.5, G. (2014). *Paradigm Solution Version 10.5*. Istanbul Technical University, Petroleum and Natural Gas Engineering Department, Turkey.

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Bitirme Tasarım Projeleri Bildirileri
Ham Sismik Kayıtların ECHOS Yazılımı Kullanılarak İncelenmesi.

Examination of Seismic Shots Using ECHOS Software.

Arslan Annagylyjov, Emin Demirbağ (Istanbul Technical University, Faculty of Mines, Department of Geophysics, Istanbul)

ÖZET Bu çalışmada Soma ve Afşin'de toplanmış iki ayrı ham sismik yansıma atış verisi ECHOS yazılımı ile incelenmiştir. Sismik kayıtları anlamak amacıyla öncellikle sismik dalga yayınımı ve veri toplama geometreleri çalışılmıştır. Sismik kayıtların incelenmesi sırasında spektral analiz, genlik analizi gibi temel analiz yöntemleri kullanılmıştır. Ham sismik veriler bu analizlerin ardından düşük ve yüksek frekans bandındaki gürültüleri kaldırmak için frekans süzgeçlemesi işleminden geçirilmiştir. Verilerdeki görselliği arttırmak amacıyla otomatik genlik kazancı ölçeklemesi yapılmıştır. Son olarak yeraltı yatay tabakalı bir model olarak kabul edilerek bu modelin sismik hız ve derinlik hesapları yapılmıştır. Anahtar Kelimeler: Atış kayıtları, cisim dalgaları, yüzey dalgaları, süzgeçleme

ABSTRACT In this study two shots from Soma and Afşin were examined and processed with Echos software. Seismic waves and data acquisition were examined in order to understand fully the field work where seismic prospecting was occurred. Spectral analysis and gain analysis of the shots were studied before the filtering and scaling processes to estimate the frequencies of the shots to process properly and correctly in terms of the seismic science. Bandpass trapezoidal filter and notch filter were used to remove low and high frequencies and also, noises from the geophones were removed. Automatic Gain Control scaling was used to have a visually good quality seismic records. Basic velocity and depth calculations were made to be able to have an idea about the underground model which was assumed as a horizontal model.

Keywords: Shot records, body waves, surface waves, filtering

1 INTRODUCTION

The aim of the study is to examine the data that was received from the TUBITAK-MAM. Two seismic shots were received, shot1 is from Soma location and shot238 is from the Afşin location. Seismic waves were examined for extracting basic subsurface information. Seismic data acquisition was examined in order to obtain information about the details of gaining the data, all the details of obtaining seismic trace and seismic section. Another purpose was to learn Echos software which is mainly used in seismic processing that connects the seismic data. Spectral analysis, gain analysis were applied into the raw data. Filtering processes were applied in order to remove the noises that were recorded by the geophones. Bandpass trapezoidal filter, notch filter and automatic gain control scaling were used for removal of noises. Calculating correct frequencies in this process was the key in the data processing of both shots. After obtaining the processed data basic velocity and depth calculations were made to have an idea about an underground model (horizontal model was assumed).

2 SEISMIC WAVES

When an earthquake occurs shockwaves of energy, called seismic waves, are released from the earthquake focus. They shake the Earth and temporarily turn soft deposits, such as clay, into jelly (liquefaction). (Science Learning Hub, 2007)

Seismologists use seismographs to record the amount of time it takes seismic waves to travel through different layers of the Earth. As the waves travel through different densities and stiffness, the waves can be refracted and reflected. Because of the different behavior of waves in different materials, seismologists can deduce the type of material the waves are travelling through.

The results can provide a snapshot of the Earth's internal structure and help us to locate and understand fault planes and the stresses and strains acting on them.

This wave behavior can also be used on a smaller scale by recording waves generated by explosions or ground vibrators in the search for oil and gas.

In the broadest sense, seismic waves can be categorized into two major groups: body and surface waves.



Figure 1. Two major groups of seismic waves: Body and Surface waves. Body waves propagate through the body, whereas surface waves travel along the surface of the medium. (Park Seismic, n.d.)

3 SEISMIC DATA ACQUISITION

Seismic data acquisition involves applying a seismic energy source, such as vibroseis truck or shot-hole dynamite at discrete surface location. The resulting energy is reflected back from interfaces where rock properties change.

Geophysicists have to obtain a data that will be related to the geological structure where oil and gas traps are being located. The working site where exploration will take place has to be properly investigated by geoscientists before seismic acquisition and the seismic line is accurately marked out. The lines serve as paths for preparing shot holes and laying of cables for recording.



Figure 2. Seismic Data Acquisition (Sercel, 2017)

3.1. Onshore Seismic Source

Land seismic operations are similar to marine operations in that the energy sources are acoustic energy generated using vibrators mounted on trucks or low-impact explosives placed in shot-holes which have been drilled by truck-mounted or portable drills. The receivers are typically geophones, which are like small microphones pushed into the soil to measure the ground motion. Onshore seismic are used in sensitive locations damaging buildings without or the environment. Land seismic data acquisition uses primarily two types of seismic sourcesvibroseis vehicles or a low-impact explosive charge that generate acoustic waves which propagate deep into the earth. Each time an acoustic wave encounters a change in the rock formation, part of the wave is reflected back to the surface where an array of sensors records the returning signals. (IAGC, n.d.)

3.2. Onshore Seismic Recording

Seismic recording is done using a device that detects seismic energy in the form of ground motion or a pressure wave in fluid and transforms it to an electrical impulse. Onshore seismic data are recorded using a simple electro-magnetic device known as a geophone. (Onajite, 2013)



Figure 3. Conceptualized seismic data recording (Onajite, 2013)

3.3. Seismic Trace

Seismic traces are data recorded from one 'shot point' at one receiver position. Seismic traces are recorded as a function of time. As this time represents the time taken for the acoustic energy to travel into the earth, reflect, and then return to the surface, it is correctly called 'two-way time'. It is measured in seconds or milliseconds. (Onajite, 2013)



Figure 4. Seismic Trace (Onajite, 2013)

The resultant collection of traces recorded from one shot point is generally recorded together and it is referred to as 'seismic field record.



Figure 5. Seismic field record (Onajite, 2013)

3.4. Types of Noise on Seismic Record

There are two kinds of noises found in seismic data: random noise and source-generated noise.

3.4.1. Random noise

Random noise is noise generated by activities in the environment where seismic acquisition work is being carried out. In a land acquisition, random noise can be created by the acquisition truck, vehicles, and people working in the survey area, wind, electrical power lines, and animal movement. This noise appears in a seismic record as spikes.

3.6.2. Source-generated noise

Source-generated noise is created by the seismic source. Source-generated noises are coherent noise trains and they exist in an organized form from trace to trace and yet they contain no geologic information. Source-generated noises are in the form of surface wave which exhibit strong coherency and essentially obscure the entire desired primary reflection. Source-generated noises noticed in seismic records are ground roll, direct rays, ghost reflections, and multiple reflections. (Onajite, 2013)



Figure 6. Noise in the seismic record. (Onajite, 2013)

4 DATA PROCESSING

Shot1 and shot238 were obtained from TÜBITAK-MAM. These shots were gathered from Soma and Afşin fields in Turkey. Data was in SEGY format. Echos software was used to process the data. Bandpass and notch filters were used, gain and spectral analyses were checked and Automatic Gain Control (AGC) scaling was applied during the processing of the data.

4.1. Echos by Paradigm

ECHOS - the industry's leading system for seismic processing. For over 25 years, Paradigm® Echos® has been the oil and gas E&P industry's leading system for seismic processing. Its popularity is based on its breadth of geophysical applications, its unique combination of production and interactive seismic data processing, its maturity and stability, and its versatile programming environment for client-guided customization.

6 CONCLUSION

Two different shots were received from TUBITAK-MAM. The raw data was studied and bandpass trapezoidal filtering, notch filtering and automatic gain control scaling were decided to apply for data processing. Bandpass filter helped us to remove low and high frequencies in the beginning and at the end of the shots. Spectral analysis was checked of the shots and according to that frequencies for the bandpass filter was chosen. Notch filter helped us in removing ambient noises from electrical lines that were coming from the geophones. After that, AGC scaling was applied and gain analysis was checked before and after the scaling. Graphs showed us how this type of scaling helped to balance the amplitudes of the reflections.



Figure 7. Illustration of shot238 showing seismic waves.

After all the processes, basic principles of seismic prospecting was used in order to define all seismic waves on the processed seismic sections and velocity analysis and depth examination were made to obtain the possible underground model of the shot gathers.

On shot1 there are direct, refracted, reflected, surface and air waves. On shot238 there are direct, refracted, reflected and surface waves. Air wave is only appeared on shot1. It means that geophones were better hidden in the ground when the seismic record was made in Afşin (shot238) but in Soma (shot1) geophones were enough above the ground to catch an air wave. The velocity

and the depth of the waves on shot238 are more acceptable than the other. But shot1 has a very complicated data. When gain analysis is made on both shots there is spherical convergence on both shots, but with the help of automatic gain control scaling it can be corrected.



Figure 8. Illustration of seismic waves on shot1 showing seismic waves.

REFERENCES

- Geoseis, (2015, n.d.). Paradigm. Retrieved from http://www.geoseis.tn/en/equipments/paradigm/
- Onajite E., 2013. "Seismic Data Analysis
- Techniques in Hydrocarbon Exploration". pp. 34-66,
- Park Seismic (n.d.). What are seismic waves?. Retrieved from

http://www.parkseismic.com/Whatisseismicwave. html

Sercel (2017, n.d.). What is Geophysics. Retrieved from <u>http://www.sercel.com/about/Pages/what-is-</u>geophysics.aspx

Vibrosismik Kaynak Dalgacığı Modelleme Çalışması Vibroseismic Source Wavelet Modelling

Arzum Cansu Can, Emin Demirbağ

İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu çalışma kapsamında sismik enerji kaynakları incelenmiştir. Sismik enerji kaynaklarından vibratöre daha detaylı değinilmiştir. Dinamit ve vibratör kaynakları arasındaki ilişki incelenmiştir. Vibrosismik kaynak dalgacığı tanımlanmış ve sinyal uzunlukları 10, 15 ve 20 saniye için 10-50 Hz frekans bandında modellenmiştir. Bu modelleme çalışması için MATLAB programı kullanılmıştır. Zaman ve frekans ortamında korelasyın ve spektral analiz işlemleri analiz edilmiştir. Modelleme işleminin devamı olarak sweep sinyalinin otokorelasyonu alınmıştır. Sweep sinyalinin Fourier dönüşümü alınarak genlik spektrumu elde edilmiştir. Otokorelasyon dalgacığının Fourier dönüşümü alınarak da güç spektrumu elde edilmiştir. Sweep sinyalinin zaman ortamında birden kesilmesinin neden olduğu olumsuz etkilerden kurtulmak için pencereleme işlemi uygulanmıştır. Daha sonra belirli frekans aralığındaki kosinüs dalgalarının toplamı 10-50 Hz ve 50-100 Hz frekans bandları için modellenmiştir. Sinyal uzunluğundaki değişimin etkileri incelenmiştir. Frekans bandındaki değişimin kosinüs dalgasına etkisine değinilmiştir. Frekans ortamındaki genleşmenin zaman ortamındaki karşılığı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Vibrosismik, sweep sinyali, otokorelasyon, genlik spektrumu, güç spektrumu

ABSTRACT In this study, seismic energy sources are investigated. The vibrator is mentioned in detail. Dynamite and vibrator are investigated as a source relatedly. Vibrosismic source wave is defined and signal lengths are modeled in 10-50 Hz frequency band determined at 10, 15 and 20 seconds. MATLAB program is used for this modeling. Correlation and spectral analysis of time and frequency domain were investigated. After modeling, autocorrelation of the sweep signal is modeled. By taking the Fourier transform, amplitude spectrum is obtained from sweep signal and power spectrum is modeled from autocorrelation. Windowing has been applied to get rid of the negative effects of sweep signal interruption in time environment. The sum of the cosine waves in a given frequency range is then modeled for frequency bands of 10-50 Hz and 50-100 Hz. Furthermore, the relationship between this modeled cosine wave and the Klauder wave is investigated. The effects of variation in signal length have been investigated. The effect of frequency band change on cosine wave has been investigated.

Keywords: Vibroseismic, sweep signal, autocorrelation, amplitude spectrum, power spectrum

1 SİSMİK ENERJİ KAYNAKLARI

1.1 Sismik Enerji Kaynakları Hakkında Genel bilgi

Sismik enerji kaynakları impulsive ve nonimpulsive olmak üzere iki çeşittir. Dinamit, balyoz, ağırlık düşürme, hava tabancası, water gun, boomer ve streamer impulsive kaynakları oluşturur. Chirp ve vibratör ise non-impulsive kaynakları oluşturur. Bu çalışmada vibratör kaynağına değinilmiştir ve kaynak dalgacığı modellenmiştir.

1.2 Vibratör Kaynağı

Vibratör kaynağının yıkıcı etkisi olmadığı için kara çalışmalarında en çok kullanılan (Gültekin, kaynaktır Genellikle 2010). saniye uzunluğunda birkac bir sinval üretmek için hidrolik enerji kullanan araca monte edilmis bir enerji kaynağıdır. Taban plakası vere indirilir ve arac ağırlığı bu tabana yüklenmesi için kamyon yukarı kaldırılır. Hidrolik enerji mekanik enerjiye çevrilir. Titreşimler ile sismik enerji üretmek için iki veya dört vibratör kullanılır (Gadallah ve Fisher, 2009). Başlangıç ve bitiş frekansları bilinir. İdeal sıfır fazlı sinyal Rezervuar incelemelerinin üretir. ve hidrokarbon iceren ince tabakaların yüksek incelenmesin-de cözünürlükle vüksek frekanslara çıkabilen bu kaynak dinamite göre avantajlıdır (Gültekin, 2010).

2 VİBRATÖR KAYNAK DALGACIĞI

Vibrosismiğin üç ana bölümü vardır bunlar; sweep sinyali, sweep jeneratörü ve korelatördür. Sweep sinyali vibratör tarafından yere gönderilen belirli frekans ve zaman dilimindeki titreşim sinyalidir. Sweep jeneratörü, büyük genlikli ve kısa süreli dalgacığı düşük genlikli ve uzun süreli sinyale dönüştürür. Vibrosismik çalışmalarda yaygın olarak kullanılan iki çeşit sweep sinyali doğrusal sinvallerden ilki vardır. Bu (Linear), ikincisi ise doğrusal olmayan (Nonsweep sinyalidir. Vibrosismik linear) yöntemi hidrokarbon ile yapılan %90'ında doğrusal aramalarının sweep sinyali kullanılmaktadır. Sweep sinyalinin parametreleri sinyal boyu (T), genlik (A), başlangıç frekansı (F_1) ve bitiş frekansıdır (Sakallıoğlu ve diğ., 2012). Sismik $(F_{2}).$ veraltındaki yönteminin asıl amacı tabakaların iğnecik cevabını araştırmaktır. İdeal iğnecik sinyali, t=0 anında bütün frekans bileşenlerini eşit genlikte içerir ve bu fazlıdır. İdeal sinyal sıfır iğnecik fonksiyonunu üretmek için sonsuz miktarda enerjiye ihtiyaç vardır ancak bu durum pratikte mümkün değildir. Pratikte en iyi sonuç için sınırlı bir genliği olan band gecisli iğnecik sinvalini vere gönderilmelidir. Bu sinyal zaman ortamında baskın bir periyodu ile yer cevabının kıyaslanmasıdır (Gültekin, 2010).

2.1 Korelasyon İşlemi

Korelasyon işlemi ile iki dalga formunun arasındaki benzerlik değerlendirilir. Buna ek olarak benzer dalga formları arasındaki zaman/uzaklık değerleri hesaplanır. Bu işlem korele edilecek iki dalganın verileri farklı ise gerçekleşir. Korelasyon işlemine girecek dalgalar zamanın fonksiyonu ise aralarındaki fark zaman birimindendir. Eğer bu dalgalar uzaklığın bir fonksiyonu ise dalga formları arasındaki fark uzaklık birimindendir (Sakallıoğlu *ve diğ.*, 2012).

2.2 Otokorelasyon İşlemi

İki dalga formu birbirinin aynı ise otokorelasyon işlemi uygulanır. Bu işlem zaman/uzaklık sonucunda ekseninde simetrik bir sekil ortava cıkar. Otokorelasyon sunucunda, zaman/uzaklık ekseninde simetrik bir şekil ortaya çıkar. Bunun nedeni aynı oldukları için biri diğerinin benzeridir. Farklı frekansların dalga formları arasında çok az korelasyon vardır. Sweep sinyalinin otokorelasyonu sonucunda ortaya çıkan otokorelasyon dalgacığı kaymanın sıfır ve en büyük tepe değerine göre iki tarafı da simetriktir. Bu dalgacığa Klauder dalgacığı denir (Sakallıoğlu *ve diğ.*, 2012).

3 KAYNAK DALGACIĞI MODELLEME ÇALIŞMALARI

Bu çalışmada doğrusal (linear) bir sweep sinyali incelenmektedir. Doğrusal bir sweep sinyalinin matematiksel ifadesi (3.1) nolu denklemdeki gibidir.

$$s(t) = A \sin[2\pi \left(F_1 + \frac{F_2 - F_1}{2T}t\right)t + C]$$
(3.1)

Daha önce bahsedildiği gibi bu denklemde ki F_1 baslangıç frekansını ve F_2 bitis frekansıdır. T sweep süresidir. C sweep fazıdır. A ise sweep genliğidir (Sakallıoğlu ve diğ., 2012). Bu çalışmada F_1 10 Hz, F_2 50 Hz, T 10, 15, 20 saniye ve A 1 alınmıştır. Ayrıca C sabit bir değer olduğu için bu çalışmada sıfır alınmıştır. Bu parametreler kullanılarak MATLAB programında sinval uzunlukları 10, 15 ve 20 saniye olan üç adet sweep sinyali cizdirilmistir. Daha sonra bu sinyallerinin oto korelasyonları sweep alınmıştır ve normalize edilmiştir. Fourier dönüşümü ile sweep sinyallerinin genlik spektrumu belirlenirken otokorelasvon sinvallerinin fourier dönüsümü ile güç spektrumları belirlenmiştir. Sweep sinyali frekans ortamında genlik spektrumu bir dikdörtgendir. Baslangic ve bitis frekanslarında, sweep sinyalinin zaman ortamında birden kesilmesi genlik spektrumu üzerinde Gibb's etkisi olarak tanımlanan olumsuz etkiler yaratır. Bu etkiler genlik spektrumları üzerinde, başlangıç ve bitiş frekansları civarında salınımlar. Bu etkiden kurtulmak için sweep sinyalinin başlangıç ve bitis bölgelerinde genlik değisimin vavas

olması istenir (Demirbağ, 1983). Bu etkiden kurtulmak için sweep sinyali lineer fonksiyon ile çarpılarak pencerelenir. Aynı sinyal uzunluğunda ki pencereleme işlemi sinyali. uygulanmış sweep bu sweep otokorelasyo ve spektrumları sinyalinin tekrar modellendi. Sinyal Gibb's etkisinden kurtarıldı. Ek olarak otokorelasyon sinyali normalize edildi.





Vibratör ile yere frekans bandındaki tüm frekanslı titreşimler aynı anda veremiyoruz bu yüzden kosinüs dalgacığını taklit eden sweep sinyalinin frekans değerleri zaman değiştirilerek gönderilir. icinde yere Otokorelasyon dalgacığı en büyük tepe değerine göre simetrik bir fonksiyondur. Bu otokorelasyon dalgacığı sıfır fazlı kosinüs dalgası ile karşılaştırılabilir. 10 saniye boyunda ve belirli frekans bandları için kosinüs dalgaları üretilip üst üste toplandı. Seçilen frekans bandları 10-50 Hz ve 10-100 Hz olarak seçildi. Daha sonra bu dalgalar normalize edildi.



SONUÇLAR

İncelendiği gibi sinyal uzunluğu arttıkça aynı frekans değeri daha çok katkıda bulunur, yani frekans başına düşen zaman artar. Bu artış enerji ile doğru orantılıdır. Uzun sweepler kısa olanlara göre daha fazla tercih edilir ama uzun sweepler maliyetlidir (Gültekin, 2010). Genlik spektrumlarındaki Gibb's etkisinin pencereleme yöntemi ile giderildiği görülmektedir ve frekans bandı 10-50 Hz değerleri okunmaktadır. Şekil 3 ve Şekil 4'de görüldüğü üzere sweep süresi arttıkça spektrumların genlikleri artmaktadır. Güç spektrumu, genlik spektrumunun karesidir ve aynı durum güç spektrumu için de geçerlidir.

Kosinüs dalga sayısı arttığında yani frekans bandı genişledikçe kosinüs değeri arttığı görülür ve zaman ortamında dalgacık darlaşmaya başlar. Frekans ortamında ki genişleme, zaman ortamındaki daralmaya karşılık gelir. Klauder dalgacığının rezolüsyonu frekans bandına bağlıdır, frekans bandı genişledikçe artar.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında yardımını ve desteğini esirgemeyen, bilgi birikimini tüm içtenliği saygıdeğer ile aktaran tez danışmanım Emin Sayın Prof. Dr. DEMİRBAĞ'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Lisans hayatım boyunca, bana kattıkları bilgi birikimleri için tüm hocalarıma teşekkür ederim. Her zaman arkamda olan, hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen, bana gösterdikleri sonsuz sevgi, saygı ve sabır için sevgili aileme sonsuz tesekkürlerimi sunarım. Üniversite hayatım boyunca her zaman yanımda olan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- **Demirbağ, E.**, 1983. "Ters Filtreleme ve Sismik Verilere Uygulanması", İ.Ü. Mühendislik Fakltesi, İstanbul, s. 46-56.
- Gadallah, M.R., ve Fisher, R., 2009. Exploration Geophysics, s. 37.
- Gültekin, C., 2010. "Yansımalı Sismikte Vibro Atış Düzeninin ve Saha Parametrelerinin Sismik Çözünürlüğe Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü., İstanbul, s. 40-66.
- Sakalhoğlu, Y., Güreli, O. Ve Başar, H.S., 2012. Vibrosismik, s. 1-40.

Sismik Yansıma Verilerinde Genlik Kazanç Uygulamaları Seismic amplitude corrections for Seismic Reflection Data

Aylin Uzunalioğlu, Neslihan Ocakoğlu, Zehra Altan (İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul)

ÖZET Bu çalışmada, sismik yansıma verilerinde sismik dalganın yer içinde küresel açılımından kaynaklanan genlik kayıplarını ortadan kaldırmak için seçilen örnek bir ham atış veri grubuna uygulanan t^{power} genlik düzeltmesine ve sonuçlarına değinilmiştir. t^p üstel fonksiyonunda p>1.0 değerleri için erken ve geç varışlarda genliklerin kabul edilebilir oranda iyileştirilemediği; p<1.0 değerleri için ise erken ve geç varışlardaki genlik kayıplarının hedeflenen 0-10 dB aralığına kadar çekilerek arttırıldığı görülmüştür. Anahtar Kelimeler: Sismik Yansıma Verisi, Genlik Kazanç Uygulaması, t^{power}

ABSTRACT In this study, t^{power} correction was applied to one group of seismic reflection shot gathers to improve the amplitude losses caused by the spherical spreading of the seismic wave field. t^{power} spherical divergence corrections indicated that amplitudes losses in early and late arrivals on the shot gathers are not well recovered for p>1.0 values, however the strenght of amplitudes are increased between 0-10 dB for the p<1.0 values. Keywords: Seismic Reflection Data, Amplitude Recovery, t^{power}

1 GİRİŞ

Bir sismik kaynaktan yayılan sinyalin genliği derinlikle sismik dalganın küresel açılımından dolayı kayıplara uğramaktadır. Küresel yayılan dalganın dalga cephesinin yarıçapı r olmak üzere, homojen ortamda enerji yoğunluğu 1/r ile orantılı olarak azalır. Dalga genliği ise enerji yoğunluğunun karekökü ile $1/r^{2}$ ile orantılıdır ve azalacaktır. Bu etkiye 'küresel acılım (spherical divergence)' adı verilir (Yılmaz, 1987). Küresel açılım etkisi sismik atış gruplarında geç varışlarda yansımaların genliklerinde azalmalara neden olur. Bu giderilerek kayıplarının genlik ortamın anlamda şekilde sismik en iyi görüntülenmesi ve yorumlanabilmesi için atıs verilerinde her bir alıcıda ham kaydedilen sismik sinyale zamanla değişen

bir fonksiyonla ölçekleme işlemi yapılır. Bu tpower çalışmada ölcekleme için, bu düzeltmesi uygulanmıştır. Yöntem, veriye iziz $G(t) = t^p$ ve 1ile tanımlanan bir fonksiyonunun kazanç uygulanmasına dayanır ve ortamın hız bilgisine gerek duymaz. Uygulamada izlerin göreceli genlik farkları korunur. t^p fonksiyonu p>1 için erken varışların genliklerini azaltan geç varışlarınkini ise artıran bir kazanc fonksiyonudur. p değeri azaldıkca. t^p fonksiyonunun bu değeri gittikçe azalmaya başlar ve erken varışların genlikleri daha az bastırılırken, geç varışların genlikleri de daha az arttırılır. p değeri ölçeklenen veri örneğinin varış zamanının gücü olduğundan, uygun p değerinin seçilmesi verinin zaman uzunluğuna ve özellikle deniz sismiği verilerinde deniz tabanı derinliğine bağlıdır. Uygulamalar genel olarak sığ deniz tabanı durumunda küçük p değerlerinin daha iyi sonuçlar ürettiğini göstermektedir (Dondurur, 2009).

2 T^{POWER} UYGULAMASI

t^{power} düzeltmesi bir grup çok kanallı ham sismik atış verisine, Linux/Unix işletim sistemi altında çalışan "Echos" sismik veri işlem yazılımında uygulanmıştır. Veri işlem akış şeması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1.Veri işlem akış şeması.

3 SONUÇLAR

240 kanallı örnek bir ham atış grubunun genlik değisim grafiğinde (Sekil 2) genliklerin geç varışlarda -15 dB değerlerine kadar düstüğü görülmektedir. Gec varışlardaki bu genlik düsüslerinin azaltılarak yaklasık 0-10 dB aralığına çekilebilmesi için t^p fonksiyonunda p değerleri için sırasıyla 0.3, 0.5, 0.7 ve 1.0 seçilmiştir. Oluşturulan üştel fonksiyonlar ile örnek atış grubunun ölceklendirilmesi sonucu Sekiller 3, 4 ve 5 elde edilmistir. Bu uygulamalara göre en iyi genlik kazanç düzeltmesinin p=0.5 değeri için elde edildiği görülmüstür. Ham veride gec varıslarda belirgin olmayan yansıma seviyeleri (Şekil 2) uygulama sonrası kuvvetlendirilerek belirgin hale getirilmis ve bu islem sırasında her bir iz üzerindeki göreceli genlikler korunmustur (Sekil 3).



Şekil 2.Örnek ham atış grubu ve genlik değişim eğrisi.



Şekil 3. p=0.5 değeri t^{power} düzeltmesi ve genlik değişim eğrisi.



Şekil 4. p=0.7 değeri t^{power} düzeltmesi ve genlik değişim eğrisi.



Şekil 5. p=1.0 değeri t^{power} düzeltmesi ve genlik değişim eğrisi.

Öte yandan p'nin 1.0'e yaklaşan ve 1.0'den büyük değerleri için ise erken ve geç varışlardaki yansıma genlikleri istenen seviyede güçlendirilememiştir. p=0.5 değeri için elde edilen sonuçlara göre, örnek atış grubunun frekans-genlik grafiği değişmiş; tüm frekanslardaki genlikler olabildiğince arttırılmıştır (Bkz. Şekil 6 ve Şekil 7; düzeltme öncesi ve sonrası).



Şekil 6. t^{power} düzeltmesi öncesi verinin frekansgenlik spektrumu.



Şekil 7. t^{power} düzeltmesi sonrası (p=0.5 için) verinin frekans-genlik spektrumu.

En iyi çözümü veren p değerine ait ölçekleme fonksiyonu ile, sismik profilin tüm atış grupları ölçeklenerek tek kanallı ham sismik yığma kesit üretilmiştir (Şekil 9). Düzeltme öncesi ham sismik yığma kesit (Sekil 8) ile düzeltme sonrası elde edilen sismik vığma kesit (Sekil 9) karşılaştırıldığında, erken zamanlarda genliklerde bir miktar kayıp olmakla birlikte, geç zamanlarda yaklaşık 1.0 sn'lerden daha derinlere doğru yansıma seviyelerin daha güçlendirildiği ve takip edilebilir olduğu görülmüştür.



Şekil 8. t^{power} öncesi sismik yığma kesiti.



Şekil 9. t^{power} sonrası sismik yığma kesiti.

Bu sonuçlar t^{power} düzeltmesinin rutin sismik yansıma veri-işlem aşamalarında yığma öncesi uygulanabilir etkili bir genlik kazanç methodu olduğunu göstermiştir.

KAYNAKLAR

- Dondurur, D, 2009. *Deniz Sismiğinde Veri İşlem*, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Ankara, 294 s.
- Yılmaz, Ö, 1987. *Seismic Data Processing*, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, 526 s.

Zaman Ortamı Sismik Kesitlerinde Hız Anomalileri Velocity Anomalies in Time Domain Seismic Sections

Ayşe Alara Öz, Hülya Kurt, Nigar Gözde Okut Toksoy İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ABSTRACT Seismic stacking sections of anticline oil trap and horizontal stratified layering models are produced by forward seismic modeling using ray tracing method. Subsurface model parameters such as seismic velocity, thickness and the depth values are changed and the effects of these parameters on the two-way travel time sections after stacking are investigated. For this purpose, velocity/depth models have been defined and synthetic seismic stack sections have been created using the Disco/Focus (v.5.0) program.

The reflections of the interfaces between the sandstone layers containing low velocity gas and petroleum for anticline trap model are observed velocity push-down with the downward bending of the time section. As the seismic velocity of the layer increases, the layer becomes thinner in time section for horizontal layer models. On the contrary, as the layer velocity decreases, the layer becomes thicker in time section.

Keywords: Anticline oil trap, forward seismic modelling, velocity anomaly.

ÖZET Antiklinal kapanı ve yatay katmanlı tabakalanma yeraltı modelleri için ışın izleme yöntemi kullanılarak düz çözüm yaklaşımı ile sismik yığma kesitleri oluşturulmuştur. Sismik hız, kalınlık ve derinlik değerleri gibi yeraltı model parametrelerinin değiştirilmesinin zaman ortamındaki sismik kesitler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, hız/derinlik modelleri tanımlanmış ve Disco/Focus (v.5.0) programı kullanılarak sentetik sismik yığma kesitleri oluşturulmuştur.

Antiklinal kapan modeli için düşük hızlı gaz ve petrol içeren kumtaşı tabakaları arasındaki arayüzeylerin yansımaları, zaman kesitinde hız itmesi olarak isimlendirilen aşağı doğru bükülmeler yaratmaktadır. Yatay tabakalı modellerde, tabakanın sismik hızı arttıkça zaman kesitlerinde daha ince bir tabaka olarak gözlenmesine; tabaka hızının düşmesi ise zaman kesitlerinde daha kalın tabakalar olarak gözlemlenmesine yol açmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Antiklinal petrol kapanı, sismik düz çözüm, hız anomalisi.

1 INTRODUCTION

The multi-channel seismic method is one of the most successful geophysical methods to reveal underground geometry and velocity structure. The method is often very successful in determining the geometry of horizontal or nearly-horizontal underground strata. When subsurface structures have complex geometry, some other approaches are used to understand underground structures. These additional approaches are also used in the case where the velocity structure of the underground creates misleading effects on seismic sections. Forward seismic modeling analysis is one of these approaches. In this approach, a seismic response of an underground structure with a definite geometry and seismic velocity structure is created. Thus, the synthetic seismic response obtained from the proposed velocity-depth model is compared with actual data to try to determine the underground structure.

In this study, forward seismic modeling approach is used to solve the problems arising from geometry and velocity structure of some subsurface structures. The anticlinal oil trap and horizontal layered strata models are chosen for this purpose. The problem of velocity push-down effect on the time domain seismic sections caused by the low velocity of oil and gas layer has been investigated. In addition, the thinning and thickening effects on the time domain seismic sections due to the increase and decrease of the seismic velocity of the horizontal layers were investigated.

This study was conducted between 1 October 2016 and 30 December 2016. Disco/Focus (v.5.0) program (donated by Paradigm Company) is used for forward seismic modelling. The program serves in Nezihi Canıtez Data Processing the Laboratory of the Geophysical Engineering Technical Department of Istanbul University.

This article will first explain how the seismic modeling approach is implemented. The basis of the 2D ray-trace modeling to predict the post-stack seismic response from subsurface will be given. Then the models and related synthetic seismic sections will be introduced and the pitfalls to interpret seismic sections will be discussed.

2 METHOD

The different modules of Disco/Focus (v.5.0) data processing program are used for seismic modeling. In the first step of this study, depth-velocity subsurface models were determined and synthetic seismic sections of these models were created using by forward seismic modeling techniques depending on ray tracing methods. The traces are very close to spikes on these sections, with the amplitude spectrum nearly white. Therefore, the traces output should be filtered to get a wavelet form. The flowchart followed in the study is given in Figure 1.

2.1 Ray-Tracing Method

Ray tracing methods are the easiest way to perform for seismic forward modeling techniques. These methods are popular in seismic prospecting because they are usually faster than other methods of approximating wave propagation solutions. Even when more robust modeling methods are required, ray tracing can provide a good first approximation, which can act as a guide to further investigation.



Figure 1. The flow-chart followed for forward seismic modeling in this study

2D ray-trace modeling modules of the Disco/Focus data processing program is used to predict the post-stack seismic response from subsurface structure. For this purpose, it is needed a velocity model in the format defined by a proper velocity program that has been stored in the seismic database. This velocity model may contain both lateral and vertical velocity gradients. The subsurface structure is defined by horizons that can include truncations and recumbent structure. Modelling program performs ray tracing through the velocity model that is stored in the seismic database, accounting for the velocity gradients by performing curvilinear ray tracing within layers. At interfaces, the program module accounts for refraction by using Snell's law.

Three distinct ray-tracing options are available. These are normal incidence ray tracing, wave theory (diffraction) ray tracing and image ray tracing (Fagin, 1992). Normal incidence ray tracing method is used in this study. To perform normal incident ray tracing, the program generates rays, perpendicular to the subsurface horizons, in the direction of the surface.

3 MODELS

Two subsurface velocity/depth models are used in this study. These are anticline oil trap and horizontal stratified layering models. Typical P-wave velocity values and geometric information for these models are investigated from the literature (Selley, 1985). Depth/velocity structure of each earth model and related synthetic seismic sections producing ray tracing approach will be given in the following paragraphs.

3.1 Anticline Oil Trap Model

In the anticline model, from top to bottom, gas saturated (gas-sand), oil saturated (oil-sand) and brine saturated (brine-sand) layers are stacked (Figure 2). The P-wave velocities of the gas-sand, oil-sand and brine-sand layers are chosen as 1000 m/s, 1500 m/s and 2000 m/s respectively. The trap is encased with shale layer which has a 3000 m/s P-wave velocity.



Figure 2. Depth/velocity structure of the anticline oil trap mod

Synthetic seismic section in time domain for the anticline model is given in Figure 3. The reflection interfaces for gas-sand/oil-sand layers as well as oil-sand/brine-sand layers are not horizontal as in the case of the depth model. These reflections are curving downwards forming velocity-push down effect (Badley, 1985) on time domain stacked section.



Figure 3. Synthetic seismic section for anticline oil trap model

3.2 Horizontal Layer Model

Three horizontal layer model is used for second geological model for this study. Pwave velocities of the top and bottom layers are chosen as 2000 m/s and 6500 m/s respectively (Figure 4). The velocity of the middle is changed from 3000 m/s to 6000 m/s by order of 1000 m/s. The effect of the velocity change of the middle layer on the time domain seismic sections is investigated (Figure 5).



Figure 4. Depth/velocity structure of the horizontal layer model

The stacked sections in two-way travel time show as the velocity of the middle layer is increasing, two-way travel timethicknesses of the layer in stacked sections are thinner (Figure 5). Moreover, the velocity of the middle is decreasing by order of 1000 m/s while upper and lower layer velocities are kept constant. In this case, as the layer velocity decreases, the layer becomes thicker in time section.



Figure 5. Synthetic seismic sections for horizontal layer models. Because the velocity of the middle layer for (A) is lower than the velocity of the middle layer for (B), two-way travel time thickness for (A) is higher than the one for (B).

4 RESULTS

Two types of subsurface earth models are used to understand the geometries and the seismic velocities of these structures on the stacked sections by seismic modelling techniques. The values of the physical dimensions of these subsurface layers and their seismic velocities are changed to produce seismic stacked sections using by Disco / Focus (v.5.0) program. The effects of these type of changes are given in the following paragraphs:

The first oil-anticline trap model has gassand, oil-sand and brine-sand layers from top to bottom. The trap model has surrounded by shale layer. Seismic P-wave velocities for gas-sand, oil-sand, brine-sand and shale layers are chosen as 1000 m/s, 1500 m/s, 2000m/s and 3000 m/s respectively. For the anticline trap model, the interfaces between gas-sand and oil-sand and brine-sand are defined as horizontal. However, the related interfaces on the seismic stacked section are not seen as horizontal. Because the velocity of gas-sand and oil-sand layers are slower than upper shale layer, the related interfaces are bended downward on the time section. These anomalies related the seismic velocities of those strata are defined as velocity push-down effects.

Three horizontal-layer earth model is used as a second model in this study. The P-wave velocity of the layers are chosen originally 2000 m/s, 3000 m/s and 6500 m/s from top to deeper part respectively. In this case, as the seismic velocity values of the upper and below layers are kept constant, the seismic velocity values of the middle layer are changed from 3000 m/s to 6000 m/s by the order of 1000 m/s. Then the stacked sections in two-way travel time of these models are produced for each proposed model. It is observed that, as the velocity of the middle layer is increasing, two-way travel timethicknesses of the layer in stacked sections are thinner. On the contrary, as the layer velocity decreases, the layer becomes thicker in time section.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to thank Paradigm Geophysical for providing a free update of the Disco / Focus (v.5.0) program used in Geophysical Engineering, Nezihi Canıtez Data Processing Laboratory.

REFERENCES

Badley, M.E., 1985, 'Practical Seismic

- Interpretation', International Human Resources Development Corporation.
- Fagin, W.S., 1992. Seismic Modelling of Geologic Structures, Society of Exploration Geophysicists.
- Selley, R.C., 1985, 'Elements of Petroleum Geology', W.H. Freeman and Company.

14 Ocak-2 Mart 2017 Tarihlerinde Meydana Gelen Gülpınar-Ayvacık (Çanakkale) Depremlerinin Kaynak Parametreleri

Source Parameters of the Gülpınar-Ayvacık (Çanakkale) Earthquakes Between January 14 and March 2, 2017

Ayşegül Köklü, Gonca Örgülü

(Istanbul Technical University, Faculty of Mines, Department of Geophysics, Istanbul)

ÖZET Bu çalışma kapsamında, 14 Ocak – 2 Mart tarihleri arasında meydana gelen Gülpınar-Ayvacık (Çanakkale) depremlerinin kaynak parametreleri incelendi. En büyüğü 5,5 büyüklüğüne sahip toplam 86 depremin P- ve S-dalgası varış zamanları okunarak, depremlerin lokasyonu ve odak mekanizma çözümleri yapıldı. Bunun için HYPOCENTER ve FOCMEC programı kullanıldı. Elde ettiğimiz bu sonuçlar, BÜ Kandilli Rasathanesi ve Dokuz Eylül Üniversitesi Deprem Araştırma Grubu'nun hazırlamış olduğu deprem raporlarıyla uyum içindedir. Bu sonuçlara göre ortamdaki sismik aktiviteye neden olan faylanma normal bir faylanma olup doğrultusu KB-GD şeklindedir. Araştırma sahası birinci dereceden deprem bölgesidir ve daha öncede büyük depremlerin oluştuğu bir saha olmuştur. Bu sismik aktivite boyunca meydan gelen büyük depremler arazi gözlemlerine göre köylerdeki birçok kerpiç eve zarar vermiş ancak hiçbir can kaybına neden olmamıştır. Anahtar Kelimeler: Tuzla Fayı, Çanakkale, Ayvacık, Kaynak Parametreleri.

ABSTRACT In this study, source parameters of Gülpınar-Ayvacık (Çanakkale) earthquakes were examined. This activity consisting of 86 earthquakes were examined in detail by us. The largest event with magnitude of 5.5 in our data set was recorded by at least 32 stations. The hypocenters, and focal mechanisms of the earthquakes were solved by the HYPOCENTER and FOCMEC programs respectively. The results that we obtained in this study is in agreement with the results of earthquake reports that BÜ Kandilli Observatory and Dokuz Eylül University Earthquake Research Group prepared. According to these results, faulting which causes seismic activity in the Gülpınar-Ayvacık (Çanakkale) region - is a normal fault and its direction is NW-SE. The study area is the first-degree earthquake region and a region where large earthquakes occurred in the past. These existing earthquakes are likely to reveal a new Tuzla Basin according to land observations. These earthquakes with the largest magnitude of 6, have damaged many mudbrick houses but have not caused any casualties in the villages.

Keywords: Tuzla Fault, Çanakkale, Ayvacık, Source Parameters

1 INTRODUCTION

The purpose of this study is to determine the seismic activities of Gülpınar-Ayvacık (Çanakkale) earthquakes, to find source parameters and solve focal mechanisms between January 2017 and March 2017. January-March 2017 Çanakkale Ayvacık earthquakes were clustered on the falling block of the Çamköy segment of the Tuzla fault along a NW- SE stretched zone, at the western of the Biga peninsula in the southern extension of the NAF. First of all, in the study performed, the arrival times of P-and S- waves on the waveform data were read through the SAC program.

Earthquake locations were identified with the help of the HYPOCENTER program. (Lienert, 1994). Time difference between observed and calculated arrival times corresponds to the travel time residual. RMS value is estimated from these residuals for the final earthquake location. This value indicates accuracy in earthquake location. It is expected to be less than 1 for an acceptable earthquake location, average RMS value for all earthquakes in this study is 0.2, indicating less uncertainty in latitude, longitude, and depth. Arrival times on the waveforms were marked as T1 for P-waves and T2 for S-waves. I (impulsive) and E (emergent) terms were used to indicate the quality of these readings. Besides, weighting ranging from 0 to 4 is defined for each reading. Then, first motions of P- and S- waves were marked with up and down polarities.

Finally, FOCMEC program was used to determine the reciprocal of the data on the beach ball depending on station azimuth and take-off angle of a ray leaving station, so that the focal mechanisms were solved. The results obtained in this study were compared with results of two reports of this earthquake. Our results are in agreement with the report results.

2 SEISMOTECTONICS OF THE STUDY AREA

Çanakkale is located in the south west of the Marmara region, one of the most active

seismic regions of Turkey. More than 500 earthquakes were recorded in this active area between 1900 and 2016, with magnitudes (M > 4). Fifteen of them were found to be quite large and damaging.



Figure 1. Faults and Geological concepts. (Emre and Doğan. 2010).

The last major magnitude earthquake that occurred near the Ayvacık occurred in Yenice-Gönen on 18 March 1953. This earthquake emerged as a product of the southern segment of the North Anatolian Fault Zone. The damaging earthquake to the closest study area was in the Edremit Gulf in October 6, 1944 (M= 6.8). Figure 1 shows active tectonic structures in the study area, they are Tuzla, Kestanbol, Balabanlı and Gülpınar Faults, and Tuzla Valley seated between Geyikalan and Beydağı Horsts (Emre and Doğan, 2010).

3 METHODOLOGY

In this study an iterative location method is used. This method is based on linearizing the inversion problem. The first thing to do is to create a hypocenter point (x0, y0, z0) and an origin time (t0). This point corresponds to the trial source, referred as the prediction point in this study. It can be explained in the simplest way, when earthquakes happen, near or within a network, this can be done by using a location near the station with the earliest arrival time and using that arrival time as t0. It is assumed to linearize the problem that, the true hypocenter is close enough to the prediction point so that travel- time residuals at the trial hypocenter are a linear function of the correction but it is necessary to do this at hypocentral distance.

The calculated arrival times at station i, tic from the trial location are, as given in

$$t_i = T(x_0, y_0, z_0, x_i, y_i, z_i) + t_0$$

And the travel-time residuals ri;

$$r_i = t_i^0 - t_i^c$$

It is assumed that these residuals are due to the error in the test solution and the corrections needed to make them zero; Δx , Δy , Δz , and Δt . If the corrections are small, the corresponding corrections in travel times can be calculated by approximating the travel-time function by a Taylor series and using only the first term. The residual can now be written:

$$\begin{aligned} r_i &= (\partial T / \partial x_i) * \Delta x + (\partial T / \partial y_i) * \Delta y + (\partial T / \partial z_i) \\ &* \Delta z + \Delta t \end{aligned}$$

In matrix form we can write this as;

$$r = G * X$$

r is the residual vector, G the matrix of partial derivatives (with 1.0 in the last column corresponding to the source time correction term) and, X is the unknown correction vector in location and origin time.

Focal mechanisms are calculated using FOCMEC program that tries to find the best fit for the nodal planes separating first motion polarities. For a double-couple source mechanism, the initial movement of compression must be in the quarter containing only the tension axis and the initial movement of the dilation must be in the quarter containing only the pressure axis. (Snoke, 2003).

4 DETERMINATION OF SOURCE PARAMETERS

For Gülpınar-Ayvacık (Canakkale) earthquakes occurring for a period of two months (Jan 14 – Mar 3, 2017), data were taken from surrounding stations operated by Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI). These are velocity records consisting of broad-band, short-period stations. In order to improve azimuthal coverage, acceleration records are also used in this study. Waveform data of the KOERI stations are processed by the SAC program. This program allows us to arrival times record the and phase identifications read out for each earthquake. The arrival times of P- and S-waves are first marked as T1 and T2 on the earthquake records. A sample seismogram that phase readings are marked is shown in Figure 2.



Figure 2. Arrival times of P- and S-waves are marked on a sample seismogram using SAC code

Figure 3 shows locations of Gülpınar-Ayvacık (Çanakkale) earthquakes that we have obtained in this study. Seismicity in the inset map is colored in terms of magnitude. There three large are earthquakes with magnitude (M>5). remaining data are at moderate (5>M>4) or smaller size (4>M>3) Revised seismicity indicates a linear alignment, parallel of the When a cross Tuzla Fault. section. perpendicular to this alignment is taken, we observe that the seismicity at depth is dipping to the SW (see Figure 3).



Figure 3. a) Revised locations of the Gülpınar- Ayvacık (Çanakkale) earthquakes. b) AA' cross section, normal to the NW-SE trending seismicity (inset map).

Finally, the movement of the first signal of the P- wave on the earthquake record is marked up or down and is used to determine the focal mechanisms. Figure 4 shows first motion focal mechanisms of 86 earthquakes in the study area. Focal mechanisms, especially ones with larger magnitudes (M>4.5) indicate almost pure normal mechanisms with a NW-SE strike.



Figure 4. Distribution of focal mechanism solutions of 83 earthquakes in the study area.

5 CONCLUSION

The aim of this study is to determine the seismic activities of Gülpınar-Ayvacık (Çanakkale) earthquakes, to find the source parameters and to solve focal mechanisms of earthquakes occurring between January 2017 and March 2017.

The center of Gülpınar-Ayvacık-Çanakkale earthquakes is characterized by being a first-degree earthquake region. In other words, there is a high earthquake activity between the Eurasian and African tectonic plates in the region.

As mentioned before, the hypocenter program was used to determine earthquake locations, and the FOCMEC program was used determine focal mechanism to solutions of earthquakes. In this survey, Waveform data of 86 earthquakes have been read from KOERI's event database. Earthquakes usually have depths of 4-9 According to focal mechanism km. solutions (M>4.5), The Gülpınar- Ayvacık (Canakkale) earthquakes result from a NW- SW trending normal fault. This result is in agreement with the strike and sense of motion of the Tuzla Fault seated close to Gülpınar-Ayvacık (Çanakkale) the seismicity. The obtained results are similar to those obtained from reports of some

research groups (KOERI, Sözbilir et al., 2017). The Gülpınar-Ayvacık (Çanakkale) earthquake activity can be associated with the Tuzla fault or its segments (e.g., Çamköy segment).

For a more detailed understanding of seismic activity in the region, the Tuzla fault must be well known.

REFERENCES

- Lienert, B.R., 1994. Users Manuel for HYPOCENTER 3.2: A Computer Program for locating Earthquakes Locally, Regional and Globally, Hawaii Instutute of Geopysics and Planetology, pp. 1-72.
- Özaksoy, V., Emre, Ö., Yıldırım, C., Doğan, A., Özalp, S. & Tokay, F. (2010). Sedimentary record of Late Holocene seismicity and uplift of Hersek restraining-bend along the North Anatolian Fault in the Gulf of İzmit. Tectonophysics, 487, 33-45
- Snoke, J. A. (2003). FOCMEC: focal mechanism determinations. International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, 85, 1629-1630.
- Sözbilir,H., Sümer, Ö., Uzel, B., Softa, M., Tepe,Ç., Eski, S., Özkaymak, Ç., Baba,A. (2017). 14 Ocak- 28 Şubat 2017 Çanakkale- Ayvacık depremleri ve Bölgenin Depremselliği

1912 Mürefte Depreminin (M_s 7.3) Artçışok Alanında Zamana Bağlı b değerinin 1990-2016 Yılları İçin İncelenmesi

Investigation of Time-Dependent b-Value in the Aftershock Area of the 1912 Mürefte Earthquake (M_s 7.3) for the Years 1990-2016

Berk Öznal, Aysun Boztepe Güney

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu çalışmada 9 Ağustos 1912, $M_s7.3$ Mürefte (Tekirdağ) depreminin episantırı merkez olmak üzere 120 km yarı çaplı dairesel artçışok alanında 1990-2016 yıllarında meydena gelen M≥3.0 büyüklüğündeki depremlerin yıllık b-değeri değişintisi incelenmiştir. Deprem kataloğu Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Bölgesel Deprem ve Tsunami İzleme Merkezi'nden (BU, KOERI, RETMC) alınmıştır., Artçışok alanına ait b-değerleri Gutenberg-Richter bağıntısından hesaplanmıştır. Çalışmada 1912 Mürefte depreminin artçışok alanında 1999 M_w7.4 Kocaeli ve M_w7.2 Düzce depremleri öncesi ve sonrası 5 yıllık dönemler için ortalama b-değerleri (1,38; 1,48) hesaplanmıştır. Bu sonuçlar 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinin artçışok alanında 1999 yılından önceki ve sonraki 5 yıllık dönemler için daha önce hesaplanmış olan ortalama b-değerleri (1,6; 1,38) ile karşılaştırılmıştır. 1912 Mürefte depreminin artçışok alanında 1990-2016 yılları için hesaplanan yıllık b-değeri değişimleri (1990-2006 yılları için average b=1,52; 2007-2016 yılları için average b=0,9), inceleme alanındaki gerilme değişimi ile ilişkilendirilerek yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler : b-değeri, artçışok, Mürefte depremi

ABSTRACT In this study, the annual b-value variations of earthquakes with magnitude M≥3 (BU, KOERI, RETMC) occurred in the circular aftershock area of 9 August 1912, M_s7.3 Mürefte (Tekirdağ) earthquake (radius: 120 km, center: the epicenter of the earthquake) for the years 1990-2016 are investigated. The b-values are estimated from Gutenberg-Richter's empirical formula. The average b-values in the aftershock area of the 1912 Mürefte earthquake for the five-year period before and after the 1999 M_w 7.4 Kocaeli and M_w 7.2 Düzce earthquakes are calculated (1,38; 1,48). The results are compared with previously calculated average b-values in the aftershock area of the five-year period before and after year 1999 (1,6; 1,38). The variations of the annual b-values in the aftershock area of the 1912 Mürefte earthquake for the years 1990-2016 (average b=1,52 in 1990-2006; average b=0,9 in 2007-2016) are interpreted in terms of the stress change in the study area. Keywords: b-value, aftershock, Mürefte earthquake

1 INTRODUCTION

The North Anatolian Fault Zone, NAFZ (~1500 km long) is a major continental strike-slip fault zone creating major earthquakes with magnitude M \geq 7. The earthquake sequences along the NAFZ in the years 1939-1999 indicate that the areas ruptured with a large earthquake in the past have potential rupture areas for the future large earthquakes.

The 9 August 1912, M_s7.3 Mürefte (Tekirdağ) earthquake occurred on the ENE-WSW-trending Ganos fault, which is a rupture segment at the westernmost section of the NAFZ before it enters the North Aegean Trough from the Gulf of Saros (Aksoy et al., 2010). The focal mechanism of the earthquake indicates a strike-slip faulting (http://www.globalcmt.org). The 1912 Mürefte earthquake followed was by numerous aftershocks and caused severe damage in the area (Ambraseys, 1987).

The seismicity of the aftershock area of the 1912 $M_s7.3$ Mürefte (Tekirdağ) earthquake should be monitored closely for two reasons. First the last earthquake with magnitude M_L 7 occurred in 1964. Second, the results of the earthquake hazard studies indicate that the occurrence period of earthquakes with magnitude M 7 in the region is 60.8 years (Gençoğlu et al., 1990).

In this study, the time-dependent b-values for erthquakes with magnitude the M≥3 (KOERI. RETMC) occurred in the aftershock area of the 1912 M_s 7.3 Mürefte earthquake for the years 1990-2016 (Figure 1) are estimated by using Gutenberg-Richter's empirical formula. The results are interpreted in terms of the stress change in the study area.



Figure 1. Epicenter map of earthquakes with $M \ge 3.0$ occured in the years 1990-2016 (KOERI, RETMC)

2 DATA and METHOD

The aftershock area of the 1912 Mürefte earthquake ($M_s7.3$) is defined as a circular area with radius ~ 120 km and center at the epicenter of the mainshock (40.60°N, 27.20°E) based on the empirical formula given by Utsu and Seki (1954).The catalog data used in the study is taken from BU, KOERI,RETMC

(http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/).

The annual b-values of the earthquakes with magnitude $(M_d, M_L) \ge 3$ occurred in the aftershock area of the 1912 Mürefte earthquake for the years 1990-2016 (Figure 1) are estimated from Gutenberg and Richter (1944)'s relation,

$$LogN=a-bM,$$
 (1)

where N is the cumulative number of earthquakes with magnitude $\geq M$, "a" is intercept point (the measure of the seismic activity in a given volume), "b" is slope (the size distribution of the events in a given volume). This relation is valid up to the completeness magnitude M_c, which equation (1) departs from the linear trend. The calculations of the cumulative number of earthquakes and the b-values are performed by using MS Excell programme. The b-value is estimated from the slope of the line defined by equation (1) by using the Least Squares Method. The results of the estimated b-values in the aftershock area for the years 1990-2016 are presented in Figure 2.

Udias (1999) showed that the b-values vary in the range between 0.6 and 1.4 (average 1) for the different tectonic settings. High b-values (>1) indicate an increase in material heterogeneity (Mogi, 1967), a creeping part of the fault zone (Wyss et al., 2004), a high temperature gradients (Warren and Latham, 1970). Low b values (<1) indicates a material homogeneity an increase in stress (Wyss, 1973). Schorlemmer et al. (2005) calculated high b-values for normal faults, low b-values for reverse faults and an average value of 1 for strike-slip faults.

3 RESULTS

The b-value in the aftershock area of the 1912 Mürefte earthquake for the year 1999



Figure 2. The solid line shows the annual b values (1990-2016) in the aftershock area of the 1912, MS 7.3Mürefte earthquake estimated in this study. The dashed line shows the annual b-values (1994-2004) in the aftershock area of the 1999 Kocaeli (Mw 7.4) and Düzce (Mw 7.2) earthquakes estimated by Akar (2016).

decreased 27% and 38% compared to the average b-values for the five-year period before and after the 1999 earthquakes, respectively. On the other hand, the b-value in the aftershock area of the Kocaeli and Düzce earthquakes for the year 1999 decreased 56% and 49% compared to the average b-values for the five-year period before and after the 1999 earthquakes, respectively. The b-value in the aftershock area of the 1912 Mürefte earthquake for 1999 is 1, which is an expected b-value for the strike-slip fault zones (Schorlemmer et al. .2005). The b-value in the aftershock area of the 1999 Kocaeli and Düzce earthquakes for 1999 is 0.7. This low value can be explained by the stress increase related to the major rupture process in the area.

In the aftershock area of the 1912 Mürefte earthquake, two different b-value levels are observed for the years 1990-2016. The average b-value for the years 1990-2006 is 1.52, while the average b-value for the years 2007-2016 is 0.9. There is no significant change in the annual b-values before the occurrence of the earthquakes with magnitude M \geq 5 for the years 1990-2016.

For the future studies, we suggest that the magnitude homogeneity in the catalog of KOERI, RETMC and the number and azimuthal coverage of the stations should be provided to improve the accuracy of the earthquake hazard studies.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Boğaziçi University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Regional Earthquake and Tsunami Monitoring Center for providing the earthquake catalog data to us.

REFERENCES

- Akar, S., 2016. 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinin artçışok alanında zamana bağlı b-değeri değişimlerinin incelenmesi, İTÜ, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü Lisans Bitirme Çalışması, 65 s.
- Aksoy, M., Meghraoui, M., Vallée, M., Çakır, Z., 2010. Rupture characteristics of the A.D. 1912
 Mürefte (Ganos) earthquake segment of the North Anatolian fault (western Turkey), Geology, 38, 11, 991-994, doi:10.1130/G31447.1.
- Ambraseys, N.N., and Finkel, C.F., 1987. The Saros-Marmara earthquake of 9 August 1912: Earthquake, Engineering and Structural Dynamics,
- Gutenberg, R., and Richter, C.F., 1944. Frequency of earthquakes in California, Bull. Seismol. Soc. Am., 34, 185–188.
- Mogi, K., 1967. Effect of the intermediate principal stress on rock failure, J. Geophys. Res., 72, 20, 5117–5131, doi:10.1029/JZ072i020p05117.
- Udias, A., 1999. Principles of Seismology, Cambridge University Press, 475 pp.

- Utsu, T. and Seki, A., 1954. A relation between the area of aftershock region and the energy of mainshock, J. Seism. Soc. Japan, 7, 233-240.
- Schorlemmer, D., Wiemer, S., Wyss, M., 2005. Variations in earthquake-size distribution across different stress regimes, Nature, 437, 539–542.
- Warren, N.M. and Latham, G.V., 1970. An experiment study of thermal induced micro fracturing and its relation to volcanic seismicity, J Geophys Res., 75, 4455–4464.
- Wyss, M., 1973. Toward a physical understanding of earthquake frequency distribution, Geophys J. R. astron Soc, 31, 341–359.
- Wyss, M., Sammis, C. G., Naudeau, R. M., Wiemer, S. 2004. Fractal dimension and b-value on creeping and locked patches of the San Andreas Fault near Parkfield California, Bull. Seismol. Soc. Am., 94, 410-421, doi:10.1785/012030054.15, 189-211, doi: 10.1002/eqe.4290150204.
- Gençoğlu, S., İnan, E., Güler, H. H., 1990. Türkiye'nin Deprem Tehlikesi, TMMOB, 701 s.

Locating Scattereres by Cross-Correlation of Drill-bit Noise Sondaj Gürültüsünün Çapraz İlişkisi İle Saçıcıların Yerlerinin Belirlenmesi

Betül Çelik¹, Utku Harmankaya² ve Ayşe Kaşlılar¹

1 İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

2İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Programı, İstanbul

ABSTRACT

In this study we estimate the location of a scatterer by using the cross-correlation of noise records generated by drill-bit. For a scatterer located in a homogeneous half-space medium, 2D finite difference modelling of acoustic wave propagation is performed and synthetic seismograms are calculated. The noise source simulating the drill-bit is located in the subsurface. Receivers are located vertically in the subsurface and horizontally on the surface. The method inspired by seismic interferometry is applied to the scattered wavefield extracted from the total wavefield and the arrival times of the cross-correlations are obtained. These travel times are used in grid search method to estimate the location of the scatterer. It is shown that the location of scatterer is successfully detected.

Keywords: Noise correlation, drill-bit noise, 2D Finite Difference Wavefield Modeling, acoustic wave propagation, seismic interferometry, locating scatterers

ÖZET

Bu tezde, bir sondaj çalışması sırasında, sondaj matkabının neden olduğu gürültü kayıtlarının çapraz ilişkisi ile bölgede yer alan saçıcılarının konumları belirlenmiştir. Yarı-sonsuz homojen bir ortamda yer alan bir saçıcı için iki boyutlu sonlu farklar yöntemi kullanılarak akustik dalga yayılımı modellemesi yapılmış ve yapay sismogramlar elde edilmiştir. Alıcılar düşey yönde yer içine doğru ve yeryüzünde yer alacak şekilde yerleştirilmiştir. Kaynak derine yerleştirilmiş, önce bir patlatma kaynağı, sonra bir gürültü kaynağı dikkate alınarak modelleme gerçekleştirilmiştir. Modellemeler sonucunda elde edilen dalga alanından saçıcının neden olduğu saçılmış dalga alanı ayırılmış ve sismik interferometriden esinlenerek geliştirilen yöntem uygulanarak elde edilen korelasyon zamanları okunmuş ve grid arama yöntemi yardımı ile saçıcının konumu başarılı bir şekilde kestirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Gürültü korelasyonu, sondaj gürültüsü, 2B Sonlu Farklar ile Modelleme, akustik dalga yayılımı, sismik interferometri, saçıcıların yerlerinin belirlenmesi

1. INTRODUCTION

In this study, it is shown that drill-bit noise can be used as a source signal to obtain the locations of possible scatterers. These scatterers can either be natural (cavities, caves etc.) or artificial (abandoned mines, mine galleries, archaeological ruins etc.) as shown in figure 1.



Figure 1. Natural and man-made scatterers (*URL-1; URL-2; URL-3; URL-4; URL-5*)

Determining the location of these scatterers may help to reduce environmental risks such as cave-ins during the drilling, so the method used in this study can be useful for any drilling operation as well as geophysical research.

The method inspired seismic by interferometry that is described in Harmankaya et al. (2013) is used to estimate the location of a scatterer from noise records. For this purpose, synthetic seismograms from noise sources are calculated by the 2D Acoustic/Elastic Finite-Difference Wavefield modelling program (Thorbecke, 2016). For the modelling, acoustic wave propagation is considered in a half space homogenous medium with a scatterer.

To estimate the locations of the scatterer, seismic traces in the noise records are correlated by the arbitrarily selected virtual sources. Cross-correlation of these traces resulted in correlation panels where, nonphysical scattered arrivals are obtained. These arrivals are used to obtain nonphysical travel times that, along with the appropriate travel time equation (2.1), are used to obtain the locations of the scatterer.

The results show that a scatterer could be observed even from a noise record simulated by drill-bit. In summary, the obtained result at the end of this study shows that the drilling noise is a useable source for locating a near surface scatterer.

2. ESTIMATING THE LOCATION OF SCATTERER

The considered model geometry for 2D acoustic wavefield modelling is shown in figure 2. In total 202 receivers are used for recording the wavefield. half of the receivers are placed vertically in the subsurface and the other half are located on the surface. The receiver interval is selected as 1 m. The random noise sources are located at 105m at the subsurface, that is below the last vertical receiver. For noise modelling, randomly generated noise sources are positioned inside 1m x 1m area marked with a red star in figure 2.



Figure 2. Model geometry (black rectangular area, red star and black triangles represent scatterer, source location and receivers, respectively).

Dominant frequency of the drill-bit noise is usually found to be in the interval between 10 Hz and 85 Hz and is generally smaller than 100 Hz (Rector, 1991). Therefore, maximum frequency of the source signal in the modelling is set as 200 Hz with the dominant frequency of approximately 85 Hz.

After the noise modelling, synthetic seismograms were obtained for each receiver lines. Noise records from surface receivers are used to show the estimation procedure of the scatterers by noise correlation (figure 3a).

Cross-correlations involve arbitrarily selecting one of the traces as the virtual source (VS40) and correlation of this trace with others. After the first correlation, the non-physical scattered arrivals become observable on the correlation panel (fig 3b).



Figure 3. Noise recorded by surface receivers with the vertical component of particle P-wave velocity (a), first correlation by VS40 (b), and isolated scattering hyperbola used in second crosscorrelation by VS50 (c).

As these non-physical arrivals are still dependent on the location of the actual source, they are isolated and correlated for a second time with (VS50), (Figure 3c). The travel times of non-physical scattered arrivals are then selected from the panel obtained from second correlation. The travel time relation for these arrivals are given as

$$ti = \frac{1}{V} \left\{ \sqrt{\left[(x_i^r - x)^2 + (z_i^r - z)^2 \right]} - \sqrt{\left[(x_{vs} - x)^2 + (z_{vs} - z)^2 \right]} \right\}$$
(2.1)

where V is the wave velocity, i is the index for the receiver numbers, r and vs denote the receiver and virtual source, respectively, and x and z are the horizontal and vertical coordinates of a scatterer.

Selected travel times from the correlation panel in Figure 3c, as well the non-physical travel time relation (2.1), are used in a grid search parameter estimation method to estimate the location of the scatterer. This method calculates the error function (2.2) using observed and calculated travel times.

$$E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (t_{obs} - t_{calc})^2}{N}}$$
(2.2)



Figure 4. 2D view (a) and 3D view (b) of error function with the minimum error value shows approximate x and y locations of the scatterer.

Figure 4 shows minimum error value on 2D and 3D graphs. Here, x and y locations of the minimum error value (index) refer to the

locations of scatterer. Estimated location of scatterer is accurate to its actual location in the model. Distance from first vertical receiver to scatterer was estimated at 41.95 m (x) and depth of scatterer (y) was estimated at 23.85 m as seen in the figure 4. These values are reasonably close to the actual location of the scatterer at 40 m and 24 m.

RESULTS

To estimate the location of the scatterer, we used the non-physical travel times of arrivals scattered obtained from the correlations of noise records. Synthetic seismograms from noise source are obtained 2D finite difference wavefield with modelling. Recorded traces from noise modelling are cross-correlated by a selecting virtual source to obtain correlation panels. Non-physical scattered arrivals are used to obtain travel times that are then used with a grid search method to calculate error function. The minimum error value represents the (x) and (z) locations of scatterer; distance away from receivers and depth of scatterer respectively. Similar values of scatterer locations are obtained from noise modelling. Based on the results, the location of the scatterer was successfully estimated.

ACKNOWLEDGEMENT

We thank the Colorado School of Mines for providing the Seismic Unix package as open source software (Cohen and Stockwell, 2012) and Jan Thorbecke providing the 2D Finite-Difference Wavefield Modelling as open source.

REFERENCES

- Cohen, J.K., Stockwell, Jr.J.W., 2012. CWP/SU: Seismic Unix Release No. 43: An Open Source Software Package for Seismic Research and Processing. Center for Wave Phenomena, Colorado School of Mines.
- Harmankaya, U., Kaslilar, A., Thorbecke, J., Wapenaar K., Draganov, D., 2013. Locating nearsurface scatterers using non-physical scattered

waves resulting from seismic interferometry. Journal of Applied Geophysics 91, 66-81.

- Rector, J., W., and Marion, B., P., 1991. The use of drill-bit energy as a downhole seismic source. GEOPHYSICS, No. 5, P. 628-634.
- Thorbecke, J., 2016. 2D Finite-difference Wavefield modeling, *fdelmodc Manual*, P. 1-55.
- Karstic Voids as scatterer. (2017). from http://blogs.agu.org/waterunderground/2017/04/0 7/karst-short-episodes-karst/
- *Example of Cave-in as scatterer. (2017). from* <u>http://www.awamipolitics.com/wp-</u> content/uploads/2017/01/sinkholes.jpg
- Fingal's Cave as a natural scatterer in Scotland. (2017). from <u>https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/236x/df/99/6b/df996ba21829d77</u> <u>f8e6f7670071a2f8f.jpg</u>
- As an example of cave for natural scatterer. (2013). from <u>http://techlivewire.com/wp-</u> <u>content/uploads/2013/09/Lohani_caves_-</u> <u>Mandavgarh_Mandu-1024x678.jpg</u>
- Example for Abandoned mine galleries as manmade scatterer. (2015). from https://www.reddit.com/r/creepy/comments/3p8ar 0/abandoned_mine_shaft/

İki Tabaka Anizotropik Ortamda Görünür S-dalgası Ayrışma Parametrelerinin Davranışları

Apparent S-wave Splitting Parameters under Various Two-Layer Models

Buse Turunçtur, Tuna Eken, Judith M. Confal, Tuncay Taymaz İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Sismik anizotropi ölçümlerinde kullanılan S dalgalari ayrışma analizleri, sismik anizotropinin yönü ve şiddetinin belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisidir. Bu çalışmada esasen Silver ve Long (2011) tarafından tanımlanan kuramsal eğriler sayesinde farklı iki-tabaka anizotropik yapıların neden olacağı olası S-dalgaları görünür ayrışma parametrelerinin yöne bağlı değişimleri incelendi. Bu çalışmanın başlıca amaçları, hipotetik bir istasyon altında kurgulanmış iki-tabaka anizotropik modelleri için elde edilen görünür gecikme zamanlarının yönsel ortalamasının hangi durumlarda minimum olduğunu ve birinci ve ikinci tabaka için tabaka kalınlıklarının önemini araştırmaktır. Çeşitli iki-tabaka modellerine göre teorik olarak hesaplanan kuramsal eğriler, iki tabakanın anizotropik yönlerinin birbirine dik ve tabaka kalınlıklarının eşdeğer olduğu durumlarda, ortalama zaman gecikmelerinin anizotropik tabakaların birbirlerinin tekilerini kısıtlayacak şekilde en küçük değerleri verdiği görülmüştür. Tabaka kalınlıklarının farklı ve tabaka anizotropik yönlerinin birbirine dik alındığı modellerde, yöne bağımlılığın tek-tabaka anizotropisi varmış gibi davrandığı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: sismik anizotropi, s-dalgası ayrışma parametreleri, SKS fazı ayrışması.

ABSTRACT Shear wave splitting analyses used in seismic anisotropy measurements are one of the most commonly used methods for determining the direction and strength of seismic anisotropy. In the present study, for various two-layer anisotropy cases, we investigated directional dependency of apparent S-wave splitting parameters using mathematical expressions defined by Silver and Long (2011). The main purposes of this study are to investigate under what two-layer model conditions station averaged time delays of splitting parameters converge to minimum and the role of anisotropic layer thickness. Theoretically estimated curves for apparent splitting parameters under various two-layer cases implied the minimum averaged delay times when anisotropic directions are orthogonal in two equally thick layers. This indicated the cancellation effect of orthogonally oriented horizontal symmetry axes exist, our calculations display a constant distribution of apparent S-wave splitting parameters implying as if a single-layer anisotropy with thick layer properties is present.

Keywords: seismic anisotropy, splitting parameters, SKS splitting analysis.

1 GİRİŞ

Yer içinde gözlenen minerallerin (örneğin manto içinde olivine minerali) kristal yapıları ayrıntılı incelendiğinde anizotropik davranış gösterdikleri gözlenmiştir. Hem cisim dalgaları hem de yüzey dalgaları üzerine yapılmış olan çalışmalar sismik anizotropinin, litosfer ve özellikle üst mantoda oldukça belirgin olduğuna işaret etmektedirler (Savage, 1999; Fouch ve Rondenay, 2006). Bu çalışmada daha çok üst manto içerisinde meydana gelen sismik anizotropi üzerine bir sentez çalışması sunulacaktır. Bu çalışma esasen Menke ve Levin (2003) tarafından ortaya atılan, yatay simetri eksen açıları birbirine dik birden fazla anizotropik tabakanın (iki-tabaka) üzerinde bulunan istasvonda ölcülen ortalama zaman gecikmelerinin nispeten düşük olması fikri üzerine ortaya çıkmıştır. Benzer bir biçimde Saltzer ve diğ. (2000) küçük zaman gecikmelerinin, iki-tabakalı gibi karmaşık anizotropik yapılar içinde bulunan farklı yönlerdeki yatay simetri ilişkili olabileceğini açıları ile öne sürmüştür.

2 SİSMİK ANİZOTROPİ

Yer içinde, kabuk, litosfer, geçiş bölgesi, alt mantonun en üst kısmı, D" katmanı ve iç gözlenmiştir. cekirdekte anizotropi Anizotropi, örneğin kabuk bölgesinde yapısal bozukluklara bağlı olarak gelişirken, heterojeniteye bağlı olarak da gelişebilir. Sismik anizotropi gerinim alanına bağlı (örnek manto içerisinde) oluştuğu gibi kayaç vapılarına etki eden dışsal deformasyon süreçlerinin bir sonucu olarak ta oluşabilir (örnek kabuk anizotropisi) (Savage, 1999).

2.1 Sismik Anizotropinin Önemi

Manto içerisinde günümüzde veya geçmişte meydana gelen konveksiyon akımları ile yitim zonu dinamiklerinin olivin kristal yapılarının üzerinde etkilerini doğru olarak anlayabilmek için yer içindeki katmanların anizotropik yönlerini doğru bir şekilde anlayabilmek gereklidir. (Stein ve Wysession, 2003).

2.2 SKS Fazı Ayrışması

İzotropik ortamda, SV ve SH dalgaları aynı hızda hareket ederken, anizotropik ortamda, S-dalgaları iki eş dalgaya ayrılır. İki eş fazdan biri anizotropik ortamda daha hızlı, ona dik yönde yayılan diğer faz ise yavaş bir hareket eder ile ve istasyona hız vardıklarında aralarında zaman gecikmesi gözlemlenir (Eken ve Tilmann, 2014). Bu olaya S-dalgası ayrışması denir. Hızlı bileşenin kutuplaşma yönü ile aralarındaki gecikme zamanı anizotropinin karakterini önemli belirleyen en iki parametredir (Savage, 1999). SKS ve SKKS fazları sadece anizotropisinin tahmin edilmesi beklenen istasyon-altı bölgesine ait bilgi içerir, bu sebeple bu fazlar anizotropi ölçümlerinde Sdalgası ayrımlaşmasının uygulandığı en yaygın fazlardır.

3 GÖRÜNÜR S-DALGASI AYRIŞMA PARAMETRELERİNİN DAVRANIŞI

3.1 İlk Tabakanın Hızlı Polarizasyon Yönü Sabit, İkinci Tabakanın Değişken

Bu çalışmada kullanılan birinci model, hangi farklı anizotropik özelliklere sahip iki-tabaka anizotropik yapı durumlarında, ölçülmesi beklenen görünür ayrışma parametrelerinin birbirlerinin etkisini azaltmaları incelendi. İlk tabakanın hızlı polarizasyon açısı (Φ_1) sabit tutulup, ikinci tabakanın hızlı polarizasyon açısı (Φ_2) 0° ile 360° arasında 5° farklarla değiştirildi (Şekil 1).



Şekil 1. İki tabakalı anizotropik ortam. Mavi ok ilk tabakanın hızlı fazın polarizasyon yönünü, kırmızı ok ise ikinci tabakanın değişen hızlı polarizasyon yönünü göstermektedir.



S Sekil 2. Görünür dalgası ayrışım 1° parametrelerinin açılarla değişen depremlerin geliş yönleri arasındaki ilişki. (a) S-dalgası görünür hızlanma yönü (b) görünür zaman gecikmesi. Gri eğriler, Model 1 durumunda elde edilecek olan görünür ayrışma parametrelerini, mavi eğri ise, ilk tabakanın anizotropik yönüne dik olan ikinci kuramsal tabakaya ait eğrivi temsil etmektedir.



Şekil 3. Gecikme zamanlarının ortalama değerlerinin, Φ_1 ile Φ_2 arasındaki farkın mutlak değerine göre değişimi.

Sekil 2'de hızlı fazın polarizasyon açısının ve iki faz arasındaki zaman gecikmesinin göre periyodik deprem yönüne olarak tekrarlandığı gözlemlenir. Bu durum, iki tabakalı bir anizotropik yapının varlığına da işaret eder. Geçmişte SKS ayrışması üzerine vapılan çalışmalarda (Saltzer ve diğ., 2000; Menke ve Levin, 2003) istasyon ortalaması olarak hesaplanan görece küçük zaman gecikmesi değerlerinin ortamın nispeten izotropik olması ya da tek-tabaka koşulunda düşük şiddetli anizotropik bir tabaka ile açıklanabileceği gibi aynı zamanda daha karmaşık tipteki anizotropik yapılarla ilgili olarak farklı tabakalardaki anizotropik vönlerin birbirleri ile olan iliskilerine de bağlandı. Şekil 3'de minimum değerler tabakaların hızlı polarizasyon yönlerinin farklarının 90° ya da 270° derece olduğu yani tabaka anizotropi yönlerinin birbirlerine dik olduğu durumlarda, birbirlerinin etkisini azalttıklarına işaret etmektedir.

3.2 Farklı Tabaka Kalınlıklarının Etkileri

Ikinci test modelinde, iki-tabaka anizotropik yapıları için, tabaka kalınlıklarını dolaylı olarak temsil etmekte olan her bir tabakanın karakteristik zaman gecikmelerinin S-dalgası görünür ayrışma parametrelerinin yönsel dağılımlarına olan etkisi incelendi ve dört farklı hipotetik model kurgulandı.

3.2.1 Model 1

İncelenen ilk modelde, birinci tabaka için karakteristik zaman gecikmesi 1.25s, ikinci tabaka için karakteristik zaman gecikmesi 0.5s olarak alındı. Bu değerler aynı zamanda dolaylı olarak birinci tabakanın kalınlığının fazla ikinci tabakadan daha olduğunu gösteriyordu. Modelde, iki tabaka icin birbirlerine dik anizotropik yönler kullanılarak görünür avrisma parametrelerinin değişimi incelendi (Şekil 5).



Şekil 5. Farklı tabaka kalınlıklarının etkisi: ilk tabaka kalın, ikinci tabaka ince yer modeli.



Şekil 6. Görünür S dalgası ayrışım parametreleri ile depremlerin geliş yönleri arasındaki ilişki.

3.2.2 Model 2

İkinci modelde ise, ilk tabakanın kalınlığı az, ikinci tabakanın kalınlığı daha fazla olarak varsayıldı. Bir önceki modelde olduğu gibi bu modelde de iki tabaka için anizotropik açılar birbirine göre dik olacak şekilde seçildi (Şekil 7).



Şekil 7. Farklı tabaka kalınlıklarının etkisi: ilk tabaka ince, ikinci tabaka kalın yer modeli.



Şekil 8. Görünür Sdalgası ayrışım parametrelerinin deprem gelişine göre davranışları.

Şekil 6 ve 8'den görüldüğü üzere ayrışma parametreleri periyodik olarak değişim göstermeyip ortamda sadece tek-tabaka anizotropisi varmış gibi tepki göstermiştir. Sismik hızlanma yönü bütün deprem yönleri için sabit olarak kalın olan tabakanın yönünü göstermektedir.

3.2.3 Model 3

Üçüncü model olarak ise, birinci model ile aynı karakteristik zaman gecikmelerine sahip fakat iki tabaka için birbirine dik olmayan anizotropik yönler kullanıldı (Şekil 9). Şekil 10'dan Model 3 için teorik olarak hesaplanan S-dalgası ayrışma parametrelerinin yönsel dağılımlarının tek tabaka davranışı sergilemediği, tam tersine periyodik olarak tekrarlayan bir eğri ile temsil edildikleri anlaşılıyor.



Şekil 9. Farklı tabaka kalınlıklarına sahip ve birbirine dik olmayan anizotropik yönleri temsil eden temsili yer modeli.



Şekil 10. Görünür S dalgası ayrışım parametrelerinin depremlerin geliş yönleri arasındaki ilişki.

3.2.4 Model 4

Bu bölümde son olarak, iki-tabaka için anizotropik yönlerin birbirine dik ancak tabaka kalınlıklarının birbirine eşit olduğu bir model test edildi (Şekil 11). Model 4 için hesaplanan teorik S-dalgası görünür ayrışma parametreleri için periyodik olarak yöne bağımlı ve iki-tabaka anizotropisinin varlığına işaret eden bir dağılım gözlendi (Şekil 12).



Şekil 11. Tabaka kalınlıkları aynı olması ve hızlı polarizasyon yönlerinin birbirine dik olması durumunda yer modeli.



Şekil 12. Görünür S dalgası ayrışım parametrelerinin depremlerin geliş yönleri arasındaki ilişki.

4 SONUÇLAR

İki-tabakalı anizotropik ortamlarda genelde sismik hızlar yöne bağlı olarak periyodik eğrilerle temsil edilirler. İki tabakanın anizotropik yön değerlerinin birbirine dik olduğu durumlarda teorik olarak modellenen zaman gecikmelerinin yönsel ortalamaları, deprem yönleri kusursuz dairesel olarak dağılım gösterdiğinde en küçük değerlerle ifade edilir. Bu bulgu daha önce Saltzer ve diğ. (2000) ve Menke ve Levin (2003)'in sonuçları ile tutarlıdır. Tabaka kalınlıklarının yarıdan fazla ve de tabakaların anizotropik yönlerinin birbirine dik olduğu durumlarda S-dalgası görünür anizotropi parametreleri kalın olan tabakanın özelliklerini temsil eden tek-tabaka gibi davranırlar.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada göstermiş olduğu her türlü destekten ötürü Frederik Tilmann'a teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- Eken, T., ve Tilmann, F., 2014. The use of direct shear waves in quantifying seismic anisotropy: Exploiting regional arrays, Bulletin of the Seismological Society of America, Cilt. 104, No. 6, s. 2644-2661.
- Fouch, M.J., ve Rondenay, S., 2006. Seismic anisotropy beneath stable continental interiors, Physics of the Earth and Planetary Interiors, Cilt. 158, No. 2-4, s. 292-320.
- Menke, W., ve Levin, V., 2003. The crossconvolution method for interpreting SKS splitting observations, with application to one and twolayer anisotropic earth models, Geophys. J. Int., Cilt. 154, No. 2, s. 379-392.
- Saltzer, R.L., Gaherty, J.B., ve Jordan T.H., 2000. How are vertical shear wave splitting measurements affected by variations in the orientation of azimuthal anisotropy with depth?, Geophys. J. Int., Cilt. 141, No. 2 s. 374-390.
- Savage, M.K., 1999. Seismic anisotropy and mantle deformation: What have we learned from shear wave splitting?, Reviews of Geophysics, Cilt. 37, No. 1, s. 65-106.
- Silver, P.G., ve Long, M.D., 2011. The noncommutivity of shear wave splitting operators at low frequencies and implications for anisotropy tomography, Geophys. J. Int., Cilt. 184, No. 3, s. 1415-1427.
- Stein, S., ve Wysession, M., 2003. Seismic Waves in a Spherical Earth; Anisotropic Earth Structure."An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure", USA, s. 157-162;177-185.
Işınım Transferi Teorisinden Yararlanılarak Sismik Moment Ve Kaynak Spektrum Analizi

Seismic Moment and Source Spectrum Analysis By Using Radiation Transfer Theory

Can Kocabal, Tuna Eken

(İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu çalışmada, Sens-Schönfelder ve Wegler (2006) tarafından geliştirilen ve de Işınım Transferi Teorisine (Radiative Transfer Theory) bağlı bir yöntem ile depremlerin, kaynak spektrumları ve sismik momentlerinin elde edilmesi amaçlamıştır. Yöntem temel olarak, S dalgalarının ortamdaki saçıcı yapılara bağlı olarak giderek sönümlendiği bir dalga treni şekli halinde sismogramlarda gözlenen ve "sismik koda dalgaları" ve bunlardan elde edilecek zarfların fiziksel modellemesine dayanır. Yöntem, IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology) tarafından herkese açık olarak sunulan, NAF (North Anatolian Fault) sismik ağı verileri üzerinde test edilmiştir. İşlemler, Türkiye'deki Sinop ili civarında olan "EKİN" adlı istasyon verileri üzerinden yürütülmüştür. Dış merkez uzaklığı ~30 ile 115 km ve aletsel büyüklükleri 3.0 ≤ Ml ≤ 3.6 arasında değişen dört adet deprem kaydı üzerinde yapılan testlerde, elde edilen sismik dalga formları 5 farklı frekans bandında filtrelenerek sismik moment modellemesi yapılmıştır. Bu çalışmada elde edilen büyüklük değerleri, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından üretilen deprem kataloglarındaki lokal manyitüd değerleri ile özellikle M_L3.5 üzerinde ki depremler için uyum göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: sismik koda, ışınım transferi teorisi, sismik moment.

ABSTRACT In this study, Our primary aim is to obtain earthquake source spectra and seismic moments using the Radiative Transfer Theory (Sens-Schönfelder ve Wegler, 2006). The method basically depends on the physical modelling of the coda envelopes obtained from coda waves observed on the exponentially decreasing wave-train part of seismograms most likely due to the presence of scatterer along the propagation medium. The method was tested on the digital waveform recordings collected during North Anatolian Fault (NAF) passive seismic experiment that is open access via the IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology). We tested the method using digital seismograms from four local eartquakes that were recorded at the station "EKIN" which is located in Sinop province in Turkey. The seismic waveforms obtained from four earthquake records with epicentral distance ~ 30 to 115 km and instrumental magnitudes $3.0 \le MI \le 3.6$ were obtained in 5 different frequency bands and seismic moment modeling was performed. Coda-based local magnitude estimates in this study overall correlates well with especially for those $M_L>3.5$ in earthquake catalogues provided by the Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD) of Turkey. Key Words: seismic coda, radiative transfer theory, seismic moment.

1 GİRİŞ

Bu çalışmada sismik moment ve kaynak spektrumu analizi yapmak için Sens-Schönfelder ve Wegler (2006) tarafından geliştirilen bu ampirik yöntem, Türkiye'deki Sinop ilinin yakınlarında bulunan "EKİN" adlı istasyon üzerinde, 4 adet referans deprem kullanılarak uygulanmıştır.

Yöntem, Işınımsal Yayılım Teorisi üzerinden geliştirilmiş olup daha önce Alman Bölgesel Sismik Ağı tarafından merkez uzaklığı 1000 km'den kısa mesafede olan 11 deprem ($4 \le ml \le 6$) kullanılarak test edilmiştir.

2 DEPREMLERİN BÜYÜKLÜK HESAPLAMALARI

kabul Günümüzde deprem gören büyüklüğünü hesaplama yöntemi, deprem neden olan kırıklar boyunca etkileşimi gösteren ve mekanik süreci karakterize eden 'sismik moment' ile alakalıdır. Sismik moment ile büyüklük arasındaki ilişkiyi bicimlendirmek icin beş farklı ölçek oluşturulmuştur. Bunlar; yerel büyüklük (Ml), yüzey dalgaları büyüklüğü (Ms), cisim dalgaları büyüklüğü (Mb), moment büyüklüğü (M ω) ve süreye bağlı büyüklüktür (Md) (Stein ve Wysession, 2003).

2.1 Yerel büyüklük, Ml

Charles Richter, 1930'lu yıllarda yerel depremleri boyutlandırma amacıyla M_L adlı bir büyüklük ölçeği geliştirdi. Bu ölçeği aşağıdaki eşitlikle tanımlamıştır.

$$M_L = \log A_{max} - \log A_0 \tag{1}$$

Burada A_max, Wood-Anderson sismogramında mm cinsinden maksimum genliği, A0 ise deprem merkezine 100 km uzaklıkta, ML=0 ve 0.001 mm genlikli depremi ifade eder.

2.2 Yüzey Dalgaları Büyüklüğü, Ms

Yüzey dalgalarının genliklerinden faydalanılarak oluşturulan büyüklüktür. Yüzey dalgaları, odak derinliği ve kaynak uzaklığından direkt olarak etkilenir.

$$M_s = \log A_{max} - \log A_0 \left(\Delta^0 \right) \tag{2}$$

Denklem 2'de A_{max} , 20 saniyelik periyodu olan Rayleigh yüzey dalgasının genliğini, A0, Ms=0 olan bir referans depremin genliğini temsil eder. Δ ise deprem merkezi (epicenter) ile ölçüm alan istasyon arasındaki uzaklığı kilometre cinsinden ifade eder.

2.3 Cisim Dalgaları Büyüklüğü, Mb

P ve S dalgalarının genlik değerleri yorumlanarak tanımlanan büyüklüktür. Denklem 3'de, A_{max} zeminin maksimum genliğini, T saniye cinsinden hareketin periyodunu, $Q(\Delta, h)$ ise uzaklık ve derinliğe bağlı düzeltme fonksiyonunu temsil eder.

$$M_b = \log(A_{max}/T) - Q(\Delta, h)$$
(3)

2.4 Moment Büyüklüğü, Mω

Sismik moment, üç boyutlu bir alanda belirli bir yöne sahip ve kendi yönü olan iki boyutlu bir fay düzleminde harekete neden olan itici bir güç olarak tanımlanmaktadır. İtici kuvvetlerin bu özellikleri, sismik momenti analiz etmeyi zorlaştırsa da sismologlar büyüklük tahminlerinde depremin sismik momentinden faydalanır. Bunun sebebi, levhaların etkileşimleri sonucu depremler oluştuğu için ortaya çıkan mekanik sürecin sismik moment tarafından açıklanabilir olmasıdır.

$$M_0 = \mu. u. A \tag{4}$$

Denklem 4 ile verilen bağıntıda, M_0 sismik momenti, μ malzeme mukavemetinin bir ölçüsü olan rijidite veya kesilme direncini, ufayın boyuna hareketinin ortalama değeri (atım) ve A fay bölgesinde olan yırtılma alanını temsil eder.

2.5 Süreye Bağlı Büyüklük, Md

Tsutnura, 1967 yılında Japonya'daki depremler üzerinde büyüklük araştırmaları yapmaktaydı. Daha sonraları depremin toplam süresi ve büyüklük arasında ampirik bir bağıntı tanımladı ve Japonya'daki yerel depremler üzerinde kullanarak olumlu sonuçlar aldı. Bu bağıntı şu şekilde tanımlanır:

$$M_d = a_1 + a_2 . \log(\tau) + a_3 . \Delta$$
 (5)

Burada a1, a2 ve a3sırasıyla istasyon, sönümlenme ve mesafeyi belirten sabitler, Δ kilometre cinsinden depremin merkez üssüne olan uzaklığı ve τ ise saniye cinsinden sinyalin süresini temsil eder.

3 KODA DALGALARI

3.1 Sismolojide Koda Dalgaları

Koda dalgaları üzerine yapılan ilk çalışmalar Aki ve Chouet (1969-1975) tarafından gerçekleştirilmiştir. 1980 yılında ise Aki, koda dalgalarının oluşumu üzerine modeller geliştirmiştir. Koda dalgasının oluşum mekanizmasıyla alakalı Sato (1997) tarafından geliştirilen tek saçılma modeli, günümüzde bile soğurulma hesapları ve analizi amacıyla kullanılmaktadır (Eken, 2003).

3.2 Koda Dalgalarının Özellikleri

Koda dalgalarının oluşumu, yeraltındaki heterojenite ile açıklanabilir. Bu heterojeniteden kasıt bölgedeki saçıcı cisim ve yüzeyler, kabuk ve mantodaki saçıcı kütlelerdir. P ve S dalgalarının kuyruk kısmında bulunan koda dalgaları, farklı frekanslardaki birden fazla dalganın süperpozisyonu şeklinde oluşur (Akıncı ve diğ,1996).

4 YÖNTEM

Bu çalışmada bir referans depremin kaynak spektrumlarını ve sismik momentini belirlemek amacıyla, Sens-Schönfelder ve Wegler (2006) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır. Isınımsal yayılım teorisi üzerinden olusturulan bu vöntem, veraltındaki saçıcı yapıların etkisiyle sebeplerle oluşan koda dalgalarının fiziksel modellemesine dayanır. Yöntem, kavnak ve özelliklerinin yakın alan ortak ters çözümlemesini temel alır ve diğer ampirik yöntemlere (Mayeda ve diğ., 2003; Morasca ve diğ., 2005) göre avantajlı sonuçlar verdiğinden, yorumlamayı kolaylaştırır.

4.1 Koda Zarflarının Modellenmesi

Koda zarfları, analitik olarak "Işınımsal Yayılım Teorisi (Radiative Transfer Theory)" kullanılarak modellenmiştir. Dalgaların 3 boyutlu alanda saçılması ışımsal aktarım veya Boltzmann denklemleri ile açıklanır (Margerin ve diğ., 1998).

4.2 Koda Verileri

Koda zarfı verileri, yerel veya bölgesel depremlere ait sismogram kayıtlarının sismogramların 0.75, 1.50, 3.00, 6.0 ve 12.00 Hz merkezli beş frekans bandında filtrelenmesi ile elde edilen sayısal dalga formları üzerine S varışlarından sonra Hilbert Dönüşümü alınarak elde edilebilir.

4.3 Ters Çözüm

Koda zaman penceresi, S dalgasının seyahat zamanının iki katından sonra başlar ve S/N değeri 4'ün altına düstüğünde sona erer. Depremin tüm mevcut dalga formları üzerinde g₀,b,W ve R_i için ortak frekans bandında ters çözümlemesi yapılır. Koda zarflarının modellenmesi ve sonrasında zarflar gözlemsel ile karşılaştırılması islemleri sırasında Eulenfeld ve Wegler (2016) tarafından PYTHON programlama dili platformu kullanılarak geliştirilen "QOPEN" isimli yazılım kullanılmıştır.

4.4 Kaynak Terimi Hesabı

Yöntem ısınımsal yayılım teorisine koda normalizasyonu dayandığı ve gerektirmediğinden, ters cözüm parametresi W doğrudan yorumlanabilir. Yayılan S dalgalarının çeşitli enerji frekanslarında kaynak enerjisini ölçerek, kaynak enerji spektrumu $W(\omega)$ elde edilir. Parçacık hareketinin ikili (double çift couple) etkisinden kaynaklandığı ve uzak sahada gözlemlendiği varsayıldığında $W(\omega)$ ve sismik moment arasındaki ilişki söz konusu kaynağı içeren bir küre üzerinde eneji akı voğunluğunun integrali alınarak elde edilebilir (Sato ve Fehler, 1998).

4.5 Veri

Bu çalışmada kullanılan dört adet deprem Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) bünyesinde faaliyet gösteren istasyonlar tarafından tespit edilmiş olup bu depremlere ait enlem, boylam, oluş derinliği ve de oluş zamanına ait bilgiler AFAD'ın yayınladığı kataloglardan elde edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Bu çalışmada kullanılan dört deprem ile bu depremlerin kayıtlarının kullanıldığı EKİN istasyonunun konumları.

4.6 Çalışma Alanı

Kuzey Anadolu Fay hattı, Karlıova'dan Saros Körfezi'ne, Karadeniz dağları boyunca vaklasık 1200 bovunca km uzanan morfolojik olarak belirgin ve sismik olarak aktif bir doğrultu atımlı faydır. Avrasya ile Anadolu levhaları arasındaki göreceli hareket ele alınırsa ve Ege'nin kompleks levha sınır bölgesi üzerinde olan Helenik Yayı ile Doğu Anadolu bölgesini birbirine bağlar (Sengör, 1979).

5 SONUÇLAR

Bu çalışmada sismik koda dalgalarının zarfları Işınım Transferi Teorisi (Sens-Schönfelder ve Wegler tarafından, 2006) kullanılarak modellenmiş ve sonuç olarak kullanılan depremlere ait sismik moment büyüklükleri hesaplanmıştır. Genel olarak ters çözüm sırasında, hesaplanan sentetik gözlemsel koda genlikleri arasında iyi bir uyuma ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 2'de sunulmaktadır.



Sekil 2. Ters çözüm sırasında farklı frekanslarda uvumun görüldüğü en ivi gözlemsel sentetik ve koda zarfi çakıştırmaları

Koda dalgalarının analizi sonucu elde edilen sismik momente bağlı lokal büyüklükler (MI) ile AFAD tarafından daha öncden bu incelenen dört deprem için verilen lokal büyüklükler birbiri ile kıyaslandığında en fazla uyumun seçilen bu dört depremden aletsel büyüklüğü en fazla olan (M_L 3.6) olan deprem için olduğu görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. AFAD'dan alınan ML manyitüd tahmini ile bu çalışmadan elde edilen manyitüd karşılaştırması.

Bununla beraber, koda dalgalarından elde edilen aletsel büyüklüklerin bölgedeki yerel deprem ölçeğine olan ilişkisi kullanılacak deprem veri setinin daha da arttırılması ile gelecekte ayrıntılı olarak ele alınmalıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan depremlere ait enlem, boylam, oluş derinliği ve de oluş zamanına ait bilgileri açık kaynaklı olarak, katalog halinde sunan AFAD'a, çalışmanın gerçekleştiği ve NAF sismik ağına ait olan, EKİN istasyonunda toplanan dalga formu verilerini herkese açık olarak paylaşan, uluslararası bir veri merkezi olan IRIS adlı kuruluşa teşekkür ederiz. QOPEN yazılım scriptlerini bizimle paylaşan Tom Eulenfeld'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Aki, K., & Chouet, B. (1975). Origin of coda waves: source, attenuation, and scattering effects. *Journal of geophysical research*, 80(23), 3322-3342.
- Akıncı, A., Taktak, A. G., & Ergintav, S. (1996). Batı Anadolu Bölgesinde Koda Dalgalarının Soğurulması/Attenuation of Coda Waves in Western Anatolia. *Jeofizik Dergisi*, 10(1).
- Eken, T. (2003). An application of the coda methodology for moment-rate spectra using broadband stations in Turkey. *Geophysical Research Letters*, 31(11).
- Eulenfeld, T. and Wegler, U. (2016). Measurement of intrinsic and scattering attenuation of shear waves in two sedimentary basins and comparison to crystalline sites in Germany. *Geophysical Journal International*, 205(2):744--757.
- Margerin, L., Campillo, M., & Tiggelen, B. (1998). Radiative transfer and diffusion of waves in a layered medium: new insight into coda Q. *Geophysical Journal International*, *134*(2), 596-612. http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-246x.1998.tb07142.x
- Mayeda, K., & Walter, W. R. (1996). Moment, energy, stress drop, and source spectra of western United States earthquakes from regional coda envelopes. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 101(B5), 11195-11208.
- Morasca, P., Mayeda, K., Malagnini, L., & Walter, W. R. (2005). Coda-derived source spectra, moment magnitudes and energy-moment

scaling in the western Alps. *Geophysical Journal International*, 160(1), 263-275.

- Sato, H., & Fehler, M. (2009). Seismic Wave Propagation and Scattering in the Heterogeneous Earth. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-89623-4
- Sens-Schönfelder, C., & Wegler, U. (2006). Radiative transfer theory for estimation of the seismic moment. *Geophysical Journal International*, 167(3), 1363-1372.
- Stein, S., ve Wysession, M. (2003). Seismic Waves in a Spherical Earth; Anisotropic Earth Structure."An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure", USA, s. 157-162;177-185.

P Dalgası İlk Hareket Yönleri Kullanılarak İtalya Depremlerinin (2012-2016) Odak Mekanizması Çözümlerinin Analizi

Analysis of Focal Mechanism Solutions of Italy Earthquakes (2012-2016) By Using P- Wave First Motions

Ceyhun Erman, Seda Yolsal-Çevikbilen

(İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul)

ÖZET Bu çalışmada İtalya'da 2012-2016 tarihleri arasında meydana gelen 4 depremin farklı uluslararası moment tensör katalogları (USGS-NEIC, Harvard CMT, INGV, GFZ) tarafından yayınlanan odak mekanizması çözümleri incelenmiştir. Ancak örnek olarak sadece 24 Ağustos 2016 Norcia (M_w: 6.2) depremi çözümü detaylı olarak gösterilmiştir. Düşey bileşen deprem kayıtlarında gözlenen P dalgası ilk varış zamanları IASP91 teorik seyahat zamanı tablosu ile belirlenmiş ve kayıtlar buna göre kesilmiştir. Okunan ilk varış yönleri, yayınlanan odak küreleri üzerine çizdirilerek en iyi uyum sağlayan odak mekanizması çözümü her deprem için belirlenmiştir. İncelenen dört deprem için P dalgası ilk hareket yönleri ile en uyumlu kaynak mekanizması çözümünün, USGS deprem kataloğunun Body-Wave (Cisim dalgası) moment tensör ters çözümü sonucu olduğu gözlemlenmiştir.

ABSTRACT In this project, the focal mechanism solutions of four earthquakes occurred in Italy (2012-2016) reported by different international moment tensor catalogues (USGS-NEIC, Harvard CMT, INGV, GFZ) are examined. As a case study, the focal mechanism solution of 24 August 2016 Norcia (M_w : 6.2) earthquake is given in detail. Theoretical P-wave travel times of vertical component seismograms are calculated using IASP91 travel time table. Besides, seismic wave records are cut according to theoretical arrival times of P-wave. First motion polarities of P-waves are plotted on reported focal mechanism solutions. Best fitted focal mechanism solutions are determined for four earthquakes. It is observed that the source mechanism solutions with the P- wave first motion polarities for those Italy earthquakes. Keywords: earthquake, source mechanism, Italy, P-wave

1 INTRODUCTION

Earth's rigid outer shell that consists of oceanic and continental crust moves over a convective mantle. Relative movements of lithospheric plates create the accumulation of stress. Accumulated stress generates deformation along the plate boundaries. Accordingly, plate boundaries are seismically active regions because of the geodynamic motions of plates relative to each other. The study region, Italy, is known as seismically active region because of the active plate movements around the Italian peninsula (Carminati et.al, 2010). There are two major mountain ranges formed by plate collision, the Alps at the north and the Apennines through the Peninsula (Figure 1). The Apennines is a mountain chain that lies from the Gulf of Taranto in southern Italy to the southern edge of the Po basin in northern Italy. Complex plate motions that cause to form the Apennine mountain range create different tectonic regimes along this mountain chain. Hence, in a large area around the Apennines, there are different types of faulting mechanisms (i.e., normal, reverse and strike slip faults).



1. Red lines represent Figure plate boundaries and red dot are earthquakes with magnitude than 5 since 1966. greater Yellow dots are epicenters of the 2009 earthquake L'Aquila and other three earthquakes analyzed in this study (2016 earthquake series). White star represents the center of the rotation motion of the Adria plate with respect to Eurasia. The relative plate motions according to Eurasia plate is shown by black arrows (Stein et al., 2016).

Seismic waves generated by earthquakes are recorded at seismic stations. Focal mechanism solutions of earthquakes are found by using different moment tensor inversion methods such as regional moment tensor inversion, teleseismic waveform inversion etc. In general, waveform analyses are used to estimate the moment tensor solutions of earthquakes. Source mechanism parameters give important information about the type and geometry of the fault plane.

In this study, focal mechanism solutions of 4 Italy earthquakes reported by different international moment tensor catalogues (i.e., Harvard-CMT, USGS-NEIC, GFZ and INGV) are checked by using the polarities of P- wave first motions recorded by near field The and teleseismic stations. studied earthquakes are 20 May 2012 Northern Italy $(M_w = 6.0)$, 24 August 2016 SE of Norcia in Italy ($M_w = 6.2$), 26 October 2016 NNW of Visso in Italy (Mw = 6.1), 30 October 2016 North of Norcia in Italy ($M_w = 6.1$), (USGS). As a case study, we demonstrate focal mechanism solution of 24 August 2016 Norcia (M_w: 6.2) earthquake in detail Earthquake seismograms are taken from Wilber 3, IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology; http://ds.iris.edu/wilber3/find_event). The best fitting focal mechanism solution is determined for four earthquakes . Thus, fitting of P- wave polarity data and nodal reported focal planes of mechanism solutions are discussed.

2 FOCAL MECHANISM SOLUTIONS

A focal mechanism solution is a result of the study of waveforms that are generated by an earthquake and recorded by a number of seismic stations. Seismic waves include fundamental information about the focal mechanism of earthquakes. These waves that carry the earthquake characteristics are recorded by seismographs at the surface. Body waves and surface waves are used in different focal mechanism solution methods. Moment tensor elements of an earthquake estimated by analysis of seismic are waveforms and they are used to derive the focal mechanisms. This process is called moment tensor inversion. However, the simplest method used to find the focal mechanism solution is the method of the first motion of P-waveforms. When the P- waves arrives to the station from the underground, it is recorded as upward or downward first motion polarities with vertical component of the seismometer depending on fault Focal mechanism solutions of geometry. four Italy earthquake (2012-2016) that are reported by different international moment catalogues tensor (i.e., Harvard-CMT. USGS-NEIC, GFZ, and INGV) are checked in this study by analyzing the P-wave first motion polarities.

2.1 Determination of Focal Mechanisms by Using P-Wave Polarity

First, vertical component seismograms are cut according to the theoretical arrival times of P waveforms, and then first motion polarities of P waves are noted as up (u) or down (d). The P- wave polarity readings are plotted on the focal spheres indicating focal mechanism solutions of earthquakes reported by different international moment tensor catalogues for each earthquake. If the polarity of the station is up, it locates in compressional quadrant of the focal sphere. If the first motion of P wave is down on seismogram, that station locates in tensional quadrant of the focal sphere (Udias, 1999). Furthermore, if it locates on nodal planes, it will not give apparent first P wave arrival signal. After determination of the polarities of each station as up or down, it is necessary to state where the stations are locate on the focal mechanism. Any P- wave ray-path leaving the source can be identified by two parameters; the azimuth from the source and take off angle (Lay and Wallace, 1995). For determination of the location of station on the focal mechanism, azimuth and take off angle of the station are needed to be known (Figure 2). P wave travels along a curve raypath from the source to station in Earth because of the velocity structure of layers. The leaving angle of P wave from the source is called as a take-off angle. The azimuth of the station is the angle between north and the station. Take off angle changes depending on the distance between epicenter of event and station, Δ , and earthquake's focal depth. If the distance between epicenter and station increases, take off angle decreases and vice versa.



Figure 2. Representation of azimuth (ϕ) and the take-off angle (ih). (a) The focal sphere near the source. (b) The raypath of seismic wave travels inside Earth (Lay and Wallace, 1995).

3 RESULTS

In this study, different focal mechanism solutions reported by different seismological institutions for four earthquakes in Italy are studied. Three of them occurred in Central Apennine and other earthquake occurred in Northern Apennine. Three earthquakes (i.e. 24August 2016, 26 October 2016 and 30 October 2016) occurred at central Italy are result of normal faulting; one earthquake happened due to the reverse faulting (Figure 3). Here, P- wave first motion polarities of the 24 August 2016 SE of Norcia earthquake (M_w: 6.2) are given in detail for comparison of different focal mechanism solutions reported by USGS, Harvard-CMT, GFZ and INGV moment tensor catalogues.

3.1 24August 2016, SE of Norcia, Italy Earthquake (M_w: 6.2)

On August 24, 2016, at 01:36 UTC a M 6.2 earthquake happened the at Central Apennines between the towns of Norcia and Amatrice. The epicenter was located near the town of Accumoli (Bignami et. al, 2016). Shallow normal faulting on a NW -SE oriented fault in the Central Apennines caused August 24, 2016 southeast of Norcia earthquake (USGS). Epicentral location of this earthquake is 42.723°N 13.188°E. 27 near field and 118 teleseismic station records are read and noted as up (u) or down (d) for this earthquake (Figure 4).



Figure 3. Epicentral locations of four Italy earthquakes studied. Focal mechanism solutions are reported by USGS Body-Wave moment tensor inversion catalogue (USGS-NEIC).

Focal mechanism solutions of August 24, 2016 earthquake are reported by USGS W-Phase, USGS RMT, USGS Body-Wave, GFZ Geofon Standard, INGV Time Domain and Harvard CMT moment tensor catalogues. P-wave first motions are plotted on these focal mechanism solutions (see Figure 4).



Figure 4. The P-wave first motion polarities of 24 August 2016 southeast of Norcia, Italy earthquake recorded by 145 near field and teleseismic stations. Solid circles indicate up motions and open circles indicate down motions. Shaded and empty squares show compressional and tensional axis, respectively.

It is seen that reported focal mechanism solutions are quite similar (Figure 4). Moreover, P-wave first motion polarity readings have an important roles on determining the difference between focal mechanism solutions. It is also observed that the best fitted focal mechanism solution in six different solutions is reported by USGS Body-Wave moment tensor inversion for this earthquake since the P- wave first motion polarities are consistent with the nodal planes (Figure 5).



Figure 5. P- wave first motions recorded by 145 near field and teleseismic stations. Focal mechanism solution is reported by USGS Body-Wave Inversion. Δ is the epicentral distance. The selected P waveforms are close to nodal planes.

4 CONCLUSION

Relative plate motions surrounding the Italian peninsula creates different tectonic stress regimes along the Italy. The mountain range Apennines that runs from the Gulf of Taranto in the south to the southern edge of the Po basin in northern Italy includes both extensional and compressional areas.

In this study, distribution of P- wave first motion polarities of 24 August 2016 Southern of Norcia (Italy) earthquake is given. P-wave first motions are used to determine the best fitted focal mechanism solution among the reported six different focal mechanism solutions. In general, it is observed that the focal mechanism solutions reported by USGS using Body-Wave moment tensor inversion is the best fitted solution with P-wave polarity readings for four Italy earthquakes studied.

ACKNOWLEDGMENTS

I would like to thank to USGS (United States Geological Survey), Harvard Global CMT, INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia)and GFZ (Geo Forschungs Zentrum) moment tensor catalogues for focal mechanism solutions and IRIS Wilber 3 for earthquake records.

REFERENCES

- Bignami, C., Tolomei, C., Pezzo, G., Guglielmino, F., Atzori, S., Trasatti, E., Antoniolli, A., Stramondo, S., Salvi, S., (2016). Source identification for situational awareness of the August 24th 2016 Central Italy event. Annals of Geophysics, 59.
- Carminati, E., Lustrino, M., Cuffaro, M., Doglioni, C., (2010). Tectonics, magmatism and geodynamics of Italy: What we know and. Journal of the Virtual Explorer.
- GFZ, German Research Center for Geosciences, http://www.gfz-potsdam.de/
- Harvard-CMT, Harvard University Centroid Moment Tensor Solution <u>http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html</u>.
- INGV, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, <u>http://www.ingv.it/en/</u>
- Lay, T., Wallace, T.C., 1995. Modern Global Seismology. Academic Press.
- Stein, S., Peresan, A., Brooks, E., 2016. Italy's chain of earthquakes poses a forecasting challenge. Physics today.
- Udias, A., 1999. Principles of Seismology. Cambridge University Press.
- USGS-RMT, "United States Geological Survey Regional Moment Tensor Solution", <u>http://earthquake.usgs.gov</u>.
- USGS-W Phase, "United States Geological Survey W Phase Moment Tensor Solution", <u>http://earthquake.usgs.gov</u>.
- USGS-Bodywave, United States Geological Survey Body-Wave Moment Tensor Solution, <u>http://earthquake.usgs.gov</u>

1967-2013 Yılları Arasında Kuzeybatı Ege Bölgesinde Gerçekleşen Depremlerin (Mw \geq 5.7) Coulomb Stress Değişimleri *Coulomb Stress Changes of Earthquakes (Mw* \geq 5.7) occurred in NW Aegean during the years 1967 to 2013

Derya Keleş, Seda Yolsal-Çevikbilen

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu çalışmada kuzeybatı Ege bölgesinde (38°-41°K ve 24°-28°D) 1967- 2013 tarihleri arasında meydana gelen 8 adet depreme ait (Mw > 5.7) Coulomb gerilme değişimleri, düşey yer değiştirme ve yamulma dağılımı modelleri elde edilmiştir. Modellemelerde, öncelikle depremlere ait odak mekanizması çözümleri mevcut yayınlar kullanılarak listelenmiştir. Ayrıca bu depremler nedeniyle meydana gelen deformasyon miktarları altı farklı yönde incelenmiştir. Bu yönlerden üç tanesi normal deformasyon bileşenlerinden (SXX, SYY, SZZ) oluşmaktadır. Diğer üç tanesi ise kesme deformasyonuna (SXY, SXZ, SYZ) aittir. Sonuç olarak, bu depremlerin birbirlerini nasıl etkilediklerini ve nasıl tetiklediklerini görmek amacıyla Coulomb gerilme dağılım modelleri oluşturulmuştur. Bu modeller her bir depremin sırasıyla birbiri üzerine eklenmesiyle elde edilmiştir. Coulomb gerilme değişimleri eklenen son depremin odak mekanizması kullanılarak hesaplanmıştır. Kuzeybatı Ege bölgesi içerisinde, depremler sonrasında gerilmelerin birikim gösterdiği yerlerde başka depremlerin gerçekleştiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Columb gerilme değişimi, deprem, KB Ege Bölgesi, düşey yerdeğiştirme

ABSTRACT In this study, the Coulomb stress changes, vertical displacement and strain distribution models of 8 earthquakes (Mw > 5.7) occurred in northwest Aegean region ($38^{\circ}-41^{\circ}N$ and $24^{\circ}-28^{\circ}$ E) between 1967 and 2013 are determined. Before the modelling, focal mechanism solutions of these earthquakes reported by available articles are listed. In addition, the vertical displacement of surface caused by these earthquakes, and strain distributions in 6 different directions which three of them are normal strain (SXX, SYY, SZZ), and the rests are shear strain components (SXY, SXZ, SYZ) are modeled. The Coulomb stress transfer models are obtained in order to observe how the earthquakes affect each other. For obtaining those models, earthquakes are added on each other respectively, and the calculations are completed by using the focal mechanism parameters of last earthquake. As a result, it is observed that earthquakes occur where stress accumulate in stress distribution models.

Keywords: Coulomb stress changes, earthquake, NW Aegean, vertical displacement

1 INTRODUCTION

The aim of this study is to demonstrate the Coulomb stress distributions in Northwest Aegean region and Western Turkey by using 8 earthquakes that moment magnitudes are bigger than 5.7. The Coulomb failure criterion is used for modeling of the earthquakes.

The Aegean region and western Turkey are known as tectonically complex regions because of heterogeneous geology, crustal properties, different deformation styles and fault mechanisms (Taymaz et al., 1990, 1991; Yolsal-Cevikbilen et al., 2014). Active tectonics of this region is governed by relative movements of African, Arabian and Eurasian plates. Because of the movements of those plates, the Anatolian plate moves westward direction with a counter-clockwise rotation. It also results in an extension in western Turkey which is controlled by the westward extrusion of the Anatolian Plate North Anatolian along the and East Anatolian Fault Zones. The Anatolian plate is compressed by the action of the North Anatolian fault zone (NAF), and the plate goes to western part. This movement is also governed by subduction zones in Eastern Mediterranean such as Hellenic and Cyprus subduction zones.



Figure 1. Tectonic map of Turkey. This tectonic map is taken from Taymaz et al., (2007). BMG: Büyük Menderes Graben, DSF: Dead Sea Transform Fault EAF: East Anatolian Fault, EPF: Ezinepazari Fault, Ge: Gediz, NAF: North Anatolian Fault, NEAF: Northeast Anatolian Fault, PTF: Paphos Transform Fault, Si: Simav, SuF: Sultandağı Fault, TGF: Tuz Gölü Fault.

Along the Hellenic subduction zone, the Mediterranean lithosphere goes under the Aegean plate (Taymaz et al., 1991). The final reason is collision of two continents which are between northwest Greece-Albania and Apulia-Adriatic platform in the west of Aegean plate (Figure 1; McKenzie 1972; Şengör et al. 1985; Taymaz et al., 1990, 1991, 2004, 2007; McClusky et al., 2000; Yolsal-Çevikbilen and Taymaz, 2012; Fichtner et al., 2013a,b; Fielding et al., 2013; Saltogianni et al., 2015).

As a result, these mechanisms affect the active tectonism of the Aegean region, and they cause to be more complex kinematics in this region.

2 METHODOLOGY

2.1 Coulomb Failure Function

The static stress changes along the fault is determined using the Coulomb failure criterion. The Coulomb failure criterion is the most commonly used technique to detect fractures in rocks. It is also used in large scale researches (such as earthquake studies) to determine faulting conditions. The effects of normal and shear stress on faults are analyzed. The Coulomb failure criterion is basically based on the behavior of these normal and shear stresses (see Eq.1; King et al., 1994; King, 2007). To calculate the Coulomb failure, the following general equation is used

$$CFF = C_f = \tau_{\beta} + \mu(\sigma_{\beta} + p) \tag{1}$$

where τ_{β} and σ_{β} are normal stress and shear stress on the failure plane, respectively, p is pressure of the pore fluid, and μ is friction coefficient (see Figure 2).



Figure 2. The axis system for Coulomb stress calculation on failure plane (King et al., 1994).

In calculation of the Coulomb stress variations, the effective coefficient of friction is used. It is indicated by the following equation,

$$\mu' = \mu(1-B) \tag{2}$$

where B is Skemptons coefficient, μ is coefficient of friction, and μ' is effective coefficient friction. And then, the new equation is as

 $C_{\rm f} = \tau_{\beta} + \mu'(\sigma_{\beta}) \tag{3}$

3 RESULTS

In this study, the Coulomb failure criterion is used and the earthquakes (see Table 1; Figure 3) are modelled by using the Coulomb stress equations.



Figure 3. Focal mechanism solutions of NW Aegean earthquakes used in this study (see Table 1).

In Coulomb stress changes modelling for earthquakes, the fault geometry (strike, dip, and rake angle of fault planes), moment magnitude of earthquakes, centroid depth of earthquake, and location of earthquake in degree are used. These parameters are different for each specific earthquake, but the coefficient friction changes with respect to fault mechanism. The range is between 0.0 and 0.8 for effective coefficient of friction. It varies depends on the rock types and fault mechanism, but in general, this value is used as 0.4 (King et al., 1994). Different $\underline{\mu}'$ values have been applied on earthquakes but there is no observed dramatically changes in the obtained models. μ' is used as 0.4 in this study. It is known that Coulomb stress distribution models show the variations in stress in an area because of earthquakes. The stress distribution model is produced to see how earthquakes affect each other and triggered them in the study area. In stress distribution transfer models (Figure 4), all earthquakes are taken into account, and the Coulomb stress changes are calculated by adding earthquake one to another; and by using source parameters (strike, dip, rake angles and centroid depth) of adding last earthquakes (Paradisopoulou et al., 2010).

The Coulomb stress distributions of earthquakes occurred along the southern branch of NAF and in Western Turkey during the years of 1967 to 2013 are given in Figure 4. It is seen that earthquakes can trigger and affect each other. For example, after the 1967 earthquake, two different red regions are observed on the fault. This model indicates that the next earthquakes may be in occurred these red regions. This assumption is verified by the 1968 earthquake (see Figure 4b).

After the 2013 earthquake, it is observed that there are strong stress accumulations (nearly in +1 bar) even in small areas. One of these stress accumulation is observed along the fault that December 27, 1981 earthquake occurred in Southern Skyros Basin. In addition, the other stress accumulation is observed at both ends on the fault where the 2001 earthquake occurred. This fault locates near the Skyros Island, and the accumulation of stress on the southeastern side of this fault is associated with stress accumulation on fault of the southwest of Skyros basin (27 December 1981 earthquake; see Figure 4h). Another stress accumulation extends to western Turkey. These accumulations are on the faults that 19 December 1968 earthquake, 1981 earthquake, and 2013 earthquakes occurred. The accumulation of stress in this area Ayvacık-Çanakkale extends where to earthquakes occurred in February 2017.

Table 1. Source parameters of earthquakes ($M_w \ge 5.7$) in NW of the Aegean Sea. The last column indicates the references for earthquakes that 1, Taymaz et al. (1991); 2, Benetatos et al. (2002); 3, Yolsal-Cevikbilen & Taymaz, (2013).

No	Date	Origin Time	Loc	ation	m _b	Ms	M _O x10 ¹⁶ (Nm)	Mw	Depth (km)	Strike(°)	Dip(°)	Rake(°)	Ref.
			Lat.	Long.	-								
1	04.03.1967	17:58:09.0	39.25	24.60	6.0	6.5	243	6.2	10±2	313	43	-56	1
2	19.02.1968	22:45:42.4	39.40	24.94	6.0	7.2	3450	7.0	15±3	221	70	-180	1
3	03.03.1969	00:59:10.5	40.08	27.50	5.6	6.0	50	5.7	5-1/+2	268	53	107	1
4	19.12.1981	14:10:51.5	39.22	25.25	6.0	7.2	2600	6.9	10±3	60±5	79±5	175±3	1
5	27.12.1981	17:39:13.3	38.91	24.92	5.4	6.4	382	6.3	6±1	216±8	79±5	175±5	1
6	05.07.1983	12:01:27.4	40.33	27.33	5.5	5.8	165	6.1	15	254	49	-173	1
7	27.07.2001	00:21:36.9	38.99	24.38	-	-	-	6.5	12	151	83	7	2
8	08.01.2013	14:16:08.9	39.66	25.55	-	-	52.7	5.8	12	58	80	-170	3



Figure 4. Stress accumulation and stress transfer of earthquakes are given in Table 1. Stress distribution is calculated for the source parameters of the next earthquake. The color scale shows the stress changes in bar. The moment magnitude of earthquakes is calculated with using Empirical relation between moment magnitude and seismic moment. (M_w) = 2/3log (Mo) - 6.06

However, this data is not sufficient to explain the kinematics of Avvacık-Canakkale earthquakes, but it can be said that earthquakes may occur in regions close to western Turkey because of the stress triggered accumulations bv those earthquakes. Another stress accumulation is also observed in the field of Yenice-Gönen and Biga earthquakes (Figure 4h). As a result, it can be suggested that earthquakes can trigger one to another according to the stress distribution model indicating the Coulomb stress changes, and the earthquakes that occur in the region may affect even if the distant faults in this study area.

ACKNOWLEDGMENTS

The study is done in the MATLAB with using Coulomb 3.3.01 program downloaded from USGS-NEIC(<u>https://earthquake.usgs.</u> <u>gov/research/software/#Coulomb</u>). And the coastline information is obtained from Coastlines Extractor from GEODAS-NG Smart Start program.

REFERENCES

- Benetatos, C., Roumelioti, Z., Kiratzi, A., and Melis, N. (2002). Source parameters of the M 6.5 Skyros Island (North Aegean Sea) earthquake of July 26, 2001. Annals of Geophysics. 45, ³/₄, 513-526.
- Fielding, E. J., P. R. Lundgren, T. Taymaz, S. Yolsal-Çevikbilen, and S. E. Owen (2013). Fault –slip source models for the 2011 M 7.1 Van Earthquake in Turkey from SAR Interferometry, Pixel, Offset, Tracking, GPS and Seismic Waveform Analysis. Seismol. Res. Lett., 84(4), 579–593. doi:10.1785/0220120164
- King, G. C. P., Stein, R. S., and Lin, J. (1994). Static Stress Changes and Triggered of Earthquakes. Bull. Seismol. Soc. Am.
- King, G. C. P, 2007. Fault Interaction, Earthquake Stress Changes, and the Evolution of Seismicity in G. Schubert, and H. Kanamori (Eds.), *Volume* 4: Earthquake Seismology (pp.225-253). Elsevier.

- McKenzie, D.,1972. Active tectonics in the Mediterranean region. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society 30, 109–185.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A. Et Al. 2000. Global positioning system constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. Journal of Geophysical Research, 105, 5695–5719.
- Saltogianni, V., Gianniou, M., Taymaz, T., Yolsal-Çevikbilen, S., and Stiros, S., 2015. Fault slip source models for the 2014 Mw 6.9 Samothraki-Gökçeada earthquake (North Aegean Trough) combining geodetic and seismological observations, J. Geophys. Res. Solid Earth, 120, 8610–8622, doi:10.1002/2015JB012052.
- Taymaz, T., Jackson, J. A., Westaway, R., 1990. Earthquake Mechanisms in the Hellenic Trench near Crete, *Geophys. J. Int.*, 102, 695-731.
- Taymaz, T., Jackson, J. and McKenzie, D. 1991. Active Tectonics of the North and Central Aegean Sea. *Geophysical Journal International*, 106, pp. 433-490. 70
- Taymaz, T., Westaway, R. & Reilinger, R. (Eds.)
 2004. Active Faulting and Crustal Deformation in the Eastern Mediterranean Region. Tectonophysics, 391, 1–374.
- Taymaz T., Yılmaz, Y., and Dilek, Y. 2007. The geodynamic of the Aegea and Anatolia: introduction. Geological Society, London, Special Publications, 291, 1-16 doi:10.1144/SP291.1
- Toda, S., Stein, R. S., Sevilgen, V., and Lin, J. 2011.
 Coulomb 3.3 Graphic-Rich Deformation and Stress-Change Software for Earthquake, Tectonic, and Volcano Research and Teaching- User Guide.
 U.S. Geological Survey Open File Report 2011-1060, 1-64. Available at http://pubs.usgs.gov/of /2011/1060/
- Yolsal-Çevikbilen, S., and Taymaz, T. (2012). Earthquake Source Parameters Along the Hellenic Subduction Zone and Numerical Simulations of Historical Tsunamis in the Eastern-Mediterranean. Tectonophysics, 536-537, 61-100. doi:10.1016/j.tecto.2012.02.019.
- Yolsal-Çevikbilen, S., Taymaz, T. and Helvacı, C. (2014). Earthquake Mechanisms in the Gulfs of Gökova, Sığacık, Kuşadası, and the Simav Region (western Turkey): Neotectonics, seismotectonics, and geodynamics implications, Tectonophysics, 635, pp. 100-124. doi:10.1016/j.tecto.2014.05.001

Rayleigh Dalgalarından Zemin Sınıflamasında Kullanılan Vs30 Değerinin Doğrudan Kestirimi Yaklaşımının Sınanması

Testing the Approach of Directly Estimating Vs30 Value Used in Soil Classification from Rayleigh Waves

Duygu Ünlü, H. Argun Kocaoğlu

İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET 30-50 m civarındaki sığ derinlikler için S-dalgası hız yapısının (Vs profili) yüzey dalgası (çoğunlukla Rayleigh) yöntemleri yaygın olarak araştırılmasında, kullanılmaktadır. Vs profillerinden, zemin sınıflamasında kullanılan ve yüzeyden 30 m derinliğe kadar olan S-dalgasının ortalama hızına karşılık gelen Vs30 değeri saptanır. Bu çalışmada, Vs30 değerinin yüzey dalgası yöntemlerinden elde edilen faz hızı dispersiyon verisinden doğrudan (bilinmeyen S-dalgası hız yapısı için ters-çözüm yapmadan) kestirimi yaklaşımı sınanmıştır. Bu yaklaşım sınanırken USGS tarafından California'da 105 noktada kuyu-aşağı (down-hole) sismik yöntemle elde edilen sismik hız modelleri kullanılarak, Rayleigh dalgalarının hangi dalga boyundaki faz hızının gerçek Vs30 değerine yaklaşacağı araştırılmıştır. Dalga boyunun fonksiyonu olarak, 105 noktadaki S-dalgası hız modeli kullanılarak hesaplanan $c(\lambda)$ dispersiyon verilerinden hareketle, 40-50 m dalga boyundaki (c(40) veya c(45)) faz hızı değerlerinin gerçek Vs30 değerlerine yaklaştığı gözlemlenmiştir. Anahtar Kelimeler: S-dalgası, faz hızı, MASW, dispersiyon.

ABSTRACT Surface wave methods (primarily Rayleigh waves) are widely used for the investigation of S-wave velocity structures (Vs profiles) for shallow depths down to 30-50 m The Vs30 which is the average S-wave velocity from the surface to a depth of 30 m, is used in soil classification and is obtained from Vs profiles. In this study, the approach of directly estimating the Vs30 value from phase velocity dispersion curve instead of inversion for the unknown S-wave velocity structure. For this purpose, velocity models obtained by USGS from down-hole seismic surveys conducted at 105 sites in California. We investigate the Rayleigh wave wavelength for which the phase velocity corresponds to true Vs30 value. Phase velocity dispersion data, $c(\lambda)$, obtained as function of wavelength (c(40) and c(45)) approach the true Vs30 values.

Keywords: S-wave, phase velocity, MASW, dispersion.

1 GİRİŞ

Zeminlerin deprem sırasındaki dinamik davranışını (rezonans frekansı ve büyütme faktörü) kontrol eden ana faktör olması bakımından, S-dalgası hız yapısı, mühendislik sismolojisi alanında çok önemli bir yer tutmaktadır. Yüzeyden başlayarak 30 metre derinliğe kadar olan S-dalgasının ortalama hızı, Vs30 değeri, zemin sınıflaması amacıyla kullanılır.

2 S-DALGASI HIZ YAPISININ YÜZEY DALGASI YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

2.1 Yüzey Dalgası Yöntemleri

S-dalga hız yapısının belirlenmesi için aktif kaynaklı sismik kırılma ve/veya kuyu içi

vöntemler kullanılabilir. sismik Fakat kentsel alanlarda genellikle sinyal-gürültü oranının düsük olması veva istenen derinliğe ulaşmak için yeterli açılımın yapılamadığı alanlarda kırılma yöntemi kullanılamamaktadır. Aynı zamanda, sismik kırılma yöntemi ile düşük hız zonlarının saptanması mümkün değildir. Kuyu içi yöntemler ise malivetinden dolavı vüksek tercih edilmeyebilir. Alternatif olarak, son yıllarda, 30-50 m civarlarındaki derinlikler icin Sdalgası hız yapılarının (Vs profillerinin) araştırılmasında yüzey dalgası (çoğunlukla dalgası) yöntemleri kullanıl-Rayleigh Rayleigh maktadır. dalgası faz hızı penetrasyon derinliği dolayısıyla dalga boyuna (ve periyoda) bağlıdır. Dalga hızının periyotla değişimi (dispersiyon özelliği) ölcülerek, sismik hızın derinlikle değisimi saptanabilmektedir (Ünal, 2012).

2.2 Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi Yöntemleri

S-dalgası hız profillerinin elde edilmesinde kullanılan aktif-kaynaklı yüzey dalgalarının çok kanallı analizi (Multi Channel Analysis of Surface Waves, MASW) yöntemin uygulaması üç aşamada gerçekleşmektedir: 1) Verilerin toplanması, 2) Uzaklık ve zamanın fonksiyonu olarak kaydedilen dalga alanının frekans-dalga sayısı dönüşümü ile dispersiyon görüntüsünün elde edilmesi ve 3) Ters çözüm ile S-dalgası hız yapısının elde edilmesidir (Şekil 1).

3 VS30 DEĞERİNİN DOĞRUDAN KESTİRİMİ YAKLAŞIMI

3.1 Yöntem

Rayleigh dalgalarının penetrasyon derinliği yaklaşık olarak bir dalga boyu kadardır. Ancak, Vs hızının bulunabileceği en büyük derinlik dalga boyunun yarısı kadardır (Park ve diğ., 1999). Ayrıca, Rayleigh dalgalarının faz hızı baskın olarak penetrasyon derinliğine kadar olan S-dalgası hız yapısı tarafından denetlenmektedir. Konno ve diğ., (2000) dalga boyunun fonksiyonu olarak elde edilecek faz hızı dispersiyon eğrisi $(c = f(\lambda))$ kullanılarak, dalganın belirli bir dalga boyundaki faz hızı değerinden, Vs30 değerinin kestirilebileceğini göstermiştir. Bu çalışmada, Konno ve diğ., (2000) tarafından önerilen Vs30 değerinin faz hızı dispersiyon verisinden doğrudan (bilinmeyen S-dalgası hız yapısı için ters-çözüm yapmadan) kestirimi yaklaşımı sınanmıştır. Bu amaçla, gerçek hız modelleri kullanılmış, Rayleigh dalgalarının hangi dalga boyundaki faz hızının gerçek Vs30 değerine yaklaşacağı araştırılmıştır.



Şekil 1. MASW yönteminin uygulama aşamaları: verilerin toplanması, dalga alanından dispersiyon analizinin yapılması ve S-dalgası hız yapısının elde edilmesi (Taipodia ve dig., 2014).

3.2 Kullanılan Veriler

USGS, uzun yıllardır California'da depremler sırasında kuvvetli yer hareketinin gözlemlendiği birçok noktada sismik hız ve litoloji verileri toplamaktadır. Bu çalışmada kullanılan sismik hız modelleri Boore (2003) tarafından derlenmiş olan kuyu-aşağı sismik hız ölçümlerinden elde edilmiştir. Bu çalışmada, toplam 277 hız modelinden, derinliğin 30 m'den daha fazla olduğu 105 hız modeli seçilmiştir.

3.3 Rayleigh Dalgası Faz Hızı Dispersiyon Verilerinin Elde Edilmesi

Kuyu-aşağı sismik yöntemle elde edilen 1-B zemin profilleri (hız modelleri) için teorik Rayleigh dalgası faz hızı dispersiyon verilerinin hesaplanmasında, GEOPSY (http://www.geopsy.org) adlı yazılımın bir alt bir modülü olan GPDC modülü kullanılmıştır.

3.4 Gerçek Vs30 Değerine karşılık gelen c(λ) Değerinin Araştırılması

Tüm istasyonlar için dalga boyuna karşılık, $c(\lambda)$ faz hızı dispersiyon eğrileri çizdirilmiştir. Örnek olarak, zemin sınıfının sırasıyla E, D ve C olduğu 3 istasyon (AP1, CCG ve CRD) için elde edilen eğriler Şekil (2)'de gösterilmiştir.



Şekil 2. E, D ve C sınıfı zemine sahip AP1, CCG ve CRD istasyonları için Rayleigh dalgası dalga boyu faz hızı eğrileri. $\lambda = 10$, 15, 20, ...,60 m dalga boylarındaki faz hızları noktalarla gösterilmiştir.

Şekil3.a-e verilen, toplam 105 istasyon için elde edilen $c(\lambda)$ ya karşılık Vs30 dağılımı incelendiğinde, c(40) ve c(45) değerlerinin gerçek Vs30 değerlerine çok yakın çıktığı gözlemlenmektedir. Uyumun sayısal ölçümü olarak, referans doğrudan olan farklar (rezidüeller) kullanılarak RMS ve ortalama yüzde hatalar (MPE) hesaplanmıştır. C(40) için RMS=26.3 ve MPE=5.7, c(45) için ise RMS=23.6 ve MPE=5.2 olarak bulunmuştur. Bu iki durum için hatalar birbirine çok yakındır. Sonuç olarak, zemine ait ilk 30 m derinlik için ortalama S-dalgası hızı Vs30 bulunmak istendiğinde, Rayleigh dalgasının dalga boyunun 40 veya 45 m olduğu durumların dikkate alınması gerektiği anlaşılmaktadır.

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, Vs30 değerinin yüzey dalgası yöntemlerinin (bilinmeyen S-dalgası hız yapısı için ters-çözüm yapmadan) doğrudan kestirimi yaklaşımı sınanmıştır. Bu hız modelleri kullanılarak, Rayleigh dalgalarının hangi dalga boyundaki faz hızının gerçek Vs30 değerine yaklaşacağı araştırılmıştır. c(40) ve c(45) değerlerinin gerçek Vs30 değerlerine çok yakın çıktığı gözlemlenmektedir. Vs30 değerinin 40 veya 45 m dalga boyuna sahip Rayleigh dalgaların faz hızı ölçümlerinden doğrudan kestirilmesi yaklaşımının güvenilir sonuçlar vereceği saptanmıştır.

KAYNAKLAR

- Boore, D.M., 2003. A compendium of P- and Swave velocities from surface-to-borehole logging—Summary and reanalysis of previously published data and analysis of unpublished data: U.S. Geological Survey Open-File Report No. 03–191. URL:<u>http://pubs.usgs.gov/of/2003/0191/</u>.
- Konno, K., ve Kataoka, S., 2000. "New method for estimating the average s-wave velocity of the ground", *Proceedings of the 6th International Conference on Seismic Zonation*, Palm Springs, California.
- Park, C.B., Miller, R.D., ve Xia, J.1999. "Multichannel analysis of surface waves", *Geophysics*, Cilt. 64, s. 800-808.
- Taipodia, J., Prakash Babu, K., Kiran, B. ve Dey, A., 2014. "Subsurface Characterization using Preliminary MASW: Experimentation and Analysis", International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET), Special Issue on National Conference on Recent Advances in Civil Engineering: NCRACE-2013, India, Cilt. 4, No.3, s. 129-138.
- Ünal, G., 2012. "Rayleigh dalgası H/V oranı ve faz hızı dispersiyon verilerinin birlikte ters çözümü ile S-dalgası hız profillerinin elde edilmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 1-3.



Şekil 3. $c(\lambda)$ 'ya karşılık Vs30 değerlerinin dağılımı. Vs30 = $c(\lambda)$ referans doğrusu kırmızı çizgi ile gösterilmiştir. Rezidüellere ilişkin RMS ve MPE (ortalama yüzde hata) değerleri sol üstte belirtilmiştir.

Tuz Kubbelerinde Düz Çözümle Sismik Modelleme Forward Seismic Modeling of Salt Dome Structures

Esra Gönül, Hülya Kurt, Nigar Gözde Okut Toksoy İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu çalışmada bir tuz kubbesinin geometrik yapısı ve sismik hızının yansıma verileri üzerindeki etkileri, ışın izleme yaklaşımı ile oluşturulmuş sentetik sismik kesitler üzerinde araştırılmıştır. Bu amaçla, kubbe yapısının sismik hız, kalınlık, kanat eğimi ve derinlik gibi değerleri değiştirilerek bu parametrelerin sismik yığma kesitlerindeki etkileri incelenmiştir. Yüksek P-dalga hızına sahip tuz kubbesinin altında bulunan yatay ara yüzeye ait yansıma, sismik zaman kesitinde yukarı doğru büklüm yaparak hız çekmesi oluşturmuş ve tuz kubbesini olduğundan daha ince göstermiştir. Ayrıca kubbe kanatlarının eğim değişiminin modellenmesinde, düşük ve yüksek eğimli kubbe kanat yapılarının sismik cevabının aynı oranlarda değişmediği gözlenmiştir. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, İTÜ-Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde lisanslı olarak bulunan "Disco / Focus (v.5.0)" sismik veri işlem programı kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sismik hız çekmesi - hız itmesi, Tuz Kubbesi, Düz çözüm

ABSTRACT In this study, the geometrical structure of a salt dome and the effects of the seismic velocity on the reflection data are investigated by using synthetic seismic sections created by ray tracing method. For this purpose, the values of the dome structure such as seismic velocity, thickness, dipping angle of limb and depth were changed and the effects of these parameters on the seismic stack sections were investigated. The reflection at the horizontal interface under the salt domes with a high P-wave velocity created a seismic pull-up by bending upward at the time cross-section and caused the salt dome to look thinner than it had layer thickness. In addition, the slope of the dome limb is modeled at various angles in seismic sections. The seismic response of low and high sloping dome wing structures did not change at the same rate when the gradient change of the dome limb is modelled. The seismic models produced within the scope of the thesis were created by using the "Disco / Focus (v.5.0)" seismic data processing program licensed from Istanbul Technical University Mining Faculty, Geophysical Engineering Department.

Keywords: Seismic Velocity Push-up, push-down, Salt Dome, Forward Modelling

1 GİRİŞ

Sismik modelleme yaklaşımı sismik yansıma verisinin detaylı bir şekilde yorumlanması için önemlidir.

Bu çalışmanın amacı, derinlik kesitleri ile zaman kesitleri arasındaki farkların gözlemlenerek tuz kubbesi problemlerinde bir çözüme varılmasıdır. Bu doğrultuda sismik modelleme yapılarak antiklinal tabakalanma ve tuz kubbe modellerinin sismik yansıma kesitleri elde edilmiştir. Hız/derinlik modelleri tanımlanmış ve sentetik sismik kesitler seçilmiş modellere göre oluşturulmuştur.

Tez kapsamında üretilen sismik modeller İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde lisanslı olarak bulunan "Disco / Focus (v.5.0)" sismik veri işlem programı kullanılarak oluşturulmuştur.

Bu çalışma Ocak 2017-Haziran 2017 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir.

2 TUZ KUBBESİ YAPISI VE ÖZELLİKLERİ

Tuz kubbeleri (domu) yukarı doğru üzerinde bulunan cökellerin içine giren tuz tümseği ya da tuz kolonlarıdır. Tuz bir evaporittir ve evaporit tabakalarının sismik görüntülenproblemlerle karsılasılabilir. mesinde tuz yapısı Derinlik modeli icin bir oluşturulduğunda, genellikle evaporit gövdesinin 4500 m/s P-dalga hızı olan saf halit olduğu varsayılır.

Kubbe yapısına sahip olan tek yapı tuzlar değildir. Seyl kayacı ve magmatik girisimlerde kubbe yapısına sahiptirler. yansıma kesitlerinde Sismik magmatik girişimler kesitlerde yansıma vermezken, şeyl ve tuz kubbeleri çevre kayaçlara göre oldukları farklı sahip Р dalgası hız değerlerine göre yansımada ters özellik göstermesi ile birbirlerinden ayrılırlar.

2.1 Tuz Yapılarının Özellikleri

Tuz ve diğer evaporit malzeme, jeolojik deformasyonda özel rol oynayan tortul kayaçlardır. Diğer kayaçlara kıyasla, daha düşük ve derinlikten bağımsız yoğunluk değerlerine, düşük eşdeğer viskoziteye sahiptirler.

2.1.1 Tuz kubbelerinin iç ve dış yapıları

Genel olarak, tuz kubbeleri tek bir kütle olarak hareket etmezler. Tuzun içyapısı, orta seviyelerde, dikey eksenlere ve eksenel düzlemlere sahip foliyasyonlu çok sıkı kıvrımlarca baskındır.

Tuz kubbesinin içyapısının karmaşık olması sismik yansıma kesitlerindeki görüntüsünü de karmaşıklaştırır ve görüntü vermesini engeller.

Kubbe şeklinde yukarıya doğru çıkan tuz yukarıdaki çökelleri delmektedir. Tuz tarafından kesilen çökeller, tuz diyapirinin kenarları boyunca sınırda sürüklenerek yukarı doğru bükülürler.

2.2 Tuz Kubbelerinin Sismik Görüntülenmesiyle İlgili Sorunlar ve Tuzaklar

Tuz kubbeleri sismik çalışmalarda geometrisi ve fiziksel özelliklerinden dolayı veri toplama/işleme ve yorumlama aşamalarında sismik yansıma kesitlerinde sorunlar ve sismik tuzaklar oluşturur.

Tuz gövdesinin geometrisi, hedef araştırma alanında zayıf aydınlatılmış bir bölgeye neden olur. Tuz kubbesinin çevre kayaçlardan daha hızlı bir yer altı tabaka yapısı olması, sismik yansıma kesitlerinde kubbenin temelinde hız çekmesi (pull-up) olarak adlandırılan olgunun gözlemlenmesine neden olur.

3 SİSMİK MODELLEME

3.1 Sismik Modelleme İlkeleri

Sismik düz çözüm verilen jeolojik modelin sismik cevabının kavranmasıdır. Sismik modellemenin iki ana aşaması vardır. Bunlar; jeolojik model oluşturma ve bu modelin sismik tepkimesinin sayısal olarak hesaplanmasıdır.

Bu çalışmanın temel amacı düz çözüm yaklaşımı ile jeolojik modelde sismik dalga yayılımını, yer altı ara yüzeyinde sismik dalga iletiminde ve yansımasında oluşan karmaşıklığın kaynağını gözlemlemektir.

3.2 Işın Yolu Temel Prensipleri

3.2.1 Sismik ışın yolu ve yörüngeleri

Herhangi bir enerji kaynağından gelen sismik dalgalar, suyun içine atılmış bir taşla oluşan dalgalar gibi genişleyen daireler şeklinde yayılır. Bu dalgalar, yeryüzündeki üç boyutlu ortamda küresel olarak yayılırlar. Bu küreyi oluşturan yüzeylere dalga cephesi denir. Işın yolu, dalga cephesinin normalidir ve dalga cephesinin yolunu gösterir (Fagin, 1992).

Işınlar sabit hız ortamında kırılmazlar ve sismik hızla belirlenen ara yüzeylerden geçerken Snell Yasasına uygun hareket ederler. Işın, farklı akustik empedanslara sahip yer altı tabakalarını ayıran ara yüzeye ulaştığında, ara yüzeye geldiği aynı açı ile yansır.

3.3 Işın İzleme Yöntemleri

Bu yöntemde, kaynak ve alıcı aynı noktada yer almaktadır. Yöntem üç yolla gerçekleştirilir: İlk yol CMP (Ortak Orta Nokta) grup ışını izleme, ikincisi VSP (Dikey Sismik Profil) grubunun ışın izlemesi, üçüncü yol ise atış grubu ışın izlemesidir.

4 OLUŞTURULAN SİSMİK MODELLER

Bu bölümde, tuz kubbesi yapılarının derinlik ve sismik hız modeli dikkate alınarak düz çözüm yöntemiyle sismik cevabının elde edilmesi amaçlanmıştır.

Elde edilecek yansıma kesitleri Disco/Focus (v.5.0) sismik veri işlem paketindeki ilgili modüller kullanılarak oluşturulmuştur.

4.1 Sismik Model Yapımı

4.1.1 Kullanılan modüller

Sismik modellemede Disco/Focus (v.5.0) sismik veri işlem programı kullanılmıştır. Yeraltı sismik hız modeli bu program altında çalışan "Velmod" modülü kullanılarak oluşturulmuştur. Bir Velmod hız modeli yeraltı tabakalarının hız ve hız gradiyanları tarafından belirlenir. "Modray" modülü ile de ışın izleme yöntemi gerçekleştirilerek sentetik sismik yansıma kesitleri elde edilmiştir. Modray modülü normal, saçılma ve imaj ışın izleme olmak üzere üç ayrı ışın izleme seçeneği sunar.

4.2 Sismik Tuzaklar

Sismik zaman kesitleri ile derinlik modeli her zaman uyumluluk göstermez. Derinlik kesitinde var olan jeolojik yapı kendi esas yapısından çok uzak yansımalar verebilmektedir. Bu yansımalara sismik yorumlamada sismik tuzaklar (seismic pitfalls) denilmektedir.

4.2.1 Sismik yığma/göç kesitlerinde hız çekmesi ve hız itmesi

Jeolojik yapının sismik yansıma kesitinde var olan yer altı tabaka kalınlığından daha ince veya daha kalınmış gibi yansıma vermesi tabaka içindeki karmasık yapıların sonucu olarak oluşabilir veya tabakanın P dalgası hızına bağlı olarak oluşur. Zaman ortamındaki sismik göc kesitlerinde, üst tabakanın hızındaki değişiklikler nedeniyle daha alttaki tabaka ara-yüzeylerinde bozucu değişikliklere yol açabilmektedir. Daha yüksek hız anomalileri veren yapıların altında yer alan tabakanın ara yüzeyinde sismik kesitte hız cekmesine (velocity pullup) neden olurken, daha düsük hız anomalileri veren yapılar sismik kesitte hız itmesine (velocity push-down) neden olur.

4.3 Antiklinal Modeller

Tuz kubbesi altında meydana gelen hız çekmesini anlayabilmek için basit bir antiklinal modeline ait 3 katmanlı yeraltı hızderinlik modeli oluşturulmuştur (Çizelge 1 ve Sekil 1a). Cizelge 1'de Kat1, Kat2 ve Kat3 olarak verilen üc katmandan ilk ve sonuncusunun (Kat1 ve Kat3) P-dalga hızları sabit tutulmus, her model icin ikinci katmanın (Kat2) hız değerleri değiştirilmiş ilişkili sismik kesitler üzerinden ve K1'den K8'e (Cizelgede kadar numaralandırılmıştır) hız çekmeşi miktarları okunmuştur.



Şekil 1a. Yeraltı derinlik-hız modeli.



Şekil 1b. Yeraltı derinlik-hız modeline ait sentetik sismik yığma kesiti

Çizelge 1. Katmanlara ait V_p değerleri ve Katman2/Katman3 ara yüzeyinin hız çekmesi değerleri.

	Kat1-	Kat2-	Kat3-	HızÇM			
	V	V	V	-			
K1	800	1300	3000	204			
K2	800	1500	3000	242			
K3	800	1700	3000	263			
K4	800	1900	3000	290			
K5	800	2100	3000	312			
K6	800	2300	3000	328			
K7	800	2500	3000	339			
K8	800	2600	3000	344			
K1:Ke	K1:Kesit1, K2:Kesit2, K3:Kesit3,						
K4:Ke	sit4,	K5:Kes	it5,	K6:Kesit6,			
K7:Ke	sit7, K8	:Kesit8, l	Kat1-V: F	Katman1'in			
P da	lgası hı	z değei	ri (m/s),	, Kat2-V:			
Katman2'in P dalgası hız değeri (m/s),							
Kat3-V: Katman3'in P dalgası hız değeri							
(m/s), HızÇM: Hız çekmesi miktarları (ms).							

Sismik yansıma kesitleri incelendiğinde Katman2'nin Р dalga hız değeri artırıldığında, artan hızla antiklinal tabakanın azalmakta kalınlığı ve ara vüzevde miktarı gözlemlenen hız çekmesi Sekil 2'deki grafikte de görüleceği üzere artan hızla artış göstermektedir.



Şekil 2. Katman 2'nin P-dalga hız değerinin değişmesi ile kesitten okunan hız çekmesi miktarlarının değişim grafiği.

4.4 Tuz Kubbesi Hız Değerinin Yansıma Kesitine Etkileri

Tuz kubbesinin çevre kayaçlara göre daha yüksek P dalgası hız değerine sahip olması, kubbenin temelinin yansıma kesitlerinde yukarı doğru eğimli görüntülenmesine neden olmuştur. Bu durum tuz kubbesi yapısını sismik yansıma kesitlerinde rastlanan sismik tuzaklardan biri haline getirir. Tuzun tabanı yansıma kesitlerinde gerçek görüntüsünü vermediğinden, sismik kesitleri kullanarak tuz kubbesinin kalınlığını tahmin etmek yanıltıcı olmaktadır.

4.5 Tuz Kubbesi Geometrisinin Yansıma Kesitine Etkileri

Tuz kubbesi kanatlarının dalım açısı, sismik görüntü kalitesini vansıma kesitlerinde etkilemektedir. Şekil 1.b'de çerçeve içinde gösterilen antiklinal kanadının dalım açısı 10°'den 60°'ye kadar modellenerek sentetik sismik yansıma kesitleri oluşturulmuştur (Şekil 3). Derinlik modelinde dalım açısının belirli oranda arttırılması, sismik yansıma karsılığı bulmamıstır. kesitlerinde aynı Düşük eğimli dalım açılarında yansıma kesitleri, derinlik kesitlerindeki artış oranına yakın değerler verirken, açının artmasıyla bu benzerlik ortadan kalkmıştır.



Şekil 3: Derinlik modelinde tuz kubbesi dalım açısı değerine 10° (a), 20° (b), 30° (c), 40° (d), 50° (e) ve 60° (f) verildiğinde değişiminin zaman ortamındaki sismik kesitlerde görünümü.

5 SONUÇLAR

Bu çalışmada sismik düz çözüm yaklaşımı ile tuz kubbesinin geometrik yapısı ve sismik hızının zaman ortamı yansıma kesitleri üzerindeki etkileri arastırılmıştır. Bu amacla kubbe yapısını temsil eden antiklinal modeller incelenerek derinlik kesitleri ile kesitleri arasındaki farklar zaman gözlemlenmiştir. Tabakaların giderek artış gösteren hızları hız çekmesine neden olmuş cekmesinden dolavı düzlemsel ve hız bir tabakaların kalınlığında incelme gözlemlenmiştir. Tuz kubbeleri çevre kayaçlara göre sahip olduğu yüksek sismik hızdan dolayı, sismik yansıma kesitlerindeki tuz altı ara yüzeylerinde hız çekmesine neden olmaktadır. Tuz kubbe kanatlarının dalım açısının kesitlerdeki görüntüsü incelenmiştir. Düşük açılı dalımlarda, derinlik ve zaman kesitlerinde benzerlik gözlenirken, yüksek açılı kanat dalımının sismik kesitte görüntüsü farklılık yaratmıştır. Tuz kubbe yapılarının ortamındaki zaman yığma ve göc kesitlerinde ortaya çıkan bu problemlerin aşılması için doğru sismik hızları kullanarak derinlik göç kesitlerinin oluşturulması gerekmektedir.

TEŞEKKÜRLER

Jeofizik Mühendisliği, Nezihi Canıtez Veri İşlem Laboratuvarı'nda kullanılan Disco/Focus (v.5.0) Programının ücretsiz güncellemesini yaparak lisans yenilediği için Paradigm Geophysical'a teşekkür ederiz

KAYNAKLAR

Fagin, W.S., 1992. Seismic Modelling of Geologic Structures, Society of Exploration Geophysicists.

Çanakkale Ayvacık Depremlerinin (14 Ocak–2 Mart, 2017, M>4) Dalga Biçimi Modellemesi

Waveform Modelling of Jan 14– Mar 2, 2017 Çanakkale-Ayvacık Earthquakes (M>4)

Ferit Çağlar Gündüz, Gonca Örgülü

Istanbul Technical University, Faculty of Mines, Geophysical Engineering, Istanbul

ÖZET Bu çalışmada, Çanakkale'nin Ayvacık bölgesinde 14 Ocak - 2 Mart 2017 tarihleri arasında meydana gelen depremlerin kaynak parametreleri incelendi. Bu çalışmaya konu olan deprem verisi Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Arastırma Enstitüsü, Bölgesel Deprem ve Tsunami İzleme Merkezi'nin (BU, KOERI, RETMC) veri tabanından alınmıştır. Elimizdeki depremlerin büyüklükleri 3.5 ile 5.5 arasında değişmekte ise de modelleme çalışmasında orta büyüklükteki (M>4) depremler ele alınmıştır. Dalga formunu modelleyerek odak mekanizma sonuçlarını elde etmek için MATLAB ve FORTRAN tabanlı ISOLA yazılımı kullanılmıştır. Bu çalışmada elde edilen odak mekanizma sonuçları, başka bir yöntemle elde edilen odak mekanizma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, modellemeden elde edilen odak mekanizma sonuçlarının P- dalgalarının ilk hareketlerinden elde edilen odak mekanizma sonuçlarıyla uyumlu olduğunu göstermiştir. Buna göre, Çanakkale-Ayvacık bölgesinde meydana gelen depremlerin KB-GD gidişli normal bir fay ile ilişkili olduğu anlaşılmıştır. Tuzla fayı bölgedeki sismik aktiviteye yakın yer almaktadır, normal fay olduğu bilinen bu fayın doğultusu, odak mekanizma sonuçlarının doğrultusu ile uyum içindedir. Sonuç olarak, 14 Ocak -2 Mart 2017 tarihleri arasında meydana gelen Ayvacık-Canakkale depremlerinin Tuzla fayı ile ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Anahtar Kelimeler: Ters Cözüm, Tuzla Fayı, ISOLA

ABSTRACT A remarkable seismic activity occurs in Ayvacık - Çanakkale region for a period of two months (Jan 14 to Mar 2, 2017). In this study an ISOLA code running on MATLAB platform is used in order to estimate focal mechanisms of earthquakes (M>4) that we are interested in this study. The technique is modeling full waveform data based on multiple point source representation and deconvolution technique. Waveform data are retrieved from Boğaziçi University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Regional Earthquake and Tsunami Monitoring Center. Focal mechanisms of this seismic activity were also obtained from first motion polarities. This is the topic of another graduation project. Focal mechanisms from waveform modeling are generally in agreement with first motion solutions, but some first motion focal mechanisms do not correlate very well due to false determination of nodal planes with rough increments (e.g., increments of 30 degrees) in estimation of strike, dip and rake angles. In spite of uncertainty in focal mechanisms constrained by first motion polarities, waveform modeling results indicate similar focal mechanisms, characterized by a NW-SE trending pure normal fault. We infer that the Tuzla fault is responsible for generating earthquakes in the Ayvacık-Çanakkale region. Keywords: Waveform Modelling, Tuzla Fault, ISOLA

1 INTRODUCTION

An earthquake activity occurred in Ayvacık-Çanakkale region, Northwestern Turkey. This seismic activity is examined in order to estimate focal mechanisms from waveform modeling. It occurred from January 14 to March 2, 2017. The area is part of the North Anatolian Fault Zone and has a potential to produce large earthquakes.

In this study, moderate-sized earthquakes (M>4.0) are used for waveform modelling. For inversion process, MATLAB-Fortran based ISOLA software (Sokos and Zahradnik, 2008) has been used. ISOLA allowing the users an easy interaction. ISOLA calculates the centroid moment tensor solution of an earthquake based on the least-squares inversion of full waveforms, assuming a point-source representation. This software is used for local and regional events. Green's functions are calculated by the discrete wavenumber method (Bouchon, 1981). The centroid position and centroid time are calculated by a grid search. The eigenvectors of the moment tensor provide the strike, dip and rake angles.

2 TECTONICS OF THE AYVACIK REGION

North Anatolian Fault Zone splays into three different segments in the Marmara region. Northern segment goes into Saros Gulf by passing through beneath the Marmara Sea. Middle segment goes into North Aegean Sea by passing through Osmaneli-Gemlik-Bandırma-Bayramiçi path and southern segment also goes into North Aegean Sea by passing through Geyve-Yenişehir-Bursa-Gönen-Edremit path shown in Figure 1.

In that region, the following rock groups can be observed (Karacık and Yılmaz, 1998; Genç et al., 1998) pre-Tertiary basement, the Küçükkuyu Formation (Oligocene-Lower granitic Miocene), plutons (Upper Oligocene-Lower Miocene, the Ayvacık (Lower-Middle volcanic assemblage Miocene), the Bayramiç Formation interlayed with basalt lavas (Upper Miocene-Pliocene) and sedimentary infill of the Edremit graben.



Figure 1. Tectonics and Historic Events in NW Turkey (Sözbilir et al., 2017)

3 WAVEFORM MODELING

The ISOLA code will be introduced in the following parts.

3.1 Earthquake Data

Earthquake locations are taken from another graduation study. Originally, there are 86 earthquakes but only 18 of them have magnitudes (M>4) and those are inverted in this study.

3.2 Station Selection

One of the most crucial steps during the inversion process is the station selection. To obtain proper and accurate solution, only broadband station has been used and selected for the inversion process. The station distribution in this study is seen in Figure 2.



Figure 2. Ayvacık-Çanakkale earthquakes (circles). Distribution of broadband stations of KOERI in the region. Only very broadband stations (purple) are used in this study.

3.3 Raw Data Preparation

Before the inversion, instrument correction, and data processing steps such as removal of DC offset and trend are performed on the raw data. Instrumentally corrected data are aligned in terms of origin times of earthquakes and processed data are copied to the invert folder.

3.4 Source Definition

For this study, the source is taken as a single point. Because the depths are known from HYPOCENTER locations and vary between 4 km to 12 km, depth is searched from 2 to 20 km depth with increments of 2 km.

3.5 Green's Functions

Green's functions are elementary seismograms to compute synthetic seismograms. These functions are computed using a crustal model (Karabulut et al., 2002) Instrumentally corrected band-pass filtered velocity seismograms are converted to displacement ones.

3.6 Inversion

Waveform modeling of large earthquakes is modeled either from 0.05 to 0.02 Hz or from 0.05 to 0.08 Hz for moderate-sized earthquakes. A sample of waveform modeling is given for the largest earthquake in this data set (Figure 3).



Figure 3. Real and synthetic waveforms for largest earthquake with magnitude of 5.5 occurred on 6^{th} of February 2017.

Fitting between observed and synthetic seismograms is given by the Variance

Reduction (VR). The variance reduction of this event is given as 0.77 for a trial source at a depth of 4 km (Figure 4). In this figure, focal mechanisms are colored in terms of Double Couple (DC) percentage. Maximum VR is obtained at a depth of 4km. Köklü (2017) located this event at a depth of 6.6 km. This event gives a pure normal focal mechanism with a NW-SE strike. Nodal planes are dipping either towards the NE or SW.



Figure 4. The inversion result of the largest earthquake on 6^{th} of February 2017 is plotted as function of depth vs variance reduction and double couple percentage.

4 RESULTS

In this study, focal mechanisms of Jan 14-Mar 2, 2017 Çanakkale-Ayvacık earthquakes (M>4) are estimated by the inversion method using the ISOLA software.

Most of the events analyzed in this study give pure normal mechanisms (Figure 5). These events with NW-SE trending normal mechanisms are aligned, parallel to the strike of the Tuzla Fault in the region.

Köklü, 2017 also obtained focal mechanisms from first motion polarities of P-waves. These solutions are presented in Figure 6. Event numbers are also illustrated above the focal mechanisms.

When we compare focal mechanisms (Figure 5) that we have obtained from waveform modeling with focal mechanisms (Figure 6) obtained from first motion polarities, most of the focal mechanisms give similar focal mechanisms (3, 12, 20, 31, 34, 46, 50, 56, 58, 62, 76). However, some of the events are giving different focal mechanisms (73, 82). This difference is related to the

difficulty in constraining focal mechanisms of dip slip events from first motions.



Figure 5. Focal mechanisms obtained from waveform modeling (blue). Three mechanisms in purple color indicate focal mechanisms that can not be solved by Köklü (2017) based on first motion polarity of Pwaves.



Figure 6. Focal mechanisms obtained from first motion polarities of P-waves (Köklü, 2017).

As a result, we infer that the Tuzla fault or its segment (Çamköy) has generated the Ayvacık-Çanakkale seismic activity.

ACKNOWLEDMENTS

This study is performed on ISOLA software running on MATLAB platform. We thank to the developers of these codes.

REFERENCES

- Bouchon, M., 1981. A simple method to calculate Green's functions for elastic layered media. Bull. Seismol. Soc. Am. 71, 959e971.
- Karacık, Z., 1995. Ezine-Ayvacık dolayında genç volkanizma-plütonizma ilişkileri, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 342.
- Köklü, A (2017) Source Parameters of the Gülpınar-Ayvacık (Çanakkale) Earthquakes, YER 2017 Sepozyumu, İstanbul.
- Sokos, E. N., Zahradnik, J., 2008. ISOLA a Fortran code and a Matlab GUI to perform multiple-point source inversion of seismic data, Computers & Geosciences, Volume 34, Issue 8, August 2008, Pages 967-977, ISSN 0098-3004.
- Sokos, E. and Zahradník, J., 2013. Evaluating Centroid Moment Tensor Uncertainty in the New Version of ISOLA Software, Seismological Research Letters, July/August 2013, v. 84, p. 656-665.
- Sözbilir, H. (2017). 14 Ocak 28 Şubat 2017 Çanakkale - Ayvacık Depremleri ve Bölgenin Depremselliği.
- Yılmaz, Y., Güner, Y., ve Saroğlu, F., 1998. Geology of the quaternary volcanic centres of the east Anatolia. J Volcanol. Geoth. Res., 85 (1-4): 173-210

Investigation of Field Parameters for the Use of Multichannel Analysis of Surface Waves Method

Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi Yönteminde Kullanılan Arazi Parametrelerinin İncelenmesi

Gizem İzgi, H. Argun Kocaoğlu

Istanbul Technical University, Faculty of Mines, Department of Geophysical Engineering, Istanbul

ABSTRACT The investigation of dynamic behavior of the soil through the use of S-wave velocity (Vs) structure of sites is an important issue that creates a path to calculate the possible hazards of an earthquake. Furthermore, some engineering problems like site amplification and liquefaction are closely related to Vs structure and are the main study areas of the branch of engineering. One of the most prominent methods to obtain Vs structures is the method of Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW). For this purpose, this study focuses on MASW method and the effects of field parameters on the results (mainly dispersion relation). Geophone spacing, spread length and minimum offset are the three main field parameters that directly affect the dispersion curves extracted. To investigate these parameters, synthetic seismograms have been created. Then their dispersion curves have been obtained using a script in written in MATLAB platform.

Keywords: MASW, Dispersion, Field Parameters, Vs Structure

ÖZET S-dalgası hız yapısı, zeminlerin dinamik davranışlarını araştırmak için önemli bir basamak olmakla birlikte depremlerin muhtemel tehlikelerinin hesaplanması için kullanılan bir parametredir. Dahası, zemin büyütmesi ve zemin sıvılaşması gibi mühendislik sismolojisi problemlerinin araştırılmasında Vs yapısı önemli bir yer teşkil eder. Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi (YDÇA), Vs hız yapısını bulmak amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu amaca yönelik olarak yapılmış bu çalışmada YDÇA yöntemine odaklanılmış olup yöntemin yüzey parametrelerinden etkileniş durumları incelenmiştir. Jeofon aralıkları, açılımın boyu ve son olarak ilk jeofon ile kaynak arası mesafenin değişiminin, dispersiyon eğrileri üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Bu parametrelerin oluşturduğu farklılıkları gözlemek amacıyla, sentetik sismogramlar oluşturulmuş olup, sismogramlara ait dispersiyon eğrileri MATLAB platformundaki kodlar ile çizdirilip, gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: YDÇA, Dispersiyon, Arazi Parametreleri, Vs hız yapısı.

1 INTRODUCTION

In this study, Multichannel Analysis of Surface Waves method has been used for observing the characteristic behavior of dispersion curves. Details of MASW method has been discussed and theoretical information given. Because of the fact that this method is convenient with surface waves so, Rayleigh and Love waves, which are typical surface waves, has been discussed. Also the behavior of dispersion curves with varying phase velocities and frequencies has been analyzed with comparative examples as simple synthetic seismograms. Then the effect of different field geometries of specific models with different thicknesses, P wave and S wave velocities and densities, has been investigated. In order to accomplish this investigation the distance between the first receiver and the source has been changed, in another step, the profile's length has been varied and lastly the distance between the receivers which is called receiver interval has been changed one by one. At the end the most beneficial field geometry set has been agreed on for two different subsurface models.

2 MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES

For a layered subsurface structure, MASW method is an effective method to find Swave velocity structure which has а dominant role on Rayleigh wave dispersion. Rather than Spectral Analysis of Surface Waves (SASW) which uses only two sensors, MASW is more efficient for making dispersion analysis. This method has aroused as an alternative to the Spectral Analysis of Surface Waves (SASW). In this method, sledgehammer, weight drop or vibro can be used as a source. In SASW there are only two channels, one closer to the source and one at two times farther from the distance between the first receiver and the source. In SAWS, for the purpose of collecting quality data, the distance should not be too far. So, to be able to scan larger areas too many shots should be used and there should be at least several receiver intervals which makes it costly and time consuming. Also, in SASW it is not easy to differentiate the higher modes from the fundamental modes (Xia et al, 2002). Applying MASW method was proposed as a solution to all of these problems importantly and most with multichannel the higher-mode analysis surface waves can also be detected. Additionally, in this method the signal-tonoise ratio is much higher than the SASW method. There are three steps to accomplish MASW; the first step is collecting the data, second one is estimate the dispersion curve and the last one is obtaining the S-wave velocity structure with inversion (Figure 1).



Figure 1. Steps of MASW.

2.1 Field Parameters for MASW Method

In the implementation of the method, there are three parameters which need to be carefully selected. First, in order to avoid special aliasing, the Nyquist criterion must be used. In other words, the geophone spacing must be smaller than the half of minimum wavelength ($\Delta x \leq \lambda min/2$). Second, the receiver spread length controls the longest wavelength that can be resolved by the receiver array. Because the depth of penetration of Rayleigh waves is on the order of one-third to one-half of its wavelength, the spread length must be twice of three times the target investigation depth (Zmax) (Park et al., 1999). Finally, the minimum offset may also be important in order to avoid nearfield effects, body-wave contamination or getting clipped waveform.

3 INVESTIGATION OF FIELD PARAMETERS

3.1 Non-Dispersive Signal Case

First, a synthetic seismogram was created in the frequency range of 1 to 15 Hz by assuming a constant phase velocity value of 800 m/s (non-dispersive case). Synthetic seismogram and resulting phase velocityfrequency image are shown in Figure 2. The solid white line on Figure 2.b corresponds to the constant phase velocity of 800 m/s. Although the overall match between the theoretical (true) constant phase velocity (solid line) and maximum values of the image is good, at low frequencies resolution is relatively lower than higher frequencies.



Figure 2. (a) Non-dispersive signal propagation across the array (b) Phase velocity-frequency image.

3.2 Dispersive Signal Case

second case, synthetic As test a a seismogram was created using a simple linear relation to mimic the dispersive character of surface waves. In other words, the dispersion relation is not based on a real shear-wave velocity structure. Synthetic seismogram and resulting phase velocityfrequency images are shown in Figure 3. The solid white line on Figure 3.b corresponds to the linear dispersion relation used in the generation of synthetic seismogram. The match between the maximum of the image and the theoretical phase velocity relation (white solid line) suggests that MASW script can reliably be used for dispersion analysis.



Figure 3 (a) Dispersive signal propagation across the array (b) Phase velocity-frequency image

3.3 Analysis Using Synthetic Seismograms

After accomplishing the analysis with simple synthetic seismograms, it has been decided to do the same process with more realistic synthetic seismograms because of the fact that for any study which uses the real data measured in the field, this study would be a guidance

3.3.1 Generation of synthetic seismograms

For the generation of more realistic seismograms, a velocity model similar to those encountered in real world was used (Table 1). Synthetic seismograms were generated using the wave number integration algorithm (Herrmann, R., B., 2006).

Table 1. Physical Parameters of the Model1

H (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Rho (g/cm ³)
5	250	150	1.80
5	829	250	1.80
20	1326	400	1.80
0.0	2450	700	2.40

3.3.1.1 Receiver spacing

The effect of receiver spacing was investigated by using four different cases (see Table 2 for details). Dispersion analysis results are shown in Figure 5.4. The effect of spatial aliasing is clearly seen in Figures 5.4c and 5.4-d where receiver spacing was $\Delta x=4$ m and $\Delta x=8$ m. As a result, it can be concluded that a receiver spacing of 1 to 2 m is adequate.

Table 2. Varying Receiver Intervals.

Offset (m) Min Max		Spread	Number	Receiver Interval (m)	
		(m)	01 Channels		
1	96	95	96	1.0	
1	95	94	48	2.0	
1	93	92	24	4.0	
1	89	88	12	8.0	



Figure 4. Phase velocity-frequency images obtained for receiver spacings of (a) $\Delta x = 1$ m, (b) $\Delta x = 2$ m, (c) $\Delta x = 4$ m and (d) $\Delta x = 8$ m. Blue dots correspond to the maximum values of the image. Theoretical (true) dispersion curves are shown by black lines. Red dashed lines correspond to resolution and aliasing boundaries. Upper curve corresponds to λ = LX and lower curve corresponds to λ = $\Delta x/2$

3.3.1.2 Effect of spread length

In this section, the performance of the MASW method is investigated in terms of spread length. For this purpose, spread lengths of LX=11, 23, 43 and 95 m were considered (Table 3). Dispersion analysis results obtained for varying spread lengths are shown in Figure 5. The effect of spread length is clearly seen such that as the spread length increases the resolution of phase velocities at low frequencies increases. As a result, it can be concluded that a spread length of about 100 m would be required for reliable estimation of low frequency information that is very important to determine bedrock velocity and depth. This is consistent with the theory that the spread length should be chosen such that the maximum wavelength can be estimated. Since depth penetration the of is approximately equal to one-third to one-half the wavelength, a spread length of about 100 m would be adequate to investigate depths down to 30 to 50 m.

 Table 3. Varying Maximum Offsets

Offset (m)		Spread	Number	Receiver	
Min	Max	(m)	01 Channels	(m)	
1	12	11	12	1.0	
1	24	23	24	1.0	
1	48	43	48	1.0	
1	96	95	96	1.0	



Figure 5. Phase velocity-frequency images obtained for spread lengths of (a) LX = 11 m, (b) LX = 23 m, (c) LX = 43 m and (d) LX = 95 m. Blue dots correspond to the maximum values of the image. Theoretical (true) dispersion curves are shown by black lines Red dashed lines correspond to resolution and aliasing boundaries. Upper curve corresponds to λ = LX and lower curve corresponds to λ = $\Delta x/2$.

3.3.1.3 Effect of minimum offset

In this section the effect of minimum offset is investigated by varying the minimum offset to be x0 = 1 m, x0 = 5 m, x0 = 10 m and x0 = 20 m (Table 4). The investigation of the effect of minimum offset value could be important in terms of avoiding near-field effects and contamination due to body waves. Dispersion analysis results obtained for different minimum offset values are shown in Figure 6. Results show that at least for the minimum offsets considered in this study, there is not a significant variation in velocity-frequency the phase images. However, automatic phase velocity picks (blue dots) indicate that as the minimum offset increases (x0 = 10 m or x0 = 20 m) the values deviate from the expected (true) ones

slightly. This deviation is mainly in the lower frequencies and beyond the resolution limit and thus may not be considered to be important.

Table 4.	Varying	Zero	Offsets.
----------	---------	------	----------

Offse	t (m)	Spread	Number	Receiver Interval (m)	
Min	Max	Length (m)	of Channels		
1	95	94	48	2.0	
5	99	94	48	2.0	
10	104	94	48	2.0	
20	114	94	48	2.0	



Figure 6. Phase velocity-frequency images obtained for minimum offsets of (a) x0 = 1m, (b) x0 = 5 m, (c) x0 = 10 m and (d) x0 = 20 m. Blue dots correspond to the maximum values of the image. Theoretical (true) dispersion curves are shown by black lines Red dashed lines correspond to resolution and aliasing boundaries. Upper curve corresponds to λ = LX and lower curve corresponds to λ = $\Delta x/2$

4 CONCLUSION

Multichannel Analysis of Surface Waves is a commonly used method to investigate the dynamic behavior of the soil, which is an extremely important issue for engineering seismology branch. In this study, for the observation of characteristic behavior of dispersion curves, Multichannel Analysis of Surface Waves method has been used. Firstly, multichannel analysis which provided by a script in MATLAB platform and has been tested with a two synthetic waves. After that, the effect of different field geometries such as the receiver spacing, spread length and minimum offset has been investigated. For this purpose, synthetic seismograms have been obtained and their velocity-frequency images phase were obtained by a script in MATLAB platform and the results discussed carefully. As a result, for 30 meter soil sites receiver spacing of 1-2 meter, spread length as approximately 90-100 meters adequate and minimum offset should be chosen up to 20 meters.

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to thank my thesis advisor, Prof. Dr. H. Argun Kocaoğlu for his attempts to patiently guide me during this work. Also, I appreciate all the people who were always there for me and to my family in particular.

KAYNAKLAR

- Hermann, R.B., 2002. Computer Programs in Seismology: An Overview on Synthetic Seismogram Computation, User's Manual. St Louise University, 181 p., Missouri.
- Park, C.B., Miller, R.D., and Xia, J.1999. Multichannel analysis of surface waves. Geophysics, 64,800-808.
- Xia, J., Miller, R.D., Park, C.B., Hunter, J.A., Harris, J.B., and Ivanov, J., 2002. Comparings shear-wave velocity profiles inverted from multichannel surface wave with borehole measurements, Soil Dyn. Earthq. Eng. 22, 181-190.

Frequency Domain Spiking Deconvolution Frekans Ortamı İğnecik Ters Evrişimi

Güniz Büşra Yalçın, Ayşe Kaşlılar

Istanbul Technical University, Faculty of Mines, Department of Geophysical Engineering, Istanbul

ABSTRACT Deconvolution is an inverse filtering process that is conventionally applied to seismic data. In this study we use spiking deconvolution, which is one of the deconvolution techniques that is frequently used in seismic data processing to enhance the resolution of the seismic signal. We generate 1D simple synthetic seismograms by convolution and remove the effect of seismic wavelet from the seismic trace in the frequency domain by deconvolution. In this way we enhance the high frequency content of bandlimited signal, hence increase the resolution. We consider zero-phase and minimum-phase wavelets in the modeling. Different cases for the synthetic model are considered: one reflection coefficient; more than one reflection coefficients; reflection coefficients for modeling tuning effect; and reflectivity series. The effect of noise and the stability parameter of frequency domain deconvolution is also tested. By applying the frequency domain spiking deconvolution method, in general we recovered the high frequency content of the signal and increased the resolution.

Key words: Convolution, 1D modeling, frequency domain spiking deconvolution, bandlimited reflectivity.

ÖZET Dekonvolüsyon (ters evrişim), sismik verilerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir ters süzgeçleme işlemidir. Bu çalışmada, sismik sinyalin çözünürlüğünü arttırmak amacıyla, sismik veri işlemde sıklıkla kullanılan ters evrişim tekniklerinden biri olan iğnecik ters evrişimi kullanılmıştır. 1 boyutlu basit yapay sismogramlar evrişim yöntemi kullanılarak oluşturulmuş ve ardından ters evrişim yöntemi kullanılarak, frekans ortamındaki sismik izden, sismik dalgacığın etkileri kaldırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, sınırlı bir frekans bandına sahip sinyalin yüksek frekans içeriği arttırılarak, ayrımlılığın yükselmesi sağlanmıştır. Modelleme aşamasında, sıfır ve minimum fazlı dalgacıklar kullanılmıştır. Yapay modelleri oluşturmak için, tek yansıma katsayısı, birden fazla yansıma katsayıları, ayrımlılık modeli için yansıma katsayıları ve yansıma katsayısı serileri gibi farklı koşullar incelenmiştir. Aynı zamanda, gürültü ve ters evrişim düzeltme parametresi etkileri de test edilmiştir. Genel olarak, frekans ortamı iğnecik ters evrişim yöntemi ile sinyalin yüksek frekans içeriği iyileştirilmiş ve çözünürlüğün artışı sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Evrişim, bir boyutlu modelleme, frekans ortamı iğnecik ters evrişimi, sınırlandırılmış yansıma katsayıları.

1 INTRODUCTION

Deconvolution, basically is a mathematical operation used in image restoration to recover an object from an image that is degraded by blurring and noise. It is used not only in geophysical processing but also biotechniques or digital image technologies etc. Unwanted convolution is an inherent

problem in transferring analog information. For instance, all of the following can be modeled as a convolution: image blurring in a shaky camera, echoes in long distance telephone calls, finite bandwidth of analog sensors and electronics, etc. Deconvolution is the process of filtering a signal to compensate for an undesired convolution. The goal of deconvolution is to recreate the signal as it existed before the convolution place. This usually requires took the characteristics of the convolution (i.e., the impulse or frequency response) to be known Deconvolution is nearly (Smith, 1998). impossible to understand in the time domain, but quite straightforward in the frequency domain. In seismic studies, deconvolution is very significant method to improve the temporal resolution of a seismic section by compressing the seismic wavelets. There has types been various of deconvolution applications in seismic processing. In this study spiking deconvolution has been used and proper model examples have been constituted.

2 SEISMIC MODELING

Seismic modeling is one of the essential techniques of geophysical data processing for simulating wave propagation in the Earth. The objective is to predict the seismogram that set of sensors would record, given an assumed structure of the subsurface. This technique is a valuable tool for seismic interpretation and an essential seismic part of inversion algorithms (Carcione, et al., 2002). Seismic models can vary in one dimension (1D), two dimensions (2D), or three dimensions (3D). The accuracy of these models for a real situation depends entirely on the geological setting.

2.1 Forward and Inverse Modeling

In both forward and inverse modeling, parameters are selected. The principal difference between them is, the forward modeling parameters of seismic data are selected independently while inverse modeling parameters infers from recorded seismic data. In forward modeling, initial model parameters may be based on geophysical and geological data obtained from borehole measurements or selected randomly from a set of reasonable values. In both methods, the selected parameters are used to generate a synthetic trace, section, or record. The synthetic data are compared with recorded seismic data (Fisher and Gadallah, 2009). So as to achieve desired agreement between synthetic and recorded seismic data, several iterations are required.

2.2 Convolution Modeling

Convolution is by far the most important operation that describes the behavior of a linear time-invariant dynamical system. A linear time-invariant system is characterized by its impulse response (IR).

$$x(t) * h(t) = y(t)$$
 (1)
INPUT IR FOUTPUT

In equation 1, x(t), h(t) and y(t) represent input, impulse response and output of the system, ··*" respectively. denotes the mathematical operation of convolution. The seismic signal can be considered as the convolution of the reflectivity function and the source wavelet. Reflectivity is defined as reflection coefficient (RC) of a wave which is obtained from acoustic impedance (z) contrast, that is multiplying velocity (v) and density (ρ) of a medium. Basically, a source wavelet and an impulse response (i.e. reflectivity), can be convolved in time domain. Figure 1 demonstrates convolution operation.



Figure 1. Convolution operation.

2.3 Deconvolution

Deconvolution is an inverse filtering process that reverses the effect of convolution. Different deconvolution techniques are available in the literature. Some of them are Wiener filter deconvolution, predictive deconvolution and spiking deconvolution (Dimri, 1992). Figure 2 shows the general deconvolution operation of a seismic trace in time domain.



Figure 2. Deconvolution operation.

2.4 Spiking Deconvolution

consider In this study we spiking deconvolution. In seismic data processing, spiking deconvolution is routinely applied to compress the effective source wavelet contained in the seismic traces to improve temporal resolution (Yao et.al., 1999). The aim of the deconvolution process is to recover the reflectivity of Earth, h(t), by removing the effects of source wavelet, x(t). from the recorded seismic trace, y(t). As frequency domain spiking deconvolution is considered, the time domain signals are transformed to the frequency domain by the transform. Fourier In this way, the deconvolution operator (D) in the frequency domain can be represented as

$$D = \frac{X(f)^* \cdot Y(f)}{|X(f)|^2 + \alpha \cdot max |X(f)|^2}$$
(2)

where, Y(f), X(f) and H(f) represent the seismic trace, source wavelet and bandlimited reflectivity in the frequency domain respectively.

In equation 2, α is the stability parameter to avoid the zero division problem of the denominator. After the deconvolution operation the inverse Fourier transform of the signal is calculated to obtain the time domain signal. Finally, this method enhances the high frequency content of the signal and the seismic signal becomes more like a spike.

3 1-D SYNTHETIC SEISMOGRAM GENERATION & DECONVOLUTION 3 1 1D Synthetic Science reason Concretion

3.1 1D Synthetic Seismogram Generation

In this section we show some examples of 1D synthetic seismograms generated by convolution. generating In synthetic seismograms Ricker wavelets are commonly used. In this study, the zero-phase and minimum phase Ricker wavelets are used and convolved with reflection coefficient series. Different cases for the synthetic model are considered: one reflection coefficient: more than one reflection coefficients: reflection coefficients for modeling tuning effect; and reflectivity series. In this paper we show the model and deconvolution results for zero-phase Ricker wavelet with one reflection coefficient, and for minimum phase reflectivity series For the calculation of the 1D modeling. synthetic models the dominant frequency for the zero-phase and minimum-phase Ricker wavelets are selected as 10Hz. The time sampling is considered as 4ms, and the total length of record is 4 s.

3.2 1D Modeling with Zero-Phase Ricker Wavelet

A reflection coefficient of 0.7 at time 0.5 sec is chosen and convolved with zero phase Ricker wavelet to obtain a synthetic seismogram (Figure 3a). The Fourier transform of the wavelet. reflection coefficient and the seismogram is calculated, and their amplitude spectrums are plotted in Figure3b. As the reflection coefficient is a spike in time domain, its amplitude spectrum has the same amplitude at all frequencies, while the wavelet and the seismic trace has a bandlimited spectrum with higher amplitudes around the dominant frequency of the wavelet (Figure 4).




Figure 4. Synthetic seismogram and deconvolution result in time domain, amplitude spectrums for single RC with zero phase Ricker.

In Figure 5 we show examples for the stability parameter test. As it is observed on the figure, the selection of the parameter is important to obtain good results. It is observed that; as α decreases, the deconvolution result gets closer to a spike.



Figure 5. α -Test with single reflection coefficient.

3.3. 1D Modeling with Minimum-Phase Ricker Wavelet

In this example we consider a reflectivity series and calculate the synthetic seismogram by using a minimum phase Ricker wavelet (Figure 6a). The amplitude spectrums of the reflectivity series, Ricker wavelet and the seismogram is shown in Figure 6b. The deconvolution result and the amplitude spectrum for the reflectivity series model is shown in Figure 7. From the seismogram we obtain the band limited reflectivity series.



Figure 6. (a) 1D Synthetic seismogram calculation (b) Amplitude spectrum, for the minimum phase Ricker, reflectivity series and synthetic seismogram.



Figure 7. Synthetic seismogram and deconvolution in time domain and amplitude spectrum for reflection coefficient series with minimum phase Ricker.

4 CONCLUSION

In this study we calculated 1D simple synthetic seismograms and applied frequency domain spiking deconvolution to recover the high frequency content of the seismic signals. We also showed the effect of the stability parameter of deconvolution. By applying the frequency domain spiking deconvolution method, in general we recovered the high frequency content of the signal and increased the resolution.

ACKNOWLEDGEMENTS

I sincerely thank my thesis advisor, Prof. Dr. Ayşe Kaşlılar Şişman for her patiently guidance and contributions to me during this work and in my education life and also, I appreciate all professors and research assistants in the department for their contributions and helps to me during whole time.

REFERENCES

- Carcione, J. M., Herman, G. C., & Kroode, A. P. (2002). Seismic Modeling. 67, 1304.
- Dimri, V. (1992). Convolution. In Deconvolution and Inverse Theory (pp. 1-2). Elsevier Science Publishers.
- Gadallah, M. R., & Fisher, R. (2009). Seismic Interpretation, Modeling. In Exploration Geophysics (pp. 149-150). Springer.
- Sheriff, R. E., & Geldart, L. P. (1982). Exploration Seismology. Cambridge University Press.
- Smith, W. S. (1998). Custom Filters, Deconvolution. In The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing (p. 300). California Technical Publishing.

P Dalgası Polarizasyonu Sapmalarından Hareketle Üst Mantoda Anizotropik Yön Kestirimi

Anisotropic Direction Estimations of the Upper Mantle from Pwave Polarization Deviations

Hüseyin Mert Arslan, Tuna Eken

(İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul)

ÖZET Manto içerisinde ısı transferini sağlayan konveksiyon akımlarına bağlı olarak oluşan deformasyon ve sonucunda gelişen olivin mineralinin kafes tipi yönelimi sonucu kristallenmesi sismik hızların yöne bağlılığı yani sismik anizotropi özelliğini büyük ölçüde kontrol eder. Bu çalışmada Anadolu ve civarında seçilen 4 tane genişbantlı istasyonda (CORM, MALT, ISP, IDI) kaydedilen telesismik depremlerin sayısal gözlemleri kullanılarak hesaplanan P polarizasyonlarına ait sapmaların, deprem geliş yönleri ile ilişkileri üzerine bir harmonik analiz yaklaşımı kullanılmıştır. Harmonik analiz sonucunda her bir istasyon için anizotropik yön kestirimi yapılmıştır.

Hesaplanan harmonik fonksiyon katsayıların literatürdeki değerlere göre değerlendirmesi yapılarak muhtemel i) sensörün coğrafi konumlandırmasındaki yapılan hata, ii) dalım süreksizliği, iii) sismik anizotropi ve iv) hız heterojenliği durumları tespit edilmiştir. Anahtar Kelimeler: P dalgası polarizasyonu sapması, Sismik Anizotropi

ABSTRACT In the present work, we performed an harmonic analysis dealing with the relation between event propagation direction and deviations of P-wave polarizations from the propagation direction that were measured using teleseismic earthquake observations recorded at four broadband stations (CORM, MALT, ISP, IDI) selected in Anatolia and its surroundings. Results of this harmonic analysis allowed estimates of anisotropic orientation.

Estimated coefficients of harmonic functions were compared to those in the literatüre in order to assess possible: i) sensor mis-orentation of the station, ii) dipping discontinuity, iii) seismic anisotropy, or iv) velocity heterogeneity beneath four stations.

Keywords: P-wave polarization deviation, Seismic anisotropy

1 GİRİS

Sismik dalgaların kullanılması sayesinde yer kürenin en derin noktası olan iç çekirdekten bile bilgiler alınabilmektedir. Sismik kaynağın oluştuğu zaman bilinirse, farklı sismik dalgalara ait fazların istasyona vardıkları zamanlar arasındaki farktan sevahat zamanları elde edilebilir. Bu sevahat zamanları üzerinde veya sismik dalga genlikleri üzerinde yapılacak analizler savesinde ise sismik dalgaların gectiği bölgedeki yer içi fiziksel özellikleri, örneğin

sönümlenme sismik hız yapısı, veva anizotropi gibi, hakkında bilgi elde edilebilir (Stein ve Wysession, 2003).

Bu çalışmada temel amaç üst manto derinliğindeki yapısının yer sismik ilişkin anizotropisine hızlı P-dalgaları yönünün kestirimini yapmak olduğundan daha derinlerden bilgi getiren P-dalgaları kullanılmıştır. Bu amaçla, P-dalgalarının polarizasyonu analiz edilerek üst mantodaki anizotropi kaynaklı sapmalar tespit edilmeye calışılmıştır (Savage, 1999). Bunun dışında inceleme bölgesinde dalımlı yapıların (izotropik veya anizotropik) (Niazi, 1966) ya da yatay tabakalı anizotropik yapıların hangisinin daha etkili olduğu incelenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan istasyonlara ait sismometrelerin coğrafi konumlandırılmasındaki hataların da bir değerlendirmesi yapılmıştır (Schulte-Pelkum ve diğ., 2001).

2 ARAŞTIRMA BÖLGESİNİN TEKTONİĞİ

Araştırmanın yapıldığı istasyonların yer aldığı alanlardan, tektonik olarak Helenik yayının en önünde yer almasından dolayı en hareketli bölge Ege denizinde ver alan Girit adasıdır. Krete döneminin ortalarından beri devam eden. Amerika ve Afrika kıtalarının açılmasından dolayı, Afrika kıtası doğuya doğru hareket etmekte, ayrıca Afrika kıtasından ile ayrılan acılma Arap kuzeydoğuya yarımadası da hareket etmektedir. Bu harekelerden dolavı Avrasva ve Arap plakalarının çarpışması, bugünkü Akdeniz'i oluşturmuştur. Akdeniz'in oluşum süreciyle birlikte Ege Deniz'inde ver alan masifler, Afrika kıtasının dalması sonucu yükselerek Girit'te yer alan Helenik Yayı olusturmustur.

3 SİSMİK ANİZOTROPİ

Jeofiziksel modelleme çalışmaları genelde yer içerisini izotropik yani sismik hızların yöne bağlı olarak farklılık göstermemesi olarak kabul etse dahi gerek laboratuvar ve gerekse de son yıllarda artan yüksek kapasite de modelleme yapabilen bilgisayar teknomeydana gelen ilerlemeler lojilerinde sayesinde, özellikle üst mantonun yer aldığı derinliklerde burada yaygın olarak bulunan olivin mineralinin kristallografik özelliklerinden dolayı ortamın anizotropik olduğu anlaşılmıştır (Savage, 1999). Bunun anlamı çeşitli gerilme tektonik olarak ve yamulmalara maruz kalan minareller, belirli eksenlerde kristalleserek anizotropik davranırlar. Sismik hızlar bu kristallenmelere bağlı olarak belirli bir yönde hızlı veya yavas yayılım gösterirler.

3.1 Çalışma Bölgesinde Daha Önceden Elde Edilen Sismik Anizotropi Gözlemleri

Yakın zamanda Paul ve diğ. (2014) tarafından gerçekleştirilen kapsamlı bir SKS ayrımlaşma çalışması, çalışma alanında önceden gerçekleştirilmiş daha küçük bölgelerden elde edilen SKS ayrımlaşması sonuçları ile uyumludur (Şekil 1).

Buna göre genelde KD-GB doğrultulu SKS sismik hızlanma yönlerinin işaret ettiği bölgesel tutarlılık ve de nispeten gözlenen belirgin ölçüde zaman gecikmeleri (1.2s-1.6s), astenosfer içerisinde oluşan ve büyük ihtimalle Afrika Levhası'nın geriye doğru çekme hareketi (slab roll-back) ile önemli ölçüde kontrol edilen, manto konveksiyon akımlarının araştırma bölgesinde gözlenen sismik anizotropinin esas kaynağı olabileceğine işaret etmektedir (Confal ve diğ., 2016).



Şekil 1. Anadolu ve yakın çevresinde daha önce yapılmış SKS ayrımlaşma çalışmalarından gözlenen SKS fazı hızlanma yönleri (Paul ve diğ. 2014).

4 P DALGASI ANİZOTROPİSİ

P dalgaları hızlarının yöne bağımlılığı, özellikle manto içerisindeki sismik anizotropi konusunda önemli bilgiler verebilir. dalgasının anizotropisi Р araştırmalarında, ya ölçülen ilk varıs olusturulan zamanından daha önceden modellerdeki (ör. IASP91) tahmini varış zamanından çıkarılarak hesaplanan bağıl gecikme zamanlarının ya da P dalgalarının vatay bileşen genliklerinden elde edilen yatay düzlemdeki polarizasyonlarının sapma değerlerinin. varımküre projeksivonda depremin geliş açısı ve yayılım yönleri ile olan değişimleri incelenir (Babuška ve diğ., 1984, Schulte-Pelkum and Blackman, 2003).

4.1 Veri

P dalgası polarizasyonu ölçümü yapılırken IDI (Girit), ISP (Isparta), MALT (Malatya), CORM (Çorum) istasyonlarından küresel kaydedilen depremlerin ölcüde verileri kullanılmıştır. Uluşlararaşı sismolojik bir veri merkezi olarak faaliyet gösteren ve Türkiye ve civarında Kandilli Rasathanesi ve Deprem Enstitüsü'ne (KRDAE) bağlı olarak çalışan istasyonlara ait verileri de barındıran ORFEUS'a ait web sitesinden sayısal dalga formu verileri indirilmiş, indirilen bu veriler dalga formunun Р görsel olarak ilk varıslarında gösterdiği kalitesine göre ayıklanmıştır. Her istasyon için elde edilen verilerde radyal, enine ve boyuna olmak üzere 3 farklı bilesen vardır. Bu üc bileşenden elde edilen ortalama sinyalgürültü oranlarının (SNR) minimum değeri 2.4 dB olarak hesaplanmıştır (Şekil 2). İstasyonlar için toplamda seçilen ve de analiz edilen depremlerin coğrafi dağılımları, Sekil 3'te olarak örnek gösterilmektedir.



Şekil 2. 4 farklı istasyonda kullanılan depremlerin P dalgalarına ait sinyalin yatay ve de düşey kayıtlarında gözlenen ortalama sinyal-gürültü oranının (SNR) depremlerin geliş açısına göre dağılımları.



(Girit) Şekil 3. IDI istasyonu uzak (telesismik) deprem dağılımı (Bordo daireler kullanılan depremleri, beyaz daireler kullanılmayan depremleri, sarı üçgen istasyonu göstermektedir).

4.2 P Dalgası Polarizasyon Analizi Metodu

Bu çalışmada istasyona varan P dalgalarının yatay düzlemdeki parçacık hareketinin radyal yönden olan sapması sadece iki yatay bileşen kullanılarak hesaplanmıştır. Ölçülen bu sapma değerlerinin deprem geliş yönleri ile ilişkisi daha önce Schulte-Pelkum and Blackman (2003) ve Fontaine ve diğ. (2009) tarafından da verilen harmonik bir fonksiyon ile tanımlanabilir:

$$\delta\theta = A_1 + A_2 \sin \theta + A_3 \cos \theta + A_4 \sin 2\theta + A_5 \cos 2\theta \tag{1}$$

Denklem 1 ile tanımlanan fonksiyonda θ depremin geliş açısı değerini temsil ederken A1 istasyonun coğrafi konumlandırmasındaki hatayı; A₂ ve A₃ yatay heterojenliği veya dalımlı yapıyı; A₄ ve A₅ ise anizotropik yapıyı karakterize etmektedir. Bu katsayı değerlerinin birbirlerine göre büyüklükleri ise hangi durumun baskın olduğunu belirler.

Anizotropi etkisinin genliği denklem 2 ile ifade edilebilir (Fontaine ve diğ., 2009):

$$\delta\theta_{max} = \sqrt{A_4^2 + A_5^2} \tag{2}$$

Öte yandan dalımlı yapının etkisi ise Fontaine ve diğ. (2009) tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$\delta dip_{max} = \sqrt{A_2^2 + A_3^2} \tag{3}$$

olarak tanımlanır. $\delta dip_{max} \geq \delta \theta_{max}$ ise bu durumda istasyon altında dalımlı yapı anizotropi etkisinden baskındır. $\delta dip_{max} \leq \delta \theta_{max}$ ise yatay tabakalı bir anizotropik yapının dalımlı yapının (dalan bir levha veya hızlı simetri ekseninin eğimli olduğu aniztropik bir yapı) etkisinden daha baskın olduğu anlamına gelebilir.

5 Bulgular

Harmonik analiz sonucunda anizotropik yapıyı, dalımlı yapı olma durumunu ve istasyonun coğrafi konumlandırmasındaki hatayı temsil eden katsayılar hesaplanmıştır. 20 fazındaki bileşenler kullanılarak hızlı eksen oryantasyonu bulunmuştur. Dalımın ve heterojenliğin genliğini temsil eden δ_{dipmax} ve anizotropinin genliğini temsil eden δ_{max} , anizotropinin hızlı eksen oryantasyonunu gösteren θ_{fast} Fontaine ve diğ. (2009) çalışmasında verilen bağıntılar kullanılarak tespit edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Polarizasyon sapma değerlerine uygulanan harmonik analizden sonra her bir istasyon için elde edilen A_1 , A_2 , A_3 , A_4 , A_5 katsayıları.

A_1	A_2	A 3	A_4	A_5	$\theta_{fext}(act)$	δdip _{max}	$\delta heta_{max}$
0.5369	-5.1687	3.4492	-7.2978	2.8633	10.7113	6.2139	7.8394
1.1203	3.8678	0.8723	2.3397	-3.8586	20.2178	3.9650	4.5125
-2.7812	6.1222	-1.5620	0.4969	-1.3846	35.1291	6.3183	1.4711
3.6304	0.7101	-6.7347	5.8404	5.7340	67.7633	6.772	8.1847
	A1 0.5369 1.1203 -2.7812 3.6304	A1 A2 0.5369 -5.1687 1.1203 3.8678 -2.7812 6.1222 3.6304 0.7101	A1 A2 A3 0.5369 -5.1687 3.4492 1.1203 3.8678 0.8723 -2.7812 6.1222 -1.5620 3.6304 0.7101 -6.7347	A1 A2 A3 A4 0.5369 -5.1687 3.4492 -7.2978 1.1203 3.8678 0.8723 2.3397 -2.7812 6.1222 -1.5620 0.4969 3.6304 0.7101 -6.7347 5.8404	A1 A2 A3 A4 A5 0.5369 -5.1687 3.4492 -7.2978 2.8633 1.1203 3.8678 0.8723 2.3397 -3.8586 -2.7812 6.1222 -1.5620 0.4969 -1.3846 3.6304 0.7101 -6.7347 5.8404 5.7340	A1 A2 A3 A4 A5 θ_{car} (aç) 0.5369 -5.1687 3.4492 -7.2978 2.8633 10.7113 1.1203 3.8678 0.8723 2.3397 -3.8586 20.2178 -2.7812 6.1222 -1.5620 0.4969 -1.3846 35.1291 3.6304 0.7101 -6.7347 5.8404 5.7340 67.7633	A1 A2 A3 A4 As $\theta_{fext}(aqt)$ $ddlp_{mex}$ 0.5369 -5.1687 3.4492 -7.2978 2.8633 10.7113 6.2139 1.1203 3.8678 0.8723 2.3397 -3.8586 20.2178 3.9650 -2.7812 6.1222 -1.5620 0.4969 -1.3846 35.1291 6.3183 3.6304 0.7101 -6.7347 5.8404 5.7340 67.7633 6.772

Tablo 1'den IDI, ISP, MALT ve CORM istasyonları için $\delta\theta_{max}/\delta_{dipmax}$ oranlarının sırasıyla 1.261, 1.138, 0.232, 1.207 olduğu görülmektedir. Bu sonuç sadece MALT isatsyonu altında baskın bir dalımlı yapının varlığına işaret eder.

6 Tartışma ve Sonuçlar

Dalımlı yapı ile anizotropik yapının etkisinin hangisinin dominant olduğunun tespiti $\delta \theta_{max} > \delta_{dipmax}$ oranına dayalı olarak yapılmıştır.



Şekil 4. MALT, ISP, IDI ve CORM istasyonlarının Ppol sapmalarının deprem geliş yönüne göre değişimleri.

Çalışmanın yapıldığı dört istasyonla ilgili elde edilen sonuçlar Tablo 5.1 de verilmiştir. Fichtner ve diğ. (2013a,b), Kind ve diğ. (2015) tarafından da ima edilen çok ince manto litosferi tabakasının varlığı da anizotropinin kaynağını üst mantonun derin kısmında aramamız gerektiğine işaret eder niteliktedir.

IDI istasyonunun yer aldığı bölgede Helenik yayı boyunca dalan Afrika Levhası olmasına rağmen anizotropik yapının etkisi Moho veya yer kabuğunda dalımlı yapıdan daha baskın olarak görülmektedir. Girit'teki anizotropi uzanımı 10.7113° KD-GB doğrultusundadır. Bulunan anizotropik yön Paul ve diğ. (2014) tarafından yapılan çalışmadaki sonuçlarla yaklasık olarak benzer değerleri vermiştir (Şekil 5).

MALT istasyonunu ise Arap plakası ile Anadolu plakasının çarpıştığı bölgede yer almakla beraber dalım gösteren bir yapının etkisinin hakim olduğu görülmektedir. Bölgenin altında daha önceden dalarak kopan bir levhanın varlığı ileri sürülmekle beraber (Zor, 2008) belirgin olarak ortaya çıkan dalım etkisi (\delta_{dipmax}) manto litosferi icerisinde etkili olabilecek ve de dalan bir simetri eksenine sahip anizotropik yapı ile de acıklanabilir. MALT istasyonu için hesaplanmış anizotropik yön 35.1291° KD-GB vönündedir. Bu değer de Paul ve diğ. (2014)tarafından bulunan sonuclarla benzerlik göstermektedir (Şekil 5).

Paul ve diğ. (2014)'te gözlemlenen KKB-GGD anizotropi yönlerinin aksine, P polarizasyon analizleri, ISP istasyonunda da MALT istasyonuna benzer şekilde 20.2178° KD-GB yönelimli ve $\delta\theta_{max}$ ile karakterize edilen yatay düzlem anizotropik yapıların hâkim olduğu sonucunu ortaya koymaktadır.

CORM istasyonunda ise veri kalitesi düşük olmasına rağmen elde edilen sonuçlarda anizotropik yapının uzanımı Paul ve diğ. (2014) tarafından ortaya konulan sonuçlarla benzerlik göstermektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Ppol ölçümlerinden elde edilen anizotropi uzanımı (yeşil çizgiler) ve Paul ve diğ. (2014) yaptığı SKS dağılımı çalışmasından elde edilen anizotropi uzanımı sonuçları (kırmızı çizgiler).

TEŞEKKÜR

Bu çalışma sırasında kullanılan verilerin elde edilmesinde Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsüne (KRDAE) ile bu verileri sayısal olarak internet üzerinde erişimini düzenleyen ORFEUS kurumlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Babuška, V., Plomerova, J., & Šílený, J. (1984). Spatial variations of P residuals and deep structure of the European lithosphere. *Geophysical Journal International*, 79(1), 363-383.
- Confal, J. M., Eken, T., Tilmann, F., Yolsal-Çevikbilen, S., Çubuk-Sabuncu, Y., Saygin, E., & Taymaz, T. (2016). Investigation of mantle kinematics beneath the Hellenic-subduction zone with teleseismic direct shear waves. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 261, 141-151.

- Fichtner, A., Saygin, E., Taymaz, T., Cupillard, P., Capdeville, Y., Trampert, J., (2013a). The deep structure of the North Anatolian fault zone. Earth Planet. Sci. Lett. 373, 109–117.
- Fichtner, A., Trampert, J., Cupillard, P., Saygin, E., Taymaz, T., Capdeville, Y., Villaseñor, A., (2013b). Multiscale full waveform inversion. Geophys. J. Int. 194, 534–556.
- Fontaine, F. R., Barruol, G., Kennett, B. L., Bokelmann, G. H., & Reymond, D. (2009). Upper mantle anisotropy beneath Australia and Tahiti from P wave polarization: Implications for real- time earthquake location. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114(B3).
- Goldstein, P., D. Dodge, M. Firpo, Lee Minner (2003). SAC2000: Signal processing and analysis tools for seismologists and engineers, Invited contribution to "The IASPEI International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology", Edited by WHK Lee, H. Kanamori, P.C. Jennings, and C. Kisslinger, Academic Press, London.
- Kind, R., Eken, T., Tilmann, F., Sodoudi, F., Taymaz, T., Bulut, F., Yuan, X., Can, B., Schneider, F., (2015). Thickness of the lithosphere beneath Turkey and surroundings from S-receiver functions. Solid Earth 6 (3), 971.
- Niazi, M. (1966). Corrections to apparent azimuths and travel-time gradients for a dipping Mohorovičić discontinuity. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 56(2), 491-509.
- Okay, A. I., & Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, 156(1), 475-515.
- Paul, A., Karabulut, H., Mutlu, A.K., SalaÃijn, G., (2014). A comprehensive and densely sampled map of shear-wave azimuthal anisotropy in the Aegean-Anatolia region. Earth Planet. Sci. Lett. 389, 14–22.
- Savage, M., (1999). Seismic anisotropy and mantle deformation: what have we learned from shear wave splitting? Rev. Geophys. 37 (1), 65–106.
- Schulte-Pelkum, V., and D. K. Blackman (2003). A synthesis of seismic P and S anisotropy, Geophys. J. Int., 154, 166–178, doi:10.1046/j.1365-246X.2003.01951.x.
- Schulte- Pelkum, V., Masters, G., & Shearer, P. M. (2001). Upper mantle anisotropy from long- period P polarization. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 106(B10), 21917-21934.
- Stein, S., & Wysession, M. (2009). An introduction to seismology, earthquakes, and earth structure. John Wiley & Sons.

Proton Manyetometresi Sensörünün Tasarım ve Üretimi Design and Production of Proton Magnetometer Sensor

İpek Bayrakçı, Turgay İşseven, Gonca Örgülü İstanbul Technical University, Faculty of Mines, Geophysical Engineering, Istanbul

ÖZET Proton presesyon manyetometresi, skalar manyetometre olarak çekirdeğin presesyon prensibini kullanarak yermanyetik alanın toplam büyüklüğünü ölçer. Bu çalışma, yermanyetik alanının ölçümü için tasarlanan bir proton presesyon manyetometre sensörünün yapım sürecini, bu sensörle Kandilli Rasathanesi'nde alınan yaklaşık olarak 23 saatlik ölçüm verisinin elde edilmesi ve bu verilerin İznik Rasathanesi verileri ile karşılaştırılmasını açıklamaktadır. Sensör, içerisinde özel olarak oluşturulan bir mekanizmayla sarılmış iki solenoid bobin ve proton açısından zengin sıvı olan kerosen içerir. Ölçüm sonrasında elde edilen değerlere göre, sensor çok güçlü bir sinyal oluşturmamıştır; ancak profesyonel olarak kullanılan bir sensör tarafından üretilen sinyal verileri ile karşılaştırıldığında tatmin edici veriler üretmiştir.

Anahtar Kelimeler: Proton Presesyon Manyetometresi, Sensör, Yermanyetik Alan, Kandilli Rasathanesi

ABSTRACT The proton precession magnetometer measures the magnitude of the total magnetic field using precession principle of nucleus as a scalar magnetometer. This paper describes the construction of a proton precession magnetometer sensor for the measurement of geomagnetic field, the acquisition of approximately 23 hour measurement at Kandilli Observatory, and the comparison of the results with data of the Iznik Observatory. The sensor includes two solenoid coils which were wound with a special mechanism and kerosene as proton-rich fluid inside it. After the measurement, the sensor does not generate a very strong signal, but it produces satisfying data compared to the data generated by a professionally used sensor.

Key Words:Proton Precession Magnetometer, Sensor, Geomagnetic Field, Kandilli Observatory

1 INTRODUCTION

This paper focuses on the construction of a proton precession magnetometer (PPM) sensor for the measurement of geomagnetic field. The PPM sensor construction involves a process that is not difficult but troublesome and requires knowledge of physics, geophysics and electronics. A sensor made for this purpose included two solenoid coils and kerosene as proton-rich fluid inside it. In order to check its workableness and also to evaluate its accuracy, an approximately oneday measurement was taken at the Kandilli Observation in Istanbul and the data compared with Iznik Observatory measurements. In this process, studies conducted in this area have been examined and preferences were made according to the plotted route. It is also useful for understanding the advantages and disadvantages of construction the magnetometer sensors to be built professionally in the future.

2 MAGNETIC FIELD MEASUREMENT

the Earth's Magnetometers measure magnetic field disturbances arise from natural or human-made. Magnetic field strength and direction is measured from the magnetometers which can be separated into vector and scalar magnitude types. Vector magnetometers measure the magnetic flux density in the chosen direction in 3D space. Flux-gate magnetometer can be an example which measures the three components of the Earth's magnetic field according to that principle. Scalar magnetometers measure the magnitude of the magnetic field with using precession principle of nucleus. Proton magnetometer precession can be the common example of scalar magnetometer.^[1]

2.1 Proton Precession Magnetometer (PPM)

Basically, proton precession magnetometer works by creating a strong magnetic field by applying tension to the coils in a proton-rich fluid in order to measure the precession frequency of protons. Then, it gets the ambient magnetic field from the directly proportion of frequency and magnetic field. It mainly consists of a sensor, battery and a polarization control module (Figure 1).



Figure 1. The sensor and Polarization Control Module

2.2 The Parts of PPM

2.2.1 Polarization control module

This part is the brain of the PPM which consists of the tuning circuit, amplifier, band-pass filter, compressor, counter and microprocessor for control the power supply (Figure 2). Firstly, the triggering and cutting off the polarization made after it reaches enough polarization. Then, the switches change by the microprocessor and let the signal pass to the amplifier to increase the power of the signal. When the signal is amplified, it is passed through the band pass filter to get the frequency value in the desired range. The signal received as analog and it is converted to digital signal by the compressor and goes to the counter. As a final step, the incoming frequency value is multiplied by 23.48 to obtain the magnetic field and then sent to the screen. ^[2]



Figure 2. The schematic diagram of the polarization control module

2.2.2 Sensor

Sensor is a non-conductive container consists of one or two coil(s) in a proton-rich fluid such as kerosene or distilled water. When a voltage difference is applied to the sensor, current flows through the coils and the protons in the fluid become polarized. Normally, the protons aligned in the direction of the ambient magnetic field, with polarization they start to align in the direction of the external magnetic field. When sufficient polarization is achieved, the current turns off and the protons try to align in the direction of the ambient magnetic field. In the meantime, they start to make a precession. The frequency of this precession is obtained and the ambient magnetic field is determined from the direct proportion of the frequency.

2.2.3 Construction of the sensor

In this project, two identical solenoid coils were made. A double coil type of sensor decreases the noise and produces a canceling effect on external voltage signals. These coils were wound with enamel coated (insulated) copper wire. For winding the coils, a special mechanism was created for this study which has ordinary technical materials inside it (Figure 3).



Figure 3. The mechanism made for coil winding.

The specifications of the coils are as follows from the thickness of the wire to the parameters obtained after the windings finished. (Table 1). After winding the coils, they were glued together with epoxy resin since it has not conductive, it does not dissolve in the proton-rich fluid and it is very hard material.

Then they were connected in series (opposite direction). It has two reasons; for adding their precession signal voltages and for canceling the noise voltages coming from outside of the coil (Figure 4). The arrows on the coils indicate the direction of the current. Accordingly, the magnetic field direction generated by the upper coil is to the left and the bottom coil to the right. The magnetic fields created by the two coils were added to each other to produce a stronger external magnetic field

Table 1. Coils' Specifications

Wire Gauge (AWG)	24	
Wire Gauge (mm)	0.5	
Internal Diameters of coils (mm)	40	
Number of Layers	13	
Number of Turns	1,170 (for each)	
Wire Weight (kg)	0.300 (for each)	
Length (m)	147 (for each)	



Figure 4. Coils in series connection.

A non-magnetic, cylindrical shape plastic bottle was used and coils glued also it's cap. For the last step, kerosene was preferred as a proton rich fluid since sufficient polarization can be reached to create a local field in the sensor.

The sensor gave the results as; Inductance (L in mH) : 66 Internal Resistance (R in ohm) : 30

according to the inductance measurements of the sensor made by multimeter.

At this stage, various capacitance rates calculated for each frequencies (Table 2) in terms of the formula in the below includes L as inductance of coils, C as capacitance and f as frequency;

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{1}$$

Table 2: The capacitance values according to different frequencies.

B (Magnetic Field in nT)	f(Larmor Frequency in Hz)	C (Capacitance in nF)
20,000	851.20	0.530241
30,000	1276.80	0.235663
40,000	1702.40	0.132560
50,000	2128.00	0.084839
60,000	2553.60	0.058916

In the Istanbul region, the nominal Earth magnetic field value is about 47,000 nT. The Larmor frequency according to total field of Istanbul is 2,000 Hz or 2 kHz. Based on these values, the required capacitance can be obtained from the above formula and it is equal to 96 μ F (0.096 nF). As a consequence, 96 μ F capacitance was connected to sense the magnetic field of the local area.

2.2 Measurement Evaluation

After sensor construction is completed, about 23 hours continuous measurement was taken at Istanbul Kandilli Observatory. Then, the data that belong to the same time interval transferred from the Iznik observatory which is about 100 km away from Kandilli and both were superposed (Figure 5).



Figure 5. The superposition of the measurementss taken in Kandilli and Iznik.

First of all, when looking at the graph, it can be said that the data obtained from the two measurements give approximately the same curve. In general, the Kandilli observatory is noisy because of its proximity to a bridge and to the sea and its influence on the ships passing there. Hence, the received data also contains high amounts of noise. However, the corresponding data at night time contains less noise because of the reduced activity. The produced sensor does not generate a very strong signal, but it produces satisfying data compared to the data generated by a professionally used sensor.

3 CONCLUSION

In this study, a magnetometer sensor was constructed, the nominal magnetic field value is found and based on it, the precession and capacitance values frequency are calculated and capacitance was placed at the polarization control module. Measurements were taken continuously in Kandilli for about day (17-18.05.2017). The results one described above indicate that, fully accurate data could not be obtained due to the low amplitude of the precession signal and the detection of the noises around in high level. However, when the measured data of Kandilli and Iznik is compared, the produced sensor obtained data close to the results of Iznik observatory. In order to make a more professional PPM sensor, first, a thicker wire should be preferred. Because the noise detection rate from outside is less and the precession signal is stronger. Second, it may has toroidal coil because a toroidal coil is not very sensitive to noises.

REFERENCES

- ^[1] Bayot, W., 2005., "Introduction to Magnetometer Technology", Practical Guidelines for building a Magnetometer by Hobbyists, pp. 1-14.
- ^[2] Macintyre, Steven A., 2000. "Magnetic Field Measurement", Macintyre Electronic De2sign, pp. 1-27.

NMO Düzeltmesi ve Sismik Hız Analizi Üzerindeki Etkileri NMO Correction and Its Effects on the Seismic Velocity Analysis

Ömer Bodur, Emin Demirbağ

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu çalışmada, modelleme yapılarak Nomal Zaman Kayma düzeltmesinin sismik yansıma yöntemi ve hız analizi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Modellemeler yapılırken MATLAB programı kullanılmıştır. Yapılan modellemeler ile maksimum yansıma açıları hesaplanmış ve hız analizleri yapılmıştır. Hesaplanan maksimum yansıma açılarına bakıldığı zaman, derinliğin maksimum offset uzunluğundan daha fazla değiştirici bir faktör olduğu görülmektedir. Yapılan hız analizlerinde, yatay tabakalı ortamlarda hızların değişmediği, tabakaların eğimli olduğu ortamlarda ise, aynı şekilde derinliğin hesaplanan hızlar üzerinde tabaka eğiminden daha fazla değiştirici bir faktör olduğu görülmüştür. Anahtar Kelimeler: NMO, Sismik Hız Analizi, Modelleme Çalışması

ABSTRACT In this study, NMO correction in seismic reflection method by modeling study and evaluation of the effects on the seismic velocity analysis are examined. MATLAB program was used during modeling. The maximum reflection angles were calculated and velocity analyzes was made with these models. According to the calculated maximum reflection angles, it is seen that depth is a more modifying factor than the maximum offset length. In the velocity analyzes performed, it is seen that the velocity does not change at horizontal layers; therefore, in case of maximum reflection angles depth is a more modifying factor than the maximum offset length for dipping layers.

Keywords: NMO, Seismic Velocity Analysis, Modelling Work

1 INTRODUCTION

It is necessary to collect geophysical data to understand and reveal the underground structure belonging to an area. The first step applied with seismic reflection method, which has a great importance in geophysical methods, is to develop the suitable design for seismic data collection. After the field parameters are determined and the data is collected according to these parameters, the obtained data must be processed and prepared for interpretation. Because the purpose is to reveal the underground structures successfully data processing steps make it easy to get the right result. One of the pre-stacking steps of data processing, normal move-out (NMO) correction is a very important. Effect that the distance between a receiver and a seismic source has on the arrival time of a reflection in the form of an increase of time with offset is called NMO in reflection seismology (Y1lmaz,1987). NMO is used in seismic velocity analysis. Measured velocities can in turn be used correcting NMO. So before stacking, reflections are aligned in the traces of a common mid-point (CMP) gather.

In this thesis, the effect of NMO on the velocity analysis has been studied with models. As model parameters; the number of the receivers used by the Maden Tetkik ve

Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Seismic-1 research ship, the depths of the Marmara Sea and the possible dipping angle of a layer are used. The effects of these parameters on the velocity analysis were investigated.

2 NORMAL MOVEOUT

Consider a reflection event on a CMP gather. Normal move-out (NMO) is called the difference between the two-way zero-offset time and the two-way time at a given offset.

Effect that the distance between a receiver and a seismic source has on the arrival time of a reflection in the form of an increase of time with offset is called NMO in reflection seismology. The NMO correction is used to seismic reflection data to transform traces recorded at non-zero offset into traces that appear to have been recorded at zero offset; this brings up undesirable distortions called NMO stretch (Buchholtz, 1972).

NMO on a CMP gather is the basic means of deciding the earth's velocity-depth function; therefore, NMO is used in seismic velocity analysis.

2.1 t²-x² Curves

The base for deciding velocities from seismic data is NMO. Measured velocities can in turn be used correcting NMO. So before stacking, reflections are aligned in the traces of a CMP gather. It is a simple way to decide stacking velocity from a CMP gather from the travel time equation, that describes a line on the t²-x² plane (Y1lmazi 1987). The slope of the line is $1/v^2$ and the intercept value at x=0 is t=0 (Figure 1).



Figure 1. The t^2 - x^2 velocity analysis applied to the synthetic gather derived from the velocity function (Y1lmaz, 1987).

3 NMO MODELLING STUDIES

3.1 Horizontal Layer

The medium composed of a single horizontal layer that is modeled for three different depths and offsets. 100 meters depth represents north shelf, 500 meters depth represents south shelf and 1000 meters depth represents basins at Marmara Sea. 72, 84 and 96 channels are used for offset; because, these channel numbers are commonly used at MTA Sismik-1 research ship in the last twenty years. Interval between each channel is 12,5 meters, distance between shot and the first geophone is 250 meters and velocity of the medium is chosen as 1500 meters.

3.2 Dipping Layers

For dipping layer modelling, 5, 10 and 20 degree dip angles are chosen (Figure 2 to 6). Because there is possibility of realizing these values in the real world. As in the horizontal layer modelling, the number of channels and the depths are the same.



Figure 2. t-x graphic with 72 channels at horizontal layer for different depths.



Figure 3. t^2-x^2 graphic with 72 channels at horizontal layer for different depths.



Figure 4. t-x graphic with 72 channels at 20 degree dipping layer for different depths.



Figure 5. t^2-x^2 graphic with 72 channels at 20 degree dipping layer for different depths for positive side of t-x graphic.



Figure 6. t^2-x^2 graphic with 72 channels at 20 degree dipping layer for different depths for negative side of t-x graphic.

4 RESULTS

The maximum reflection angles for different offsets/depths obtained from the geometry of the medium are given in Table 1. From this table; it is possible to say that the depth of the medium affects the angle of reflection more than the offsets. Table 1. Maximum reflection angles for different offsets/depths.

	72	84	96
	Channels	Channels	Channels
100 m	80.03°	81.17°	82.08°
500 m	48.68°	52.16°	55.18°
1000 m	29.63°	32.77°	35.71°

Velocity analysis are carried out separately for the positive and negative sides of the xaxis and values are given in Table 2 and Table 3.

Table 2. Velocity values for different dipping layers/depths at positive side of x-axis

	0°	5°	10°	20°
	1500	1479	1459	1423
100 m	m/s	m/s	m/s	m/s
	1500	1403	1324	1202
500 m	m/s	m/s	m/s	m/s
	1500	1324	1199	1032
1000 m	m/s	m/s	m/s	m/s

Table 3. Velocity values for different dipping layers/depths at negative side of x-axis

	0°	5°	10°	20°
	1500	1521	1544	1591
100 m	m/s	m/s	m/s	m/s
	1500	1618	1770	2249
500 m	m/s	m/s	m/s	m/s
	1500	1771	2271	4503
1000 m	m/s	m/s	m/s	m/s

The velocity values were not changed for horizontal layered medium. In Table 2, velocity values decrease as the angle values increase at the same depth values; also, velocity values decrease as the depth values increase at the same angle values. From the velocity values, it is seen that the change in depth values affect the velocity values more than the change in the angle values. In Table 3, velocity values increase as angle values increase at the same depth values; also, velocity values increase as depth values increase at the same angle values. Similar to values found in Table 2, the depth values variation affects the velocity values more than change of the angles values.

FOREWORD

First of all, I would like to thank my thesis advisor Prof. Dr. Emin DEMİRBAĞ for all his guidance, patience, support and encouragement during this semester. I am grateful for all precious hours that his allocated for me.

I would like to thank my dear family for their belief in me, trust and supported for all my life and my friends for their helpfulness.

REFERENCES

- Barnes, A. E. (1992). Another look at NMO stretch. Geophysics, 749-751.
- Buchholtz, H. (June 1972). A Note On Signal Distortion Due To Dynamic NMO Corrections. Geophysical Prospecting, 395-402.
- Sheriff, R. E. (1984). Encyclopedic Dictionary Of Exploration Geophysics. Society of Exploration Geophysicists.
- Yılmaz, Ö. (1987). Seismic Data Processing. Society of Exploration Geophysicists.

CEVHER HAZIRLAMA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Bitirme Tasarım Projeleri Bildirileri

Albit Ve Ortoklas'ın HF Kullanılmadan Tuz Varlığında Flotasyonla Ayrılma Olanaklarının Araştırılması

Investigation for separation of Albite and Orthoclase by flotation in the presence of salts without HF

A. Ballı, O. Güven, A.A.Sirkeci

İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği, İstanbul

ÖZET Deneysel çalışmalar öncesinde teslim alınan cevherin kimyasal analiz sonuçlarına göre feldspat cevheri 66,02 % SiO₂, 12,34 % Al₂O₃, 12,34 % K₂O, 3,31 % Na₂O 'ten oluşmaktadır. Deneysel çalışmalar süresince Anyonik/katyonik amin tür kollektör olan Duomeen TDO reaktifi kullanılıp, pH aralıkları H₂SO₄ ile kontrol altında tutulmuştur. Tane boyutu +150mm olan feldspat cevheri laboratuar tipi çeneli kırıcı, konili kırıcı ve merdaneli kırıcı ile -2mm altına indirilmiştir. Çalışılacak olan boyut aralıklarına göre farklı sürelerde seramik bilyalı değirmende %65 PKO da boyut küçültmesi yapılmıştır. Farklı boyut aralıklarının flotasyona olan etkisi araştırılırken esas olarak alınan boyutlar -300+38 μ m,

-150+38 µm ve -106+38 µm olmak üzere üç boyut grubu incelenmiştir. En verimli konsantre miktarı veren -300+38 µm boyut aralığında temizleme devresinin flotasyona olan etkisi çalışılmıştır. Tercih edilen boyut aralığında farklı NaCI konsantrasyon miktarlarının flotasyona olan etkisi araştırılmıştır. Daha etkili bir ayrım sağlanması amacıyla kollektör olarak kullanılan Duomeen TDO' nun ve NaCl tuzunun ayırma verimine olan etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Feldispat, Tane Boyutu, NaCl.

ABSTRACT According to the results of the chemical analysis of the ore received before the experimental works, the feldspar ore consists of 66,02% SiO₂, 12,34% Al₂O₃, 12,34% K₂O, 3,31% Na₂O. During experimental runs, Duomeen TDO reactant, anionic / cationic amine type collector, was used and pH ranges were controlled by H₂SO₄. The feldspar ore with particle size + 150mm has been reduced to -2 mm with lab-type jaw crusher, cone crusher and roller crusher. Depending on the size ranges to be worked, the size of the ceramic ball mill is reduced by 65% solid ratio wt. % for different periods. When the effect of different size ranges on flotation was investigated, three size fractions were investigated; the size fractions were -300 + 38 µm, -150 + 38 µm and -106 + 38 µm. In the range of -300 + 38 µm, giving the most efficient concentrate amount, the effect of the cleaning circuit on flotation was studied. The effect of Duomeen TDO as collector and NaCl salt on the separation efficiency was investigated.

Keywords: Feldspar, particle size, NaCl.

1 GİRİŞ

Bu tez çalışmasında ortoklaz ve albit minerallerinin tuz varlığında flotasyon ile HF kullanılmadan selektif olarak ayrılması olanakları, İTÜ Maden Fakültesi Cevher Hazırlama Laboratuvarlarında Aralık 2016-Mayıs 2017 tarihleri arasında araştırılmıştır.

1.1 Cihaz

Laboratuvar tipi bilyalı değirmen ve denver klasik flotasyon cihazı kullanılmıştır.

1.2 Malzeme

Çalışmalarda kırma işlemlerinden geçen -2mm feldspat numunesi, kollektör olarak Duomeen TDO, DAHC, R801-R825, bastırıcı olarak Na₂SiO₃, pH ayarlayıcı olarak H₂SO₄, canlandırıcı olarak NaCI kullanılmıştır.

1.2.1 Cevherin Kimyasal Özellikleri

Feldspat cevherinden elde edilen kesitte alttan aydınlatmalı mikroskop ile yapılan incelemeler ile XRD incelemelerinde cevher bileşiminde ortoklaz. albit, kuvars ve muskovit mineralleri bulunduğu tespit edilmiştir. Numunenin kimyasal analiz sonuçlarına göre cevher 66,02% SiO₂, 12,34 % Al₂O₃, 12,34 % K₂O, 3,31 % Na₂O den oluşmaktadır.

1.3 Yöntem

Deneysel çalışmalar öncesinde 2 mm altındaki feldspat cevheri, seramik bilyalı değirmende %65 PKO'da istenilen boyut aralıklarına göre farklı sürelerde boyut küçültmesi yapılmıştır. Flotasyon çalışmalarında oksit ve mika devresinde klasik deney koşulları uygulanırken, feldspat devresinde ise feldspatin kuvars ve ayırımında HF kullanılmadan anyonik/katyonik toplayıcı olan tallow dioleat (Duomeen TDO) diamin kullanılmıştır. Deneylerde pH aralıkları H₂SO₄ ile kontrol altında tutulmuştur. Reaktiflerin türleri ve pH aralıkları Tablo 1.3'de gösterilmektedir. İlk olarak besleme konsantrenin boyutunun elde edilen verimine içeriğine olan etkisi ve belirlenmistir. Sonraki testlerde ise devrelerinin temizleme etkisi ortaya konulduktan sonra K-Felspat ve Na-Feldspat olmak üzere iki farklı nitelikte ürün eldesine eklentisinin yönelik NaCl etkileri araştırılmıştır. Cizelge 1 de deneysel

çalışmalarda uygulanan deney şartları gösterilmektedir.

Çizelge 1. Deney şartları

FD	pН	K/B	KS(dk)	FS(dk)
Mika	2,5	DAHC	2+1	2+2
Oksit	2,5	R801-825	3+2	2+2
Feld.	2,1	D.TDO/	2+2+2+2/	3+3+2+2
		Na ₂ SiO ₃	3+3+3+3	
Tem.	2,1	-	-	*
Sl.Fl.	2,1	D.TDO/	2+2/	2+2/
		NaCI	5	2

FD: Flotasyon devresi, K/B: Kollektor/Bastırıcı türü,
KS: Kondüsyon süresi, FS: Flotasyon süresi
Feld.: Feldspat, Tem.: Temizleme, Sl.Fl.: Selektif
Flotasyon
*boyut etkinliği 2+2dk, tuz etkinliği 2dk

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Farklı Boyut Aralıklarının Feldspat Flotasyonuna Etkisi

koşullarında Flotasyon farklı boyut aralıklarının flotasyona olan etkisi araştırılırken -300+38 µm, -150+38 µm ve -106+38 µm olmak üzere üç boyut grubu incelenmiştir. Öğütme deneyleri; laboratuvar ölçekli seramik bilyalı değirmende gerçekleştirilmiştir. 300 µm için 5+10 dakika, 150 µm için 10+10 dakika ve 106 um için 15+10 dakika öğütme süreleri gerçekleştirilmiştir. Boyut aralıkları indirilen gruplara temizleme devresi uygulanmadan HF'siz flotasvon denevleri ortamda edilen veriler yapılmıştır. Elde doğrultusunda konsantre miktarlarının yüzdeleri şu şekildedir: -300+38um feldspat %47, kuvars %11 ; -150+38 µm feldspat %35, kuvars %22 ; -106+38 µm feldspat %38, kuvars %9 şeklindedir. Bu nedenle diğer çalışmalarda en yüksek verime sahip olan -300+38 µm ile devam edilmis olup bu boyut aralığında temizleme devresi yapılmıştır.

2.2 Farklı Tuz Konsantrasyon Miktarlarının Feldspat Flotasyonuna Etkisi

Besleme boyutunun ve temizleme devresinin etkisinin belirlenmesinin ardından, farklı konsantrasyonlarda tuz eklentisi yapılarak, bu eklentinin Na ve K feldspat ayırımındaki etkileri incelenmiştir.

Bu aşamada tercih edilen miktarlar 5g/t, 10g/t ve 20g/t şeklindedir. İzlenilen akım şeması doğrultusunda elde edilen konsantre miktarları yüzdeleri şekil 2 de gösterildiği gibidir.



Şekil 2. Farklı NaCI konsantrasyonlarında konsantre miktarları %

2.2.1 Selektif Flotasyonda Kollektör Eklenmesi

Feldspat içerisindeki albit ve ortoklas minerallerinin selektif flotasyonunda, daha etkili bir ayırım yapmak amacıyla tuz eklentisinin yanı sıra bir feldspat kaba devresinde kollektör olarak kullanılan Duomeen TDO'nun ayırma verimine olan etkiside incelenmiştir.

3 SONUÇLAR

Tüvenan cevherde yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre cevher 66,02 % SiO₂, 12,34 % Al₂O₃, 4,13 % K₂O, 3,31 % Na₂O'den oluşmaktadır.

Flotasyon deneylerinde kullanılan cevher örneğinin minerolojik analizlerinden cevherin albit, ortoklaz, kuvars ve muskovit minerallerinden oluştuğu tespit edilmiştir.

Farklı boyut aralıklarının flotasyona olan etkisi araştırılırken tercih edilen boyut aralıkları -300+38 μ m, -150+38 μ m, -106+38 μ m olup, bu gruplardan en iyi konsantre-verim sonuçlarının -300+38 μ m'da elde edilebildiği görülmüştür. Kristal yapıdaki aynı iyonlar (albit Na⁺) selektiviteyi düşürmekte bu nedenle NaCI çökeltisinde ortoklaz mineralinin selektivitesinin hızla arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum minerallerin tuz ile iyon değiştirmesi olarak açıklanmaktadır.

Uzun zincirli anyonik / katyonik toplayıcı olan Tollow diamin dioleat (Duomeen TDO) feldspat konsantresi üretiminde HF' ye yakın ve başarılı sonuçlar ortaya koymuştur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince Cevher Hazırlama Mühendisliği bölüm başkanı ve danışman hocam olan Prof. Dr. Ayhan Ali Sirkeci' ye bölümün vardımlarından ve sağladığı olanaklardan dolayı teşekkür ederim. Dr. Müh. Onur Güven, Aras. Gör. Zevnep Tarsus ve Dr. Hüseyin Baştürkçü' ye deneyler sırasında yardımlarından dolayı teşekkür ederim. En büyük desteği ve dayanağı sağlayan her zaman yanımda olan ailem M. Şebnem Ballı ve Yalçın Ballı' ya tesekkür ederim. Deney çalışmalarımda emeği geçen ve her daim yanımda olan Uğurcan Cetiner' e teşekkür ederim. başarılarımın hepsini Calışmalarımın ve kaybettiğim geçtiğimiz vıllar içinde kardeşim Alper Ballı' ya ithaf ediyorum.

KAYNAKLAR

- Bayraktar, İ., Ersaym, S., Gülsoy, Ö.Y., Ekmekçi, Z., Can, M., 1999; "Temel Seramik ve Cam Hammaddelerimizdeki (Feldispat, Kuvars ve Kaolin) Kalite Sorunları ve Çözüm Önerileri", 3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Ed.,
- Demir, C., Bentli, I., Gülgönül, I., & Çelik, M. S., 2003. Effects of bivalent salts on the flotation separation of Na-feldspar from Kfeldspar. Minerals Engineering,16(6),551-554.doi:10.1016/S0892-6875(03)00078-
- Gülgönül, I., Karagüzel, C., Çınar, M., & Çelik, M.
 S., 2012. Interaction of Sodium Ions with Feldspar Surfaces and Its Effect on the Selective Separation of Na- and K-Feldspars. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review,33(4), 233-245. doi:10.1080/08827508.2011.562952

H. Köse, V. Arslan, M. Tanrıverdi, İzmir s, 22-33.

Heyes, G. W., Allan, G. C., Bruckard, W. J., & Sparrow, G. J., 2012. Review of flotation of feldspar. Mineral Processing and Extractive Metallurgy,121(2), 72-78.

doi:10.1179/1743285512y.000000004

Karaguzel, C., Gulgonul, I., Demir, C., Cinar, M., & Celik, M., 2006. Concentration of K-feldspar from a pegmatitic feldspar ore by flotation. International Journal of Mineral Processing,81(2), 122-132. doi:10.1016/j.minpro.2006.07.008

Computer Aided Design of Coal Preparation Plants Kömür Yıkama Tesislerinin Bilgisayar Destekli Tasarımı

Ali Cemal Tanrıkulu, Kudret Tahsin Perek

Istanbul Technical University, Faculty of Mines, Mineral Processing Engineering Department, Istanbul

ÖZET Kömür yakıt amaçlı kullanım için çok önemli bir kaynaktır. Kömürden en iyi şekilde yararlanabilmek için kömür hazırlama çok büyük öneme sahiptir. Kömürle ilgili işlemlerde bilgisayar uygulamalarını kullanmak birçok yönüyle avantaj sağlar. Örneğin, bilgisayar destekli uygulamalar kullanıldığı zaman, çok sayıda simülasyon ve hesaplama daha çabuk ve kolay yapılır; bunun yanında daha doğru sonuçlar elde edilir.

Bu bitirme tezinde oluşturulan bilgisayar uygulamasının ana amacı, belirli bir kömür zenginleştirme işlemindeki nihai ürünleri hesaplamaktır. Uygulama tasarımı, kullanıcının istediği ayırma cihazını seçmesine göre hazırlanmıştır. Bu cihazlar: baum jig, spiral, sarsıntılı masa, ağır ortam tamburu, ağır ortam siklonu ve dyna whirlpool ayırıcısıdır.

Esas olarak uygulama kullanıcıdan, yüzdürülebilirlik sonuçlarını, boyut gruplarını, özgül ağırlık değerlerini ve işlemin hata faktörünü etkileyen diğer faktörlerle ilgili veriyi girmesini ister. Sonuç olarak, kullanıcıya lave, mikst ve şist oranlarını verir. Bu uygulama kullanıcının seçimine bağlı birçok ayırıcı için kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Sözde kod, C yazım dili, Kömür, Yıkanabilirlik

ABSTRACT Coal is an important matter for using as a fuel. To get the best use of the coal, preparation has a major importance. Using computer applications in coal processing is advantageous in many ways. For example, with computer aided applications, many simulations or many calculations can be done easier, quicker and have more accurate results.

In this graduation thesis, an application is created which is working for giving the final product properties of a coal beneficiation process. The application is designed in a way that the different separator devices can be selected by the users. These are the dense medium vessel, baum jig, dyna whirlpool, dense medium cyclone, and spiral or shaking table.

The basic of the application is to ask the washability results, size groups, specific gravity and some other factors which affects the error rate of the process; in return application gives back the clean coal, middling and tailing rates for the process. It can be used for many gravity separator according to user's selection. All the calculations done in the background. User only sees the results on the screen.

The application can be modified in any computer language but being in C language can lets the user to work in any computer does not require any additional program. *Keywords: Pseudocodes, C language, Coal, washability*

1 INTRODUCTION

Coal is a fossil fuel which actually is the gathering in swamps and peat bogs of changed remains of prehistoric vegetation. Plants absorbed the energy from the sun millions of year ago which is got from the coal today by humans. Coals mainly classified into two types according to their usage. These two main types of coal are; thermal coal and metallurgical coal (Geoscience Australia, 2012).

Energy shortage in our country makes important in usage of owned energy resources more conscious. In long period, big amount of the energy need of our country will increase the importance of lignite. Coal is an important matter for using as a fuel. To get the best use of the coal, preparation has a major importance. There are many coal preparation methods. Some of these methods can be aided by computer applications.

2 PROBLEM STATEMENT

In coal preparation simulations and in calculations main problem is when it's done by manual, the results that are obtained not accurate and they require a lot of hard work. The reason for that is, while working with a lot of equations and data in every single sample causes mistakes and makes the job harder.

3 PROJECT OBJECTIVES

The purpose of this project is to develop a computer application which can ease these processes, reaches better results with less effort and saves time. In addition to these, it is important to help users to reach this computer application in every environment.

4 LITERATURE REVIEW

Preparation is something necessary for coal before using it. To remove sulphur and ash forming mineral a preparation is needed, this preparation can be a simple crushing or an extensive size reduction and cleaning. In todays world cleaning of coal is done by physical seperation of particles with low mineral content but in the future to remove the certain impurities in the coal chemical and biological techniques may used (Wheelock and Markuszewski, 1984).

Coal enrichment is called coal washing, the plant is called launder, concentrate of coal is clean coal, waste is tailing and byproduct is called middling. For choosing a suitable flowsheet and doing a process planning for coal, laboratory studies are used (Ateşok, 2009).In coal processing the purpose is to obtain clean coal. To achieve this goal, there are some technical steps to follow. These are respectively; size reduction, screening, milling and beneficiation.

There are many different type of devices benefication for coal with different techniques are used in coal industry. The devices are: dense medium cyclone, dense medium vessel, baum jig, dyna whirlpool, spiral and shaking table. For baum jig, through slide or rotary impulse valves the compressed air is taken in pulses. Between the range of 100-200 mm is usually the top size and 1000 ton per hour of coal can be handled by baum jig (Kawatra & Eisele, While slurry 2001). rotating, spiral continually moves the coarse particles backwards, fine particles flow over the top and this lead fine particles to move fast enough to escape from the downwards (Michaud, 2015). On shaking tables, gravity inclined concentration on planes are achieved. Ground material is stratified into heavy and light stratums in the water while the pulp flows down the incline (Lorig and Gruner, 2006). In a dense medium seperation process, seperating vessels are the most important element but still it is just a single element in a more complex circuit. It needs another equipment for feed preparation, and for the mediums recovery, cleaning, recirculating requirements (Symonds and Malbon, 2002). 0.5 mm coals are washed with dense medium cyclones for seperation. Rotational fluid motion is created by an equipment called cyclone which uses the fluid pressure energy fort hat (Portaclone Inc.). Dyna whirlpool involves a cylinder that has a prearranged length, at both end it has an indentical tangential inlet and outlet sections.

For purification of coal from ash and sulphur, tests have to be made to understand if they are washable and which washing method should be used. This is only possible with obtaining the washability experiment results. Washability experiments are an evaluation of a coal's physical properties and shows how much can quality of a coal increase in the end of a process.

5 METHODS

In the application development stage, rules of algorithm preparing and the definition of algorithm and flowchart has to be understood well to develop an application for computer. Algorithms, are the series of steps which has to be followed for function a process or processes in a computer. Flowcharts, are the algorithms illustrations geometrical with special the shapes (Vatansever, 2007).

The application is developed by using C programming Language. C language is highly portable language; for this reason, C programs that written for one computer can easily run on another computer without any change or by doing a little change. (Soffar, H., 2017). In this project, Bloodshed Dev C++ interface package is used for producing C source codes, and compilation and running the codes.

6 DESIGN OF THE COMPUTER APPLICATION FOR GRAVITY SEPERATOR SELECTION

Gravity separator selection be can designed executable computer as an application written in C programming language for letting the user to test their existing run of mine coals, clean coal and tailings rates and quantities after the gravity based separation for the devices which user would like to use. This application lets user to do calculations easily and quickly which are normally requires a lot of hard work and time if it is done by manual. Also, this application lets user to decide proper device to process the existing run of mine coal in a coal preparation plant.

Basicly application asks some variables from the user for selected gravity separator which is selected by the user. In this design user has to obtain the run-of-mine coal size distribution and the washability test results.

Application starts with the selection menu which user picks the device that going to use for the desired coal process. The devices are baum jig, dense medium vessel, dyna whirlpool, dense medium cyclone, and spiral or shaking table. After the device selection, specific variables for each device is asked to the user, which are need for the calculations. All the calculations done in the background of the application, user can not see it. If the user entry is not in the informed ranges, 'out of range' error comes to the screen and asks user to enter the required values again. If the users decision is dense medium cyclone steps bellow are followed respectively.

6.1 Values Calculated by the Application

In this application to calculate the final products of the selected separator by the user. there are some mathemeatical calculations. Main variables are calculated by the application. These are Error Factor (Ep), Statistical Approach (Es), Average Gravity Calculations Specific $(RD_{50}),$ Partition (Y) which is calculated by Whiten Equation and only for dense medium cyclone (DMC) one more calculation is done and it's the Breakaway Size (db).

7 CONCLUSIONS

In conclusion, this thesis informs about the coal preparation, coal plants and technology, beside this it is also informs about the algorithm and flowchart making.

This thesis helps the users about coal preparation plant design by presenting the outcomes and results of the coal processing devices in the coal beneficiation industry easily, quickly and with the more accurate results than manually.

In the future, this kind of an application can be created for the other circuit devices for coal or maybe for some other minerals and it can be useful in business to decide the suitable separator selection for a plant design.

REFERENCES

- Ateşok, G., 2009. Kömür Hazırlama ve Teknolojisi. Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayını, İstanbul.
- Geoscience Australia, 2012. What is coal? Geoscience Australia. Kawatra, S. K., & Eisele, T. C., 2001. Coal desulfurization: high-efficiency preparation methods. Taylor & Francis.
- Lorig, C. H. and Gruner, H., 2006. Mineral Processing Metallurgy. Retrieved from processing.Michaud, D., 2015. Spiral Classifiers. Retrieved from https://www.911metallurgist.com/blog/spir alclassifier-for-mineral-processing.
- Portaclone Inc., 2004. Dense MediumCyclonePrincipals.Retrievedfromhttp://www.portaclone.co.za/pr_cyclo.htm.from
- Soffar, H., 2017. C Programming Language features, advantages and disadvantages, Retrieved from https://www.onlinesciences.com/computer/c-programminglanguage-features-advantages-and- disadvantages/
- Symonds, D.F. and Malbon, S., 2002. Sizing and selec- tion of heavy media equipment: Design and layout, Proc. Min. Proc. Plant Design,
- Practice and Control, ed. Mular, Halbe and Barratt, SME, 1011-1032. Vatansever, F., 2007. Algoritma Geliştirme ve Programlamaya Giriş. Seçkin Yayınları.
- Wheelock, T. D., and Markuszewski, R., 1984.
 Coal preparation and cleaning. In B.R.Cooper, and V. A. Ellingson (Eds.), The Science and Technology of Coal and Coal Utilization, Plenum, New York, pp. 47-123

Ağır Ortam Siklonu Ayırma Performansının Belirlenmesi *The Separation Performance of Dense Medium Cyclone*

A.U.Tarhan

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, Sarıyer, İstanbul, Türkiye.

F. Boylu

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, Sarıyer, İstanbul, Türkiye.

ÖZET Bu çalışmada Trakya Bölgesinde faaliyet gösteren Uysal Madenciliğe ait, yeni kurulan tesisde yer alan, ağır ortam siklonunun ayırma performansı ölçülmüştür. Tesisin çeşitli noktalarından temsili numuneler alınarak, fiziksel ve kimyasal özellikler belirlenmiş, yıkanabilirlik testleri performans numune tanımlaması, yapılmış ve analizleri Yapılan testler sonucunda; tesise beslenen kömür numunesinin gerceklestirilmistir. çoğunlukla kil kaynaklı -0.5 mm boyutlu malzemeden oluştuğu ve bu boyuttaki malzemenin, tesis beslemesinin % 30'unu oluşturduğu; tesiste yer alan ağır ortam siklonunun büyük çaplı olmasından dolayı, uygulanan siklon besleme basıncının yetersiz kalması, bunun neticesinde küçük boyutlu şistin alt akıma yönlendirilmeden, bir kısmının temiz kömüre karıştığı, temiz kömür külünün bu nedenle olması gerekenden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Anahtar Kelimeler: Kömür, Ağır ortam siklonu, ayırma performansı

ABSTRACT In this study, the performance of the dense medium cyclone established in recently established coal preparation plant (CPP) operated in Thracian Region of Turkey was analyzed. For this reason, the representative samples from different aprts of the CPP was taken periodicaly to analyze the physical and chemcal properties and washability characteristics and performance, as well. This study showed that, the CPP feed consists of -0.5 mm size fraction which was mostly clayey type inorganics in the amount of 30 %. In addition, the inappropriately chosen dense medium cyclone with high diameters cause the inapropriate reports of heavy materials called as gangue minerals in finer size fractions (-2.36 mm) to the ligth profucts (clean coal), because of the deficiency in supplying inlet head in sufficient levels. As a result of this, the clean coal ash content at given separation density was observed higher than expected.

Keywords: Coal, dense medium cyclone, separation performance.

1 GİRİŞ

1.1. Genel bilgiler

Kömür Hazırlama işlemleri, kömürün endüstriyel kullanıma uygun fiziksel ve kimyasal özelliklere getirmek amacıyla; boyut küçültme, boyuta göre sınıflandırma, kömür-inorganik madde ayırımı (zenginleştirme), susuzlandırma ve kurutma işlemlerini kapsamaktadır (Luttrel ve diğ, 2013).

Kömür zenginleştirme işlemlerinde, kömürlerin yıkanabilirlik derecelerine (kolay ya da zor olması) bağlı olarak, ayırma ortamının hava, su ve ağır sıvı olduğu farklı yöntemler kullanılmaktadır.

Günümüzde ise, kömür hazırlama tesisleri kömürlerin yıkanabilirliğine bakılmaksızın, çoğunlula ağır ortam ayırması ile işletilmektedir. İri boyutlarda daha çok statik ağır ortam ayırıcıları orta ve ince boyutlarda ise dinamik ağır ortam ayırıcıları; ağır ortam siklonları kullanılmaktadır. Özellikle, gelişen teknolojilerle ve düzenlemelerle, iri boyutlu kömürlerin zenginleştirilmesine olanak sağlayan ağır ortam siklonlarının (AOS) ise yakın bir gelecekte baskın olarak kullanımının söz konusu olacağı ifade edilmektedir (Luttrel ve diğ, 2013).

ortam siklonları; Ağır ayırma performanslari oldukça yüksek olan ekipmanlardır. Ancak, gerek kömür ve çalışma şartları gerekse ağır ortam siklonuna özelliklerin ait iyi ayarlanması gerekmektedir. Ağır ortam siklonunun seçimi ve çapının belirlenmesi dikkat gereken edilmesi hususlardan biridir (Bosman, 2015). AOS çapı arttıkça, AOS'nın etkin olduğu, kömür boyutları artmakta ve gerekenden büyük seçilen özellikle küçük boyutlu siklonlarda, kömürlerin etkin olarak ayrılmasında sorunlar yaşanmaktadır. Dolayısıyla, ağır ortam siklonu seçilirken, siklon çapına bağlı gelişecek olarak olan kritik ayırma boyutunun belirlenmesi (beakaway size) ve boyutun AOS bu kritik beslenen malzemesindeki oranları dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte kömür yıkanabilirliğine bağlı olarak hacimsel kömür/ortam oranı ve besleme kapasitesi göz önüne alınarak siklon seçimi yapılması daha uygun olacaktır.

1.2. Çalışmanın amacı ve kapsamı

Bu çalışma Trakya Bölgesinde faaliyet gösteren Uysal Madencilik'e ait yeni kömür hazırlama testsinin ayırma performansının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Tesiste ilk olarak -60+20 mm boyutlu kömürlerin zenginleştirilmesine yönelik ağır ortam ayırma siklon ünitesi kurulmuş, ancak, bu boyuttaki kömüre olan talebin azalması dolaysıyla, tesis -20+0.5 mm boyutlu kömürlerin yıkanmasına yönelik sekilde kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, büyük çaplı ağır ortam siklonları ile çalışıldığında, zenginleştirmenin etkin olduğu kritik boyut büyümekte ve ayırma ekipmanı küçük boyutlu kömürleri etkin olarak

zenginleştirememektedir (Luttrel ve diğ, 2013). Tesis çalışanları da bu durumun farkına varmışlar ancak, ayırmanın hangi performansla gerçekleştiği konusunda bir yapmamışlardır. çalışma Bu amaçla öncelikle, Ocak-Şubat 2017 tarihlerinde tesis ziyaret edilerek, tesisin işleyişi yerinde izlenmiş ve numune alma noktaları belirlenmiştir. Daha sonrasında belirlenen noktalardan, numune alma esaslarına uvularak. temsili olabilecek miktarda numuneler alınmış ve üzerinde testler yapmak üzere, İTÜ Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü Laboratuarlarına getirilmiştir.

getirilen temsili Laboratuara kömür numuneleri üzerinde, Cevher Hazırlama Kömür Mühendisliği Hazırlama bulunan Laboratuarlarında elekler. yıkanabilirlik test düzenekleri (yoğunlukları 1.3-1.9 g/cm³ arasında, 0.1 aralıklarla değişen, ağır sıvılar ve yoğunluk metreler) ve kurutma cihazları kullanılarak; boyut yıkanabilirlik analizleri, ayırma ve performansı testleri gerçekleştirilmiştir.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Kömür Özellikleri

2.1.1. Kömürün fiziksel ve kimyasal özellikleri

Deneysel çalışmalara konu olan kömür numunesinin boyut dağılımları Şekil 1.'de, kısa analiz sonuçları ise Çizelge 1'de verilmiştir.

Şekil 1'den izleneceği üzere, yıkama tesisine giren kömürün % 30'unun -0.5 mm boyutlu olduğu ve bu boyut grubunun değerlendirilmeden ilave şiste edildiği Bununla görülmektedir. birlikte fındık kömür (-20+10 mm) bslenenin % 25'ini, toz ise % 45'ini oluşturmaktadır. kömür Dolayısıyla kömürün kırılgan yapıda olduğu ya da beslenenin çok ince boyut dağılımlı olduğu anlaşılmıştır.

Yıkama tesisinde haliz hazırda 68 cm çaplı bir Ağır ortam siklonu (AOS) kullanılmaktadır. Bu AOS için ayırmanın etkisiz olduğu kritik boyut (db: breakaway size) 2.65 mm civarındadır. AOS beslemesinde, Kritik boyut altındaki malzeme oranının beslenenin % 18'i civarında olduğu tesbit edilmştir. Bu oran daha küçük çaplı siklon kullanılması gerektiğini ifade etmektedir (Bosman, 2015).



Şekil 1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Temsili Kömür Numunelerinin Boyut Dağılımları

Çizelge 1. Kömür Örneğinin Kısa Analiz
sonuçları

	Tüv.	AOS Bes.
Kül, %	54.07	50.09
Uçucu Madde, %	29.50	31.20
Kükürt, %	1.49	2.10
Sabit Karbon, %	16.43	18.71
Üst Isıl değer, Kcal/kg	2345	2566

Kömür örneği üzerinde yapılan kısa analizler sonucunda; tüvenan kömürün % 54.07 kül içeriğine sahip olduğu, tüvenan kömürün ön yıkama eleklerinden geçmesi ve şlam karakterli malzemenin uzaklaştırılması sonucunda. kül içeriğinin % 50.09 seviyelerine düştüğü belirlenmiştir. Slamın uzaklaştırılması ile AOS'na beslenen malzemede %S değeri artmış olup, kükürdün temiz kömür ile hareket ettiği anlaşılmıştır. AOS siklonuna beslenen kömürün kalorifik değerinin 2566 kCal/kg olduğu tespit edilmiştir.

2.1.2. Kömürün yıkanabilirlik özellikleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan kömür numunesi üzerinde dar boyut gruplarında yapılan yüzdürme-batırma test sonuçları; düşük (1.4-1.5 g/cm3) yıkama yoğunluklarında yapılan ayırmalara göre değerlendirildiğinde (Şekil 2); iri boyut gruplarının yıkanabilirliklerinin zor ya da çok zor seviyelerinde olduğu (Ateşok, 2005), boyut küçüldükçe yıkanabilirlik derecesinin arttığı gözlemlenmiştir.

2.2 Performans testi Sonuçları

AOS beslenen, alt ve üst akımdan çıkan ürünlerden, bir vardiya boyunca temsili olarak alınan numuneler üzerinde yapılan malzeme balansı analizleri sonucunda; lavenin % 31.5, şistin ise % 68.5 oranında alındığı, beslenen, lave ve şist küllerinin,

sırasıyla; % 45.52, % 15.47 ve % 59.34 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2. Yıkanabilirlik Testi Sonuçları (Düşük Ayırma Oğunlukları Baz Alınarak Değerlendirilmiştir)

Yapılan performans test sonuçlarına göre elde edilen dağılım yüzdeleri ve hata faktörleri sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4 incelendiğinde; hazırlanan ortam yoğunluğunun 1.4 g/cm³ olmasına karşın, ayırma yoğunluklarının boyut küçülmesine bağlı olarak 1.39 g/cm³'den 1.75 g/cm³'e kadar değişim gösterdiği, hata faktörünün ise boyut küçüldükçe arttığı ve hemen hemen kritik boyut olan breakaway size (d_b) boyutundan daha küçük boyutlarda, hata faktörünün keskin bir şekilde yükseliş gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 3. AOS Beslenen Malzeme Boyut Gruplarına Bağlı Olarak Dağılım (Tromp) Eğrileri ve Kesme Yoğunlukları



Şekil 4. AOS Beslenen Malzeme Boyut Gruplarına Bağlı Olarak Hata Faktörleri (Ep) ve Kesme Yoğunlukları

3 SONUÇLAR

Yapılan ölçümler ve testler sonucunda; AOS beslenen malzeme boyutunun -20 mm ancak, olduğu mazlemenin çok fazla ufalanmış olduğu, AOS beslenen mazlemesinin % 30'luk bir kısmının devrede değerlendirilmeden zaten slam olarak atıldığı, kullanılan AOS çapının 68 cm olduğu ve söz konusu ağır ortamın siklonun etkili olduğu kritik boyutun 2.65 cm olduğu ve bu krtikboyutlu civarında malzeme miktarının % 18 civarında olduğu tespit edilmiştir. Bu değer çalışılan ağır ortam siklonu için yüksek bir miktarı oluşturmaktadır. Normal olarak seçilen ağır ortam siklonu için söz konusu olan kritik boyutlu mazleme miktarının % 10'un altında olması istenir. Eğer kritik boyutlu mazleme miktarı fazla ise daha küçük caplı bir siklonun seçilerek kritik boyutlu mazleme miktarının daha düşük seviyelere çekilmesi gerekmektedir. Nitekim, yapılan testler -2.36 sonucunda; özellikle mm boyut grubundaki ayırmalarda: ayırma faktörlerinin yoğunluğunun ve hata yükseldiği, şistin büyük bir kısmının laveye karıstığı, bunun da lavenin kalitesinin düşürdüğü anlaşılmıştır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, özellikle numune alımına izin verilmesi, bazı ölçümlerin yapılması ve alınan temsili numunelerin nakliyesi konularında yardımlarından dolayı, Uysal Madencilik Şirketi'ne, tesiste çalışan mühendislere, teşekkür eder.

Bununla birlikte kısa kömür analizlerinin yapılmasında yardımcı olan kimya teknikeri Sn. Emine Tuzlupınar'a teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- G. H. LUTTRELL, 2013. Optimization, simulation and control of coal preparation plants, *The Coal Handbook: Towards cleaner production*, Volume 1: Coal production, by, D. Osborne, Chapter 17,560-586.
- J. Bosman, 2015. *Dense medium cyclone selection, It all adds up*, Multotec firması (internet erişimi ile sağlanmıştır)
- G. Ateşok, *Kömür Hazırlama ve Teknolojisi Kitabı*, 2004, Yurt Madenciliğini geliştirme vakfı yayınları, İstanbul.

Kuyumculuk Atıklarındaki Altın ve Gümüşün Flotasyon Yöntemi ile Geri Kazanımı

Recovery of Gold and Silver From Jewelry Waste by Flotation Method

A. Demirağ, F. Burat

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Kuyumculuk sektöründeki en önemli metaller hiç kuşkusuz altın ve gümüştür. Kuyumculuk sektöründe atölyelerde yapılan işçilik çalışmaları sonucunda ortaya minik metal ve değerli taş parçaları ve metalik tozlar saçılmaktadır. Altın ve gümüşün piyasadaki fiyatlarına bakıldığında bu atölyelerdeki çalışmalarda ortaya çıkan tozlar büyük önem teşkil etmektedir.

İ.T.Ü. Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümünde "Kuyumcu Atıklarından Değerli Metallerin Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri ile Kazanımı" konulu bir araştırma projesi başarı ile tamamlanmıştır. Bu çalışma kapsamında bu atıklardan Au ve Ag'nin fizikokimyasal bir yöntem olan flotasyon ile geri kazanımı incelenmiştir.

Temsili numune ile yapılan flotasyon deneyleri sonucunda; optimum pH değeri, tane boyutu, dağıtıcının etkisi, reaktif tipi ve miktarı incelenmiştir. Bu deneylerin sonucunda optimum pH değerinin 6.5, tane boyutunun -212 mikron olduğu saptanmıştır. Dağıtıcı olarak kullanılan Na2SiO3'ün Au ve Ag kazanımına etkisinin olmadığı, en uygun reaktif kombinasyonunun Aero 242 ile Aerophine 3418A olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuyumculuk, Atık, Altın, Gümüş, Flotasyon.

ABSTRACT The most important metals in the jewelry sector are undoubtedly gold and silver. As a result of workmanship work done in the jewelry industry, the tiny metal and jewel fragments and metallic powders are scattered. Given the prices of gold and silver on the market, the dust that emanates from these workshops is of great importance.

A research project titled as "The recovery of valuable metals from jewelry wastes by physical methods" was successfully completed. In the scope of this study, the recovery of Au and Ag was investigated by flotation which is a physicochemical method.

In flotation experiments which is carried out with the representative sample; optimum pH value, particle size, the effect of dispersant, type and amount of reagent was investigated. As a result of these studies, it was determined that the optimum pH value was 6.5 and the particle size was -212 microns. It was observed that the most suitable reactive combination was Aero 242 and Aerophine 3418A and Na₂SiO₃ has no positive effect on recovery of Au and Ag as a dispersant agent.

Keywords: Jewelry, Waste, Gold, Silver, Flotation.

1 INTRODUCTION

Recycling is the process of converting waste materials into new materials and objects. Recycling can prevent the waste of potentially useful materials and reduce the consumption of fresh raw materials. Gold production in jewelry sector will be produced scrap material with traditional in workshops or with mass process production in factories (Corti, 2002). In the United States, 140 tons of new and old scrap was recycled, slightly less than the reported consumption in 2015. Following the decline in price, the domestic and global supply of gold from recycling continued to decline from the high level in 2011 (George, 2016).

In jewelry production, gold accounting for more than %80 of the total yearly market for the metal. The jewelry is measured, finished, cleaned and polished, the waste is collected, then transferred to founders for the final treatment in small jewelry companies. This procedure causes poor recovery, mainly because of the lack of chemical and morphological knowledge of the constituents of the waste (Delfini et al., 2000). There are three type of wastes in the jewelry workshops which are handwashing waste, jewelry polishing waste and floor sweepings waste (Ferrini et al., 1998). These waste types may be beneficiated with physical, physicochemical and chemical methods like gravity, magnetic and electrostatic methods, flotation and leaching.

In this study, the optimum beneficiation of gold and silver from the jewelry waste by flotation method was investigated. In the experiments, the optimum pH, particle size, effect of depressant, the reagent type and amount were determined.

2 EXPERIMENTAL STUDIES

Collected wastes from jewelry workshops were burned to remove the combustible part like paper, plastic and etc. After that it was aimed to recover precious metals such as gold (Au) and silver (Ag) in the jewelry waste by flotation method.

2.1 Materials and Methods

Since the material to be used in the experimental studies has a waste character, firstly the particle size distributions and metal contents of the material in different fractions were determined.

It is observed that +6 mm fraction (19.0 %) of the total feed) is consist of mainly copper wires, iron scraps. Because this fraction contains very low grade Au (10 ppm) and Ag (26 ppm) +6 mm was discarded by screening before flotation experiments. -6+1 mm size fraction was crushed below 1 mm using roller crusher and combined with the material below 1 mm. To prepare the material for flotation experiments the sample was ground below 1 mm using dry ball mill and -500, -212, -100 and -73 microns feed sizes were generated. During the grinding process, 20 small, 12 medium and 8 large size balls were placed in the mill. In order to prevent the generation of fine material the ground material was screened and material above the screen was re-ground. Finally, ground sample was sent to the Denver flotation cell at different conditions for collecting valuable metals in concentrate.

2.2 The Chemical and Physical Properties of Sample

XRD studies have been carried out on the representative sample. As seen from Figure 1 the material is consist of mainly calcium and magnesium compounds (71.1% calcite, 3.1% anhydrite, 6.1% magnesite, 14.1% magnesium hydroxide sulfate hydrate, 5.6% mono hydro calcite). These compounds make the pH value of slurry very basic. Since the content of precious metals such as gold and silver is below a certain level, it couldn't be displayed in XRD analysis.

The results of microscopic examinations on the sample shows a flake gold (Fig. 2). In addition, the chemical analysis of the sample was determined. According to the analysis the jewelry waste contains 176 ppm Au and 1520 ppm Ag. Sieve analysis was performed to determine the size distribution of the material below 10 mm and shown in Figure 3.



Figure 1. Result of XRD analysis of the sample.



Figure 2. Gold particle in the waste.



Figure 3. Cumulative undersize curve.

According to the sieve analyses d_{80} and d_{50} size was found as 500 and 210 microns respectively. After the characterization of the chemical and physical properties of the sample, the flotation experiments were carried out in order to obtain gold and silver with maximum content and recovery.

3 RESULTS AND DISCUSSION

In the experiments, the optimum pH, optimum particle size, the effect of depressant, the reagent type and amount were investigated.

3.1 Effect of pH

Because the representative sample contains high amount of calcite and magnesite the natural pH of the solution was found as 10.8. It means that the slurry is highly basic. Firstly, the sample was ground below 212 microns and sent to the flotation cell. In the flotation experiments, H_2SO_4 was used as a pH modifier. Aero 242 and Aerophine 3418A were used as a collector. Because Aero 242 has a frother ability a frother agent wasn't needed during the flotation tests. The flotation conditions are given below;

- Particle Size: -212 microns
- Mixing Speed: 1500 rpm
- pH: 10.8, 8.5, 6.5
- Aerophine 3418A: 100+100+100+100 g/t
- Aero 242: 100+100+100+100 g/t
- Frother: None
- Condition Time: 3+3+3+3 minutes
- Flotation Time: 3+3+3+3 minutes

As a results of experiments, a concentrate containing 264 ppm Au with 78.2% recovery was obtained at pH 6.5. 2033 ppm Ag was collected in concentrate with 69.6% recovery.

3.2 Effect of Particle Size

After the determination of optimum pH value the experiments were performed at different feed sizes (500, 212, 100 and 73). The flotation conditions at previous tests were kept constant.

After the flotation experiments, a concentrate containing 518 ppm Au and 4875 ppm Ag with 57.9% and 62.9% recovery was obtained at -500 microns respectively. Because the metal recovery is low, -212 microns was selected as optimum feed size for the next experiments.

3.3 Effect of Na₂SiO₃

 Na_2SiO_3 is very effective dispersant agent for fine size materials and used to depress silicate minerals. It was added to pulp at different amounts (50, 100 and 200 g/t) in order to investigate the effect of dispersant agent for improved recovery of Au and Ag.

A concentrate containing 367 ppm Au with the amount of 31.8% was produced at 66.6% recovery when Na₂SiO₃ was added 50 g/t. Increasing the amount of dispersant didn't give better results in respect of both content and recovery and not used at following tests.

3.4 Effects of Collector Dosage

According to previously experiments, the optimum pH value was found as 6.5 and the optimum particle size was 212 microns. In this series of experiment, it was aimed to improve the recovery by increasing the number of stages to 6. The flotation conditions are given below;

- Particle Size: -212 microns
- Mixing Speed: 1500 rpm
- pH: 6.5
- Aerophine 3418A: 600 g/t
- Aero 242: 600 g/t
- Frother: None
- Condition Time: 3+3+3+3+3+3 minutes
- Flotation Time: 3+3+3+3+3+3 minutes

As a result of these tests, a concentrate containing 268 ppm Au and 2122 ppm Ag was obtained with 81.4% and 74.5% recovery respectively. The results show that the recovery was improved adding two extra stages, however the tailing still contains some metallic values. This might be attributed that Au and Ag particles with high specific weight are not efficiently transported to the bubble zone and remain in the cell. For this reason, the next series of tests were run with a sample below 53 microns which contains 165 ppm Au and 1450 ppm Ag. Finally, a concentrate with the amount of 35.2% having 296 ppm Au and 2565 ppm Ag was produced with 82.7% and 76.5% Au and Ag recovery rates respectively. When the experiments with -212 and -53 microns feed sizes were compared, the content of tailing's at -53 microns fraction was found less than -212 microns fraction.

3.5 Effects of Reactive Type

In order to investigate the effect of the different reagent, the experiments were run with GoldMax900 at optimum flotation conditions. Because Aero 242 have frother ability the previous experiments were done without a frother addition. However, in these tests, MIBC was used as a frother. According to result GoldMax900 was found less effective than Aero 242 and Aerofloat 3418A for Au and Ag recovery. A concentrate with the amount of 42.6% was produced with 218 ppm Au and 2182 ppm Ag content and recovery rates were found as 52.9% and 61.1% respectively.

4 CONCLUSIONS

According to XRD analysis, the material is consist of mainly calcium and magnesium compounds (71.1% calcite, 3.1% anhydrite, 6.1% magnesite, 14.1% magnesium hydroxide sulfate hydrate, 5.6% mono hydro calcite). According to the chemical analysis the jewelry waste contains 176 ppm Au and 1520 ppm Ag.

The aggregation and foaming was observed during wet grinding because of the fact that the pulp has a basic character. Therefore, the milling processes was applied in ball mill in dry conditions with 40% ball charge.

In experiments where the optimum pH values was investigated a concentrate containing 264 ppm Au with 78.2% recovery was obtained at pH 6.5. Also, 2033 ppm Ag was collected in concentrate with 69.6% recovery.

The effect of feed particle size was investigated and after the flotation experiments, a concentrate containing 518 ppm Au and 4875 ppm Ag with 57.9% and recovery was obtained at -500 62.9% microns respectively. Because the metal recovery is low, -212 microns was selected optimum feed size for the next as experiments.

Increasing the amount of dispersant didn't give better results in respect of both content and recovery and not used at following tests.

It was aimed to improve the recovery by increasing the number of stages from 4 to 6. As a result of tests, a concentrate containing 268 ppm Au and 2122 ppm Ag was obtained with 81.4% and 74.5% recovery respectively.

Au and Ag particles with high specific weight are not efficiently transported to the bubble zone and remain in the cell. For this reason, the next experiment was run with a sample below 53 microns. As a result of this test, a concentrate with the amount of 35.2% having 296 ppm Au and 2565 ppm Ag was produced with 82.7% and 76.5% Au and Ag recovery rates respectively.

In order to investigate the effect of the different reagent, the experiments were run with GoldMax900 at previously optimized flotation conditions. A concentrate with the amount of 42.6 was produced with 218 ppm Au and 2182 ppm Ag content and recovery rates were found as 52.9% and 61.1% respectively.

REFERENCES

- Corti, C. W., 2002. Wastes, recovery and refining of gold jewellery scraps and wastes. The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, London.
- Delfini, M., Manni, A., & Massacci, P., 2000. Technical Note: Gold Recovery From Jewellery Waste.
- Ferrini, M., Manni, A., & Massacci, P., 1998. Characterization and sampling of jewellery waste in Italy. Proc. Second Biennial International Conference on Chemical Measurement and Monitoring of the Environment, pp. 529-534. Ottawa.
- George, M. W., 2016. Gold. Virginia: U.S. Geological Survey.

Effect of Oxalic Acid on Cleaning of Glass Sand

Cam Kumundan Demirin Uzaklaştırılmasında Oksalik Asitin Etkisi

Bartu Güngörmez, Hüseyin Baştürkcü, Gülay Bulut Istanbul Technical University, Faculty of Mines, Mineral Processing Department, Istanbul

ÖZET Cam kumu, cam ve seramik endüstrisindeki en önemli bileşenlerdendir. Bunun yanında cam kumu, demir bileşikleri formunda istenmeyen zararlı empüriteler içermektedir. Bu empüriteler hidrometalurjik yöntemler ve/veya fiziko-kimyasal yöntemler ile cam kumundan uzaklaştırılabilir. Hidrometalurjik bir yöntem olan liç, organik ve inorganik asitler ile yapılabilir. Diğer organik asitlere nazaran, oksalik asit cam kumu temizlenmesinde yüksek demir uzaklaştırma verimi, iyi kompleksleşme özelliği ve yüksek veriminden dolayı liç reaktifi olarak kullanılabilmektedir. Bu çalışma kapsamında, cam kumundan empüritelerin uzaklaştırılmasında, oksalik asitin etkisini araştırmak amacıyla, liç sıcaklığı, liç süresi ve oksalik asit konsantrasyonunun etkisi incelenmiş olup, elde edilen sonuçlar flotasyon ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, demir uzaklaştırma verimi; liç sıcaklığının, liç süresinin ve oksalik asit konsantrasyonun artması ile artış göstermektedir. Flotasyon sonuçları ile karşılaştırıldığında ise, liç ile daha temiz konsantreler elde edildiği tespit edilmiştir. Liç deneylerinde yaklaşık %80 demir uzaklaştırma verimiyle, %0.025 Fe₂O₃ içerikli konsantreler üretilmiştir.

Anahtar Kelimeler: cam kumu, oksalik asit, demir uzaklaştırma, liç.

ABSTRACT Silica sand is the essential ingredient of glass and ceramic industry. However, silica sand is often associated with deleterious impurities or unwanted structural components, particularly in the form of iron compounds. These iron impurities can be substantially removed from silica sand via hydrometallurgical methods (leaching) and physicochemical methods (flotation). A hydrometallurgical method called leaching can be performed by using organic and inorganic acids. Among other organic acids, oxalic acid can be used as a leaching reagent to clean silica sand due to its high efficiency, good complexation property, and good reducing activity. In the scope of this study, the effect of leaching temperature, leaching time, and oxalic acid concentration were aimed to be investigated for cleaning of glass sand, while the results were compared with flotation. The results showed that, iron removal efficiency was enhancing by increasing temperature (up to 80 °C), leaching time (4 hour) and oxalic acid concentration (0.4 molar). Flotation experiments were also conducted to compare the leaching results. Much cleaner concentrates were obtained by leaching compared to flotation results. In the leaching tests, almost 80% iron removal efficiencies were achieved with Fe₂O₃ contents of 0.025%.

Keywords: Glass Sand, Oxalic Acid, removal of iron, leaching
1 INTRODUCTION

Silica sand has various usage areas, while glass industry is the most common area. In silica sand there are some impurities that can decrease the quality of the glass and therefore, these impurities must be kept below a certain value to prevent negative effects on the quality.

Raw materials, which are used in glass industry have some specialties that are stable chemical content, optimum particle size and in small quantities of moisture and harmful additives. These raw materials are glass sand, soda, calcite, dolomite and feldspars (Kovacec et al., 2010).

Industrial minerals, such as silica-glass sand, china clays and feldspar are often associated with deleterious impurities or unwanted structural components, particularly in the form of iron compounds. These minerals are mainly used as raw materials for the production of optical fibers, glass, ceramics and refractory materials. Iron occurring in them is harmful, as it impairs transmission in optical fibers and the transparency of glasses, it discolours ceramic products and lowers the melting point of refractory materials. (Taxiarchou et al., 1997). In glass industry, for glassware, SiO₂ content should be between 99-99.5%, Fe₂O₃ ontent 0.025 %, Al₂O₃ content 0.1-0.5% and TiO₂ content 0.020%. For flat glass, SiO₂ content should be between 96-97%, Fe₂O₃ content 0.1-0.2%, Al₂O₃ content 1-1.5% and TiO₂ content 0.08-0.09% (Şişecam A.Ş., 2017).

This study aims to determine the effects of oxalic acid leaching on cleaning of glass sand and make a comparison with flotation.

2 EXPERIMENTAL STUDIES

In this study, experimental studies were conducted on the sample, which was taken from Mersin Camiş Madencilik, in order to remove iron oxide from silica sand. Physical and chemical properties of the ore sample were determined. As for beneficiation method; leaching and flotation methods were used following grinding and classification by size.

2.1 Material and Method

In order to determine the characterization of silica sand including physical, chemical and mineralogical properties, firstly the chemical analyses of the sample were performed on the sample. According to the analyses, it was determined that the sample contained mainly 94.03% SiO₂, 0.176% Fe₂O₃, 2.0% Al₂O₃, 0.04% Na₂O and 1.04% K₂O. On the other side, the screen analysis also showed that d₈₀ size of ore was 0.250 mm in size.

2.2 Flotation experiments

To concentrate silica and remove impurities such as iron compound in the ore, flotation experiments were carried out for comparison with leaching. Iron oxides and other oxides were aimed to be removed from run of mine ore for glass production. The effects of collector were experimented on the raw ore sample. Flotation experiments were performed using R801-R825, DERNA 7 and MIBC at constant amounts. pH was adjusted by addition of H₂SO₄. The results showed that -420+106 µm size fraction gave the best results for iron removal from representative sample and it was chosen for further flotation tests. The results are given Table 1.

	Amount	Fe ₂ O ₃		SiO ₂			Al ₂ O ₃		TiO ₂	
Flotation	0%	Content %	Distribution,	Content,	Distribution,	Content,	Distribution,	Content,	Distribution,	
	70	Content, 70	%	%	%	%	%	%	%	
Float	18.9	0.52	64.66	94.18	18.6	1.86	20.4	0.18	28.4	
Sink	81.1	0.066	34.34	98.20	83.3	1.69	79.6	0.1	71.6	
Feed	100.00	0.152	100.00	95.58	100.00	1.72	100.00	0.12	100.00	

Table 1. Flotation results with collector DERNA 7 for -0.420+0.106 mm

As it is shown in the Table 1, the best result was obtained with DERNA 7 for classified sample between 0.420 and 0.106mm. The iron oxide removal efficiency was 64.66% and the iron oxide content was decreased to 0.066%. Moreover, silica content was reckoned 98.20%.

2.3 Leaching experiments

Leaching experiments were performed, in order to investigate the effect of temperature, oxalic acid concentration and leaching time. Thus, the performance of oxalic acid leaching could be evaluated in terms of removing iron impurity from glass sand. In these tests, leaching temperatures of 20, 40, and 80°C were applied under the leaching constants.

According to the results shown in Figure 1, it can be expressed that iron dissolutions had a linear increase, when the leaching temperatures were increased. While 24.2% of Fe₂O₃ was removed from the sample at 20°C leaching, it was possible to reject nearly 70% of the Fe_2O_3 by applying 80°C during leaching. Thus, the Fe₂O₃ content of the sample could be decreased from 0.18% to 0.06%. It was understood from these tests that temperature had an accelerative effect on iron dissolutions. therefore. 80°C leaching temperature was determined as the optimum and decided to be applied in further leaching tests.

In addition, the effect of oxalic acid concentration for various leaching times and concentrations were investigated in the second leaching studies. This group of tests examined the leaching conditions given below by keeping 80°C leaching temperature and 20% solids ratio as constants. Here, the oxalic acid concentrations varied as 0.05M, 0.1M, 0.2M, and 0.4M, while leaching times were 0.5, 1, 2, and 4 h. The results are demonstrated in Figure 2.



Figure 1. Effect of leaching temperature for the removal of iron oxides at original size



Figure 2. The effect of oxalic acid concentration

3 CONCLUSIONS

Flotation tests were carried out in two size groups which were $+106 \mu m$ and raw ore. Yields of iron and titanium oxide contents were examined. Flotation experiments were performed at constant R-801, R-825, DERNA 7 and MIBC amounts. According to the results, $-420 +106 \mu m$ size group was chosen for further flotation test because the best concentrate was obtained with 0.066% Fe₂O₃ of content.

Leaching experiments were carried out for various parameters to determine the optimum conditions for iron oxide removal. The tests were carried out investigating the effect of oxalic acid concentration, leaching temperature, and leaching time.

It can be expressed that iron dissolutions had a linear increase, when the leaching temperatures were increased. While 24.2% of Fe₂O₃ was removed from the sample at 20°C leaching, it was possible to reject nearly 70% of the Fe₂O₃ by applying 80°C during leaching. Thus, the Fe₂O₃ content of the sample could be decreased from 0.18% to 0.06%. It was understood from these tests that temperature had an accelerative effect dissolutions, therefore, iron 80°C on leaching temperature was determined as the optimum and decided to be applied in further leaching tests.

Using higher oxalic acid concentrations than 0.05M enhanced the iron dissolution, where it increased from nearly 50% to 80%. However, Fe₂O₃ removal efficiencies were nearly the same for 2 and 4 h of leaching at oxalic acid concentrations of 0.1, 0.2, and 0,4M. It can be concluded that the iron dissolution nearly completed after 2 hours and the dissolutions show slight increases for prolonged leaching times than 2 h. Besides, it was understood that usage of higher oxalic acid concentrations had no effect.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was adopted from the graduation thesis entitled "Effect of Oxalic Acid on

Cleaning of Glass Sand". Also, the authors would like to thank Şişecam A.Ş for sample supply and analysis opportunity.

REFERENCES

Kovacec, M., Pilipovic, A., & Stefanic, N.

(2010). Improving the quality of glass containers production with plunger process control. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology (s. 304-310).

Şişecam A.Ş. (2017). Retrieved from Şişecam A.Ş.: http://www.sisecam.com.tr/en

Taxiarchou, M., Panias, D., I. Douni, I., & Paspaliaris. (1997). In Hydrometallurgy (pp. 215-217). Laboratory of Metallurgy, National Technical Universi O' of Athens P.O. Box 64056, GR 157-10 Zogrqfos*Mineral Processing Journal*, 4, 25-44.

İş İndeksi Tayininde Alternatif Yöntemler Alternative Methods for Determination of Work Index

B. Sarıoğlu, Dr. Müh. O. Güven, Prof. Dr. H. Ateşok İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bu tez kapsamında cevher hazırlama tesislerinde enerji tüketiminin en fazla olduğu hesaplamalarında enerji kullanılan yöntemlerin öğütme işlemlerinin alternatif uygulanabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Deneyler sırasında Standart Bond Değirmeni kullanılarak ve sırasıyla ilk devir hesabı yöntemi, Standart Bond Yöntemi, İki Öğütmeli Magdalinovic Yöntemi ve Üç Öğütmeli Magdalinovic yöntemi uygulanarak Antalya bölgesine ait kurşunlu barit cevherinin iş indeksi hesaplamaları yapılmıştır. Bir endüstriyel standart haline gelmiş olan fakat uygulaması oldukça uzun ve yorucu olan Standart Bond Yöntemi sonuçları ile uygulaması daha kolay olan alternatif yöntemlerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Alternatif yöntemlerle hesaplanan iş indeksi değerlerinin Standart Bond Yöntemi ile hesaplanan değerlere oldukça yakın olduğu ve uygulama sürelerinin çok daha kısa olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Öğütme, iş indeksi, Standart Bond Yöntemi, Magdalinovic yöntemi

ABSTRACT In this thesis, it is aimed to investigate the applicability of alternative methods used in energy calculations of grinding processes where energy consumption is highest in ore preparation plants. During the tests, work index calculations of leaded barite ore in Antalya province were carried out by using Standard Bond Mill and first cycle speed method, Standard Bond Method, Two Mill Magdalinovic Method and Three Mill Magdalinovic method respectively. It has been observed that the work index values calculated by alternative methods are very close to the values calculated by the Standard Bond Method and the application times are much shorter.

Keywords : Grinding, work index, standard Bond method, Magdalinovic method

1 GİRİŞ

Cevher hazırlama tesislerinde tüketilen enerji miktarının büyük bir kısmı boyut küçültme işlemleri sırasında kırma ve öğütme devrelerinde kullanılır. Bu nedenle kırma-öğütme ünitelerinde gereken enerjinin hesaplanması işletme için büyük önem arz etmektedir.

İş indeksi, teorik olarak sonsuz boyuttaki cevherin %80'inin -100µm boyutuna

indirilmesi için gerekli kWs/t enerji miktarı olarak ifade edilir. Tez kapsamında Antalya bölgesine ait kurşunlu barit cevherinin iş indeksi hesaplamaları yapılmış ve aynı zamanda Bond Yöntemi' ne alternatif yöntemlerin uygulanabilirliği incelenmiştir. Deneyler standart Bond değirmeni kullanılarak yapılmıştır. Hesaplamalar için excel programı kullanılmıştır. iki Deneyler farklı numune üzerinde yapılmıştır. Her iki numuneye de sırası ile ilk devir hesabı, Standart Bond Yöntemi, 2

Öğütmeli Magdalinovic yöntemi ve 3 Öğütmeli Magdalinovic yöntemi uygulanmıştır.

2 GENEL BİLGİLER

2.1 İş İndeksi Hesaplama Yöntemleri

İş indeksi hesaplamalarında en yaygın olarak kullanılan yöntem standart Bond Yöntemi'dir. Uzun yıllardır kullanılmasından ve tatmin edici sonuclar vermesinden dolayı Bond Yöntemi endüstriyel bir standart haline gelmiştir. Ancak yöntem uzun süren, dikkat gerektiren yorucu bir deneysel çalışma ve gerektirdiğinden ve yöntemin uygulanması için özel bir değirmen (Standart Bond gerektiğinden Değirmeni) dolayı araştırmacılar alternatif vöntemler geliştirmişlerdir.

- Standart Bond Yöntemi
- İlk Devir Hesabı Yöntemi
- İki Öğütmeli Magdalinovic Yöntemi
- Üç Öğütmeli Magdalinovic Yöntemi

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Malzemenin Özellikleri

Deneylerde iki farklı numune kullanılmış olup numuneler Antalya bölgesinde ver alan Hazırlama tesisinden bir Barit temin edilmiştir. İlk numune galen-barit-kalsit ve kuvars içerikli tuvenan numuneyi temsil etmekte olup, ikinci numune ise tesiste yer alan jig ünitesinden elde edilen ve bir devrede öğütülerek sonraki değerlendirilmesi planlanan numuneyi temsil etmektedir.

3.2 Yöntem

Deneylerde öncelikle birinci numunenin daha sonra ikinci numunenin iş indeksi hesaplamaları yapılmıştır. Söz konusu hesaplamalar İlk Devir Hesabı ile başlatılan Standart Bond Yöntemi ile yapılmış ve alternatif olarak 2 öğütmeli magdalinovic ve 3 öğütmeli magdalinovic yöntemleri uygulanarak sonuçlar doğrulanmıştır. Tüm metotların uygulanmasında Standart Bond Değirmeni kullanılmıştır. Uygulanan metotların sonucunda malzemeye ait bir öğünebilirlik değeri (G) ve öğünen malzemenin %80 'inin geçtiği elek açıklık değeri (P₈₀) bulunarak bu değerler W_i iş hesaplama formülünde indeksi verine koyulmuş ve iş indeksleri hesaplanmıştır.

3.3 Birinci Numunenin İş İndeksi Testleri

Bond İş İndeksi testlerinde kullanılacak olan birinci numuneye ait elek analizi değerleri Çizelge 1'de, değerlerin grafiksel ifadesi ise Şekil 1'de yer almaktadır.

Çizelge 1. Birinci numunenin elek analizi

Boyut Aralığı, mm	Miktar %	∑ E.Ü. (%)	∑ E.A (%)
-3,36+2	5,7	5,7	100,0
-2,83+2	14,6	20,3	94,3
-2+1	37,7	58,0	79,7
-1+0,5	14,4	72,4	42,0
-0,5+0,300	6,5	78,9	27,6
-0,3+0,150	10,2	89,0	21,1
-0,150	11,0	100,0	11,0
TOPLAM	100		



Şekil 1.Numunenin boyut dağılım grafiği F₈₀ = 2200 μm

3.3.1 Bond Testi sonuçları

Standart Bond İş İndeksi testi prosedürünün uygulanarak hesap edilen Bond İş İndeksi değerleri Çizelge 2'de gösterilmektedir.

Çizelge 2. Birinci.numuneye ait Bond Testi sonuçları

Deney No	Devir Sayısı R	Öğütme sonrası -150 µm Ürün miktarı P _B (gr)	Beslenen numune içersindeki -150 µm miktarı F _B (gr)	P _B . F _B	Öğünebilirlik (G) (P _{B-} F _B) /R
1	307	1468,0	211,20	1256,8	4,091
2	95	703,0	161,48	541,5	5,715
3	83	593,0	77,33	515,7	6,247
4	77	533,0	65,23	467,8	6,039
5	81	571,0	58,63	512,4	6,308
6	77	550,0	62,81	487,2	6,319
7	77	552,0	60,50	491,5	6,357
8	77	549,0	60,72	488,3	6,355
9	77	549,0	60,39	488,6	6,354

elde edilen Test sonrasında son üç numunenin boyut analizi neticesinde P80 değerinin 135 µm ve öğünebilirlik değeri olan G parametresi ise 5.380 g/devir olarak bulunmuştur. Yapılan hesaplamalar neticesinde birinci numunenin Bond İs 5.24 kWs/t indeksi değeri olarak bulunmuştur.

3.3.2 İki öğütmeli magdalinovic yöntemi sonuçları

Bu yöntemle G (öğünebilirlik değeri) 5,380 g/devir olarak tespit edilmiştir.

 $P_{80}=106 \ \mu$ m'dur. Bond İş indeksi testlerine alternatif olarak türetilen İki öğütme kademeli Magdalinovic yönteminin uygulanması neticesinde birinci numunenin iş indeksi değeri 5,13 kWs/t olarak bulunmuştur.

3.3.3 Üç öğütmeli magdalinovic yöntemi sonuçları

Bu yöntemle G (öğünebilirlik değeri) = 6,028 g/devir olarak tespit edilmiştir.

 P_{80} =125 µm'dur. Bir diğer alternatif yöntem olan Üç öğütme kademeli Magdalinoviç yönteminin uygulanması neticesinde iş indeksi değeri 5,20 kWs/t olarak bulunmuştur. **3.4 İkinci Numunenin İş İndeksi Testleri** Bond iş indeksi testlerinde kullanılan numunenin boyut dağılım analizi Çizelge 3'te, verilen grafiksel ifadesi ise Şekil 2'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.	İkinci	numunenin	elek	analiz	i
, 0					

Boyut Aralığı, mm	Miktar %	∑ E.Ü. (%)	∑ E.A (%)
-3,36+2	4,3	4,3	100,0
-2,83+2	12,1	16,4	95,7
-2+1	26,4	42,8	83,6
-1+0,5	23,9	66,8	57,2
-0,5+0,300	7,3	74,1	33,2
-0,3+0,150	14,2	88,2	25,9
-0,150	11,8	100,0	11,8
TOPLAM	100		



Şekil 2 2. Numunenin boyut dağılım grafiği $F_{80}=1950~\mu m$

3.4.1 Bond Testi sonuçları

Bond iş indeksi testinde öğütme sonrasında elde edilen hesap edilen devirler ve öğünebilirlik değerleri Çizelge 4'te gösterilmektedir.

Test sonrasında elde edilen son üç numunenin boyut analizi neticesinde P80 değerinin 110 μ m ve öğünebilirlik değeri olan G parametresi ise 6.782 g/devir olarak bulunmuştur. Yapılan hesaplamalar neticesinde birinci numunenin Bond İş indeksi değeri 4,56 kWs/t olarak bulunmuştur.

Deney No	Devir Sayısı R	Öğütme sonrası -150 µm Ürün miktarı P _B (gr)	Beslenen numune içersindeki -150 µm miktarı F _B (gr)	P _{B-} F _B	Öğünebilirlik (G) (P _B . F _B) /R
1	293	1571,0	243,08	1327,9	4,528
2	89	749,0	185,38	563,6	6,320
3	79	620,0	88,38	531,6	6,709
4	77	600,0	73,16	526,8	6,850
5	76	583,0	70,80	512,2	6,769
6	77	590,0	68,79	521,2	6,780
7	77	589,0	69,62	519,4	6,778
8	77	590,0	69,50	520,5	6,789

Çizelge 4. İkinci numuneye ait Bond Testi Sonuçları

3.4.2 İki öğütmeli magdalinovic yöntemi sonuçları

Bu yöntemle G (öğünebilirlik değeri) = 6,212 g/devir.P₈₀=100 µm olarak tespit edilmistir. Bond indeksi İş testlerine alternatif olarak öğütme türetilen İki kademeli Magdalinovic vönteminin uygulanması neticesinde ikinci numunenin iş indeksi değeri 4,64 kWs/t olarak bulunmuştur.

3.4.3 Üç öğütmeli magdalinovic yöntemi sonuçları

Bu yöntemle G (öğünebilirlik değeri) = 6,185 g/devir. P_{80} =106 µm. olarak tespit edilmiştir.Bir diğer alternatif yöntem olan Üç öğütme kademeli Magdalinoviç yönteminin uygulanması neticesinde iş indeksi değeri 4,66 kWs/t olarak bulunmuştur.

4 SONUÇLAR

4.1 Birinci Numuneye Ait Sonuçlar

1. numunenin iş indeksi tayininde 3 farklı yöntem uygulanmış olup birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Üç yöntemin sonuçlarının ortalaması alındığı takdirde numunenin iş indeksi 5,19 kWs/t olarak belirlenmiştir. Farklı yöntemlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 5'te gösterilmektedir.

Çizelge 5 Birinci Numuneye ait Sonuçlar.....

Standart Bond Yöntemi	5,24 kWs/t
2 Öğütmeli Magdalinovic Yöntemi	5,13 kWs/t
3 Öğütmeli Magdalinovic Yöntemi	5,20 kWs/t

4.2 İkinci Numuneye Ait Sonuçlar

Üç yöntemin sonuçlarının ortalaması alındığı takdirde numunenin iş indeksi 4,62 kWs/t olarak belirlenmiştir. Farklı yöntemlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 6'da gösterilmektedir.

Çizelge 6. İkinci numuneye ait sonuçlar

Standart Bond Yöntemi	4,56 kWs/t
2 Öğütmeli Magdalinovic Yöntemi	4,64 kWs/t
3 Öğütmeli Magdalinovic Yöntemi	4,66 kWs/t

4.3 İrdeleme

Elde edilen bu sonuçlar, literatürde yer alan sonuçlarla karşılaştırıldığında numunenin büyük bir çoğunluğunun barit olduğunu, kimyasal analizlerin yanı sıra, açıklar niteliktedir.

Endüstriyel bir standart haline gelmiş olan Standart Bond Yöntemini' nin sonuçlarını referans kabul ettiğimiz takdirde alternatif yöntemlerin sonuçları % 2 ' den daha küçük bir hata payına sahiptir. Bu oran ihmal edilebilirdir ve alternatif yöntemlerin doğru sonuçlar verdiğini gösterir. Bununla beraber Standart Bond Yönteminin uygulama süresi İki Öğütmeli Magdalinovic ve Üç Öğütmeli Magdalinovic metotlarından fazla olup vaklasık dört kat daha uzun sürmektedir. Bu durum alternatif vöntemlerin de uygulanabilirliğini göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Bitirme çalışmalarım süresince, tüm laboratuarlar ve imkanlardan faydalanmamı sağlayan, Bölüm Başkanı Sayın **Prof. Dr. Ayhan A. SİRKECİ'** ye ve Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine çok teşekkür ederim.

Bitirme tezi çalışmalarım sırasında danışmanlık yapan, konu seçiminden çalışma sürecinin sonuna kadar her türlü desteği sağlayan Cevher Hazırlama Mühendisliği öğretim üyesi Sayın **Prof. Dr. Hayrünnisa ATEŞOK'** a teşekkürlerimi sunarım.

Deneylerim sırasında bana yol gösteren, her türlü kolaylığı sağlayan, desteğini ve sabrını hiç esirgemeyen Sayın **Dr. Müh. Onur GÜVEN'** e yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Bayraktar İ., 2007. Öğütme Hesaplarında Bond Formülleri
- Çelikkan S., 2013. "Bond İş İndeksi Tayininde Alternatif Yöntemler", Bitirme Tezi.
- Deister, R.J., 1987. How to Determine the Bond Work Index Using Laboratory Lab Ball Mill Tests, Eng. and Min. J., Feb., 42-45.
- Gaudin, A.M., 1939. "Crushing and Grinding Efficiency" Principles Of Mineral Dressing, s. 129-131
- İpek, H.; 2003. "Seramik Hammadde Karışımlarının Öğütülebilirlik Özelliklerinin İncelenmesi", Doktora Tezi.
- Karra, V.K., 1981. Simulation of Bond Gindability Test, CIM Bullettin, 74, No.827:

195-199

- Kaytaz, Y., 1990. "Öğütme" Cevher Hazirlama, s. 35-41.
- Küreci E., 2014. "Bond İş İndeksi Tayininde Alternatif Yöntemler", Bitirme Tezi.
- Magdalinovic N.; 1997. Gindability of Ores, Belgade, s. 19-48
- Yıldız, N., 2010. Çimento Üretimi. S.93.
- Yıldız, N., 2014. Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme. S.19-35

Şekil Faktörü ve Pürüzlülüğün Kalsit Cevherinin Flotasyon ve Koagülasyonuna Etkisi

Effect of Shape Factor and Roughness on Flotation and Coagulation of Calcite

B. Yalauç, O. Güven, M. S. Çelik

İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölüm, İstanbul

ÖZET Bu çalışmada öğütme işleminin kalsit parçacıkları üzerindeki şekil faktörü ve pürüzlülüğe etkisi incelenmiştir. Ayrıca, şekil faktörü ve pürüzlülüğün flotasyon ve koagülasyon işlemlerinde etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Mikroflotasyon ve koagülasyon işlemleri -0.053+0.038 mm kalsit numunesi ile pH 7.8 ± 0.2 aralığında farklı SDS (sodyum dodesil sülfat konsantrasyonlarında gerçekleştirilmiştir. Öğütme sonuçları tanelerin yuvarlaklığı azaldıkça flotasyon veriminde artış olduğunu göstermiştir. $5x10^{-5}$ M SDS konsantrasyonunda kalsit numunesinin yüzdürülebilirliğinin artışı gözlemlenmiştir. Bu kritik nokta kalsitin hızlı koagülasyon noktasına karşılık gelebilir. Pürüzlülüğün etkisi şekil faktörü değiştirilmeden kaba bir yüzey oluşturularak incelenmiş ve $1.25x10^{-4}$ M SDS konsantrasyonu eşliğinde kalsit numunesi yüzdürülmüştür. Morfolojik özellikler ve bu özelliklerin kalsit numunesindeki etkisi koagülasyon ve flotasyonda kabarcık-tane ve tane-tane etkileşimlerini açıklamada kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Şekil Faktörü, Pürüzlülük, Flotasyon, Koagülasyon

ABSTRACT In this study, the effect of grinding on the morphological properties of calcite particles was investigated by shape and roughness analyses. Furthermore, their effects on flotation and coagulation process were studied as a function of morphological indices. Coagulation and micro-flotation tests were carried out with -0.053+0.038 mm calcite particles under different SDS (sodium dodecyl sulphate) concentrations as collector at pH 7.8 ±0.2. Grinding results showed that particle roundness decreases and exhibits a peak at a certain grinding time which also corresponds to maximum flotation recoveries. Flotation of calcite with SDS yields a breakthrough point at 5×10^{-5} M SDS above which the floatability of calcite sharply increases. This critical point roughly corresponds to the fast coagulation of calcite. The effect of roughness was studied by creating a rough surface on calcite without altering its shape factor and then floated at an incipient concentration as 1.25×10^{-4} M SDS. Morphological features and their alteration on calcite were used to explain the bubble-particle and particle-particle interactions in both coagulation and flotation.

Keywords: Shape Factor, Roughness, Flotation, Coagulation

1 INTRODUCTION

1.1 General Information

Flotation and coagulation are two of the most important processes in surface chemistry which involve the influences of different parameters like pH of the medium, reagent type, temperature, solid loading. Many parameters like those mentioned above are effective on the interactions among particles and particle-bubble. The influence of particle morphology in terms of shape factor and roughness plays one of the most important role during these interactions.

The aim of this study is to investigate the effects of particle morphology on coagulation and flotation characteristics of calcite particles.

1.2 Materials and Methods

In this study, coarse calcite sample 20 mm in size was supplied by Omya Mining Company, Turkey. The pre-analysis of the sample performed by X-Ray Flouroscence (XRF) technique revealed that the sample was composed of 98.3 % CaCO₃, 0.01 % SiO₂, 0.008 % Fe₂O₃ and other components by weight. The shape factor and roughness were analyzed with the Image J analysis program upon passing the sample through jaw, cone and roller crushers. Grinding was performed in a laboratory type ceramic ball mill as a function of grinding time. Coagulation and micro-flotation tests were carried out with -0.053+0.038 mm calcite particles under different SDS concentrations as collector at pH 7.8 ± 0.2 .

2 EXPERIMENTAL STUDIES

2.1 Image analysis and morphological characterization

The ground samples of -0.053+0.038 mm in size were analyzed using digital microscope images (magnification 500x) in order to detect the morphological changes on the particle surfaces. The image analysis for each representative sample was performed with ImageJ software based on the particle projections obtained from the photographs regarding their roundness values which are the ratio of perimeter and area of particles with the equation ($4\pi A/P^2$).

2.2 Micro-flotation Experiments

Micro-flotation tests were carried out using a 150 cm^3 micro-flotation column cell with a ceramic frit (pore size of 15 µm) which was mounted on a magnetic stirrer and a magnetic bar used for agitation. An anionic flotation collector namely SDS (Sodium dodecylsulfate) was used. The flotation tests were carried out with 1 g of ground and sized samples in -0.053+0.038 mm. The samples were first conditioned with the collector solution at desired concentration for 5 min. The pH value of the solutions was

kept constant as 7.8 ± 0.2 throughout the experiments. When conditioning was completed, the suspension was transferred to the flotation cell and the samples were floated for 1 min using N₂ gas at a flow rate of 60 cm³/min. The amount of calcite particles in both float and sink products was determined by gravimetric analysis.

2.3 Coagulation Experiments

In these studies, a hand-made plexy glass tube with 500 ml volume was used. The compartment above the spigot had a volume of 220 cm³. In addition, the volume of the coagulated section was 280 cm³. In order to calculate the coagulation efficiency (Ec),

$$E_c = \frac{(W_i - W_f)}{W_i} * 100$$

where W_i refers to the initial weight of solid in a given volume (280 ml) of the suspension before coagulation, W_f refers to that in the supernatant solution after coagulation.

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Particle Morphology Upon Crushing and Grinding

As shown in Figure 1, the products of roll crusher were found to produce more round particles compared to those of cone crusher. In other words, while the roundness of -1+0.841 mm cone crusher product yielded 0.685, that of roll crusher in the same size range was a little higher as 0.721. Similar dependencies were obtained for other size ranges instead of -0.600+0.500 mm. This is indeed an expected situation, because upon decreasing the particle size under 0.500 mm most particles tended to yield a roundness close to their original value of about 0.719. In addition, while a good trend was obtained for cone crusher, the trend was variable for roll crusher products in terms of their roundness values.



Figure 1. Image analysis of crushed particles.

As shown in Figure 2, the amount of material passing through 53 μ m increased as a function of grinding time, as expected. On the other hand, an interesting trend was observed on the roundness parameters of particles in that after a significant increase at 30 seconds grinding time, a gradual decrease was obtained with grinding time up to 480 seconds.



Figure 2. Roundness of calcite particles as a function of grinding time in seconds.

3.2 Micro-flotation tests with ground particles

Figure 3 illustrates the dependence of grinding time on flotation recoveries at different collector concentrations. While the increase in roundness at low collector concentrations ($6x10^{-5}$ M) is significant for

flotation increasing the concentration to 8X10⁻⁵ M and then to 1.25x10⁻⁴ M gradually decreases flotation recoveries which are in line with the literature (Hernainz and Calero, 2000) At 1.25x10⁻⁴ M SDS concentration, a significant increase in roundness at 30 sec. grinding time accompanies a in flotation accompany recoveries a pronounced decrease in flotation recoveries.; this is in accord with the expected correlation between morphology and particle-bubble interactions.



Figure 3. Flotation recoveries as a function of grinding time at different collector concentrations.

3.3 Micro-flotation tests with abraded particles

Roughness was done through abrading particles in 50 cc falcon tubes by mixing them with SiC (4 g calcite/1 g SiC) for 15, 30, 45, 60 and 90 minutes. Considering the concentration dependency of coagulation, all the tests with rough particles were carried out with 10⁻⁵ M SDS concentration. It was observed that the roughness as time increases coagulation efficiency gives a peak at 45 minutes abrasion time. In order to find the breakthrough concentration between coagulation and flotation, coagulation characteristics of ground calcite particles were investigated as a function of SDS concentration.

As shown in Figure 4, upon increasing the abrasion time the roughness of calcite particles increased from 24.82 to 25.81 Ra (Average Roughness) after 30 minutes of abrasion. Contrary to other findings with minerals such as quartz, alumina and talc, the flotation recoveries followed a slight negative trend upon increasing the roughness values. However, these results are not comprehensive enough to confirm the literature results. Experiments in a narrower concentration range are required to deduce a generalization. Increasing roughness values, adsorption of collector was found to be higher (Koh et al. 2009, Rezai et al. 2010). However, some researchers also claimed that increasing roughness resulted in lower recoveries indicative of higher wettabilities (Ulusoy and Yekeler, 2004).



Figure 4. Micro-flotation results as a function of abrasion time at 1.25×10^{-4} M collector concentration.

3.4 Coagulation of calcite particles

As mentioned in the methods section, in order to find the breakthrough concentration between coagulation and flotation, coagulation characteristics of ground calcite particles were investigated as a function of SDS concentration. Coagulation results along with flotation are presented in Figure 5. The results indicated that after a definite concentration of $3x10^{-5}$ M, a considerable increase in coagulation efficiency was obtained and then reached a plateau. In other words, as the SDS concentration increased, amount of aggregation proportionally increased.



Figure 5. Flotation and coagulation of calcite versus collector concentration.

4 CONCLUSIONS

-The roundness of ground calcite particles decreased with grinding time up to 960 seconds above which the particles became more round.

Flotation recoveries were found to correlate well with the roundness of particles; the higher the roundness the less flotation recovery. The breakthrough point at which flotation recoveries increased sharply corresponded 5x10-5 **SDS** to Μ concentration.

- The effect of shape factor and roughness on flotation tested at 6x10-5 M and 8x10-5 M SDS concentrations revealed that while shape factor is more effective at high collector concentrations, roughness became more pronounced at low collector concentrations.

- Coagulation of calcite appeared to follow flotation recoveries but as to the onset of coagulation the data were not sufficient to make a more general deduction.

REFERENCES

Hernainz, F., Calero, M. (2000). Froth Flotation: kinetics models based on chemical analogy.

Chemical Engineering and Processing 40, (2001): 269–275. (metinde yok)

- Koh, P.T.L., Hao, F.P., Smith, L. K., Chau, T.T., Bruckard, W.J., 2009. The effect o particle shape and hydrophobicity in flotation. Int. J. Miner. Process 93, 128-134.
- Rezai, B., M. Rahimi, M. R. Aslani, A. Eslamian, and F. Dehghani. 2010. Relationship between surface roughness of minerals and their flotation kinetics. In Proceedings of the XI International Mineral Processing and Technology Congress, 232-238.
- Ulusoy, U., C. Hicyilmaz, and M. Yekeler. 2004. Role of shape properties of calcite and barite particles on apparent hydrophobicity. Chemical Engineering and Processing 43 (8):1047-1053.

Enrichment of Muğla-Milas Region Feldspar without using Hydrofluoric Acid

Hidroflorik Asit Kullanılmadan Muğla-Milas Bölgesi Feldspatlarının Zenginleştirilmesi

C. Özdoğan, Z. Yeşilyurt, M.O. Kangal Istanbul Technical University, Mineral Processing Engineering Department, Istanbul

ABSTRACT In this study flotation method was used to enrich feldspar ore from Muğla-Milas region. This method was carried out in the absence of HF and the effect of feed grain size on feldspar segregation was investigated. As a result of this examination, it was determined what amount of the highest grade would be obtained with the reagents along with the efficiency. All of the studies were started with a material size of -300 micron, and as a result of the chemical analysis, it was determined that the most effective size range is -300+38 microns. It was decided that using 400 g/t Derna7 in the biotite-oxide cycle, 15 g/t A4 in the muscovite cycle and 2500 g/t Duomeen in the feldspar cycle would give the best results.

Keywords: Feldspar, flotation, Duomeen TDO.

ÖZET Bu çalışmada Muğla-Milas bölgesinden temin edilen feldspat cevherinin zenginleştirilmesinde flotasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, HF'siz ortamda yapılmış ve feldspat ayrımında besleme tane boyutu etkisi incelenmiştir. Bu incelemenin sonucunda en yüksek tenörün, verimle birlikte hangi miktarlarda reaktiflerle sağlanacağına bakılmıştır. Çalışmalara tamamı -300 mikron malzeme boyutuyla başlanmış, yapılan kimyasal analizler sonucunda en etkili boyut aralığının -300+38 mikron aralığında olduğu saptanmıştır. Biyotit-Oksit devresinde 400 g/t Derna7, muskovit devresinde 15 g/t A4 ve Feldspat devresinde 2500 g/t Duomeen kullanmanın en iyi sonuç vereceğine karar verilmiştir. Anahtar kelimeler: Feldspat, flotasyon, Duomeen TDO.

1 INTRODUCTION

Feldspars forming 60-65% of the earth crust are anhydrous aluminum silicates which has got similar structures and properties with each other. These minerals contain various minerals changing from clays to quartz, named as industrial raw materials. Feldspar and quartz minerals have a significant role in our countries industry. Feldspar and quartz are indispensable commodities to ceramic and glass industries, respectively. Feldspar is used in glass industry due to its alkali and alumina contents, but minerals such as nepheline syenite and glass residues are alternative form of substitutes for feldspar. High alkali contents are required in ceramic industry, but the use of quartz is limited since it decreases the alkali percentage of ceramic ingredients. Separation of these minerals from each other is quite difficult because they have similar properties. Therefore, flotation is primary method for separation of feldspar from quartz.

Depending on the mineralogical structures of the feldspar ores, different enrichment processed can be applied. In this study, feldspar ore taken from the Muğla-Milas region is enriched using the flotation method. While the aim, is to investigate selective feldspar and quartz separation without using HF (hydrofluoric acid), the effect of particle size is revealed.

2 GENERAL INFORMATION

Feldspar is derived from the German word feld, which means field, and spar, which means crystal. This name reflects the minerals abundance, as the most crystalline material found in the field is feldspar.

Over half of the Earth's crust is composed of a single group of materials known as the feldspars. Feldspar plays an important role in building stones, glass industry, ceramics industry, plastic industry. In economic terms these minerals show significance for what they become than what they are.

As regard to the feldspar industry in our country, it has an important place in mineral exports. The industrial needs for production of ceramics and glass are met by the suppliers from Turkey. According to the investigations, the quality of the products has reached the European standards.

Glass industry is the main consumption area of feldspars. Approximately 60% of Feldspar is consumed in this sector. In other industries branches, feldspar is preferred due to its bonding properties, hardness and white color. Usage rates of feldspars according to industry branches is as follows; The glass industry is 60%, the ceramic industry is 35% and the other industries are 5%.

Quartz also reduces the quality, as is the oxidized minerals and mica in the feldspar. Feldspar and quartz are separated industrially only by flotation method. Although with this separation process, both the quality is increased and the product demanded by the industry is provided (Gülsoy et al., 2002).

3 EXPERIMENTAL STUDIES

3.1 Materials

The representative ore sample was obtained from Muğla-Milas Region operated by Straton Maden. All the studies were performed on were carried out on the nonmagnetic product of Slon type magnetic separator, which was sent by the company. The chemical analyses were performed using the XRF method. According to the results, it was determined that the sample contains 0.096% Fe₂O₃, 67.9% SiO₂, 18.03% Al₂O₃, 10.37% Na₂O, 0.24% K₂O, 0.64% CaO, 0.275% TiO₂, 0.001% MgO.

3.2 Method

Flotation experiments were carried out in three stages: biotite+oxide, muscovite and feldspar flotation. In the flotation experiments, the sample, which is below 0.300 mm was used. Flotation experiments were performed using a Denver type selfventilated laboratory scale flotation machine and a two-liter flotation cell at 1400 rpm.

pH Adjusters: In order to obtain the desired result from the flotation, it is reagents which are used to modify the pulp medium, that is to make it basic compared to the acidic place. For example, lime, lime milk, NaOH, (in the form of 1-2% molten), cement (specific calcination per 200-800 g/t ore), H₂SO₄ are pH adjuster reagents. In general, lime or lime milk is used because it is easy to find and cheap. However, Ca^{2+} ions, which contain in lime, are not use because they cause clumping in silicate minerals. Instead, NaOH was used to make the environment basic. H₂SO₄ was used for the same reason to ensure that the environment is acidic (Cilek, 2006).

4 RESULTS

4.1 Flotation Experiments

The flotation flow diagram used in experiments is shown in Figure 1.



Figure 1. The flotation flow diagram

4.1.1. Studies with Derna-7

All -300-micron size material was sieved using 38-micron sieve and flotation experiments were performed at -300+38 microns and metallurgical equilibrium tables were formed with the chemical results obtained. These tables are prepared by applying the flotation conditions given in Table 1. The metallurgical balance tables prepared using 1600, 2400 and 3200 g/t Derna7 are given in Figure 2.

The results of flotation experiments of feldspar at -300+38 micron size were evaluated among themselves and most effective results were obtained when the Na₂O contents and recoveries of feldspar concentrates were determined as 1600 g/t Derna7 is obtained when used. The experiment was decided to continue using 1600 g/t Derna7.

Table 1. Flotation conditions for Derna-7



Figure 2. Experimental results for Derna-7

4.1.2. Studies with A-4

All -300-micron size material was sieved using 38-micron sieve and flotation experiments were performed at -300+38 microns and metallurgical equilibrium tables were formed with the chemical results obtained. These tables are prepared by applying the flotation conditions given in Table 2. The metallurgical balance tables prepared using 60, 80, 100 and 120 g/t A4 are given in Figure 3.

The results of flotation experiments of feldspar samples at -300+38 micron size were evaluated among themselves and most effective results were obtained when the Na₂O contents and recoveries of feldspar concentrates were determined as 100 g/t A4 is obtained when used. The experiment was decided to continue using 100 g/t A4.



Table 2. Flotation conditions for A-4

Figure 3. Experimental results for A-4

4.1.3. Studies with Duomeen-TDO

All -300 micron size material was sieved 38 micron sieve and flotation using experiments were performed at -300+38 microns and metallurgical equilibrium tables were formed with the chemical results obtained. The flotation conditions given in Table 3. The metallurgical balance tables prepared using 750, 1500 and 2500 g/t Duomeen TDO are given in Figure 4.

The results of flotation experiments of feldspar samples at -300+38 micron size

were evaluated among themselves and most effective results were obtained when the Na₂O contents and recoveries of feldspar concentrates were determined as 2500 g/t of Duomeen TDO concentration

Table 3. Flotation condition	ons for Duomeen
------------------------------	-----------------

Biotite + Oxide Stage						
pН			9.	5 (with	NaOH a	ddition)
Derna 7	1		40	0+400-	+400+40	00 g/t
		Musc	ovite S	tage		
pН			Na	atural p	H	
A-4			15	+15+15	5+15 g/t	
		Feld	spar St	age		
pН			2.1	l (with	H ₂ SO ₄ a	addition)
Duomee	en		75	0, 1500), 2500 g	g/t
	2,0		•			12,0
Content, %	1,5					- 11,5
nd TiO ₂ (1,0					- 11,0
Fe ₂ O ₃ a	0,5				-Fe2O3 -TiO2 -Na2O	- 10,5
	0,0 500	1000	1500	2000	2500	10,0
Duomeen IDO Concentration, g/t						

Figure 4. Experimental results for Duomeen-TDO

CONCLUSIONS

When the results of flotation experiments of feldspar at -300+38 micron size were evaluated, the most effective results were obtained as 1600 g/t Derna7, 100 g/t A4 and 2500 g/t of Duomeen TDO.

REFERENCES

- Cilek, E.C., 2006. Mineral Flotasyonu, Isparta, s.34-53.
- Gülsoy, Ö. Y., Kılavuz, F. Ş., 2002. Potasyum feldspat kuvars flotasyonunda toplayıcı olarak metal tuzları ile birlikte Na-oleat kullanımı, Madencilik.

Oksitli Bakır Cevherlerinin Flotasyonla Zenginleştirme Koşullarının Araştırılması

Investigation of Enrichment Conditions of oxide type copper ores by flotation

K.M. Anbar, Z. Yeşilyurt, A. Güney İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Çorum Sungurlu bölgesinede "red-bed" yatak tipinde yataklanan bölgeden alınan numunelere farklı koşullarda flotasyon deneyleri yapılmış. Sülfürleme ve direkt flotasyon verileri karşılaştırılmış aynı zamanda sülfürleme flotasyonunda kollektör miktarı ve sülfürleştirici reaktif miktarlarının flotasyona etkileri incelenmiştir. Yapılan deneylerde tamamı -1mm'nin altına kırılan cevher 15+15+15 şeklinde üç kademe de bilyalı değirmen ile öğütülmüş ve d₈₀ boyutunun 74 mikron olduğu saptanmıştır. Deneylere sülfürleme flotasyonuyla başlanmıştır; ilk olarak Na₂S ile sülfürleştirme sonrası optimum kollektör miktarının belirlenmesi amacıyla 100gr/t, 200gr/t ve 400gr/t konsantreli ksantat türü kollektör (SIBX) miktarlarıyla deneyler yapılmış ve bu çalışmalarda en yüksek verimli çalışma 200 gr/ton SIBX kullanılarak elde edilmiştir. Sülfürleştirici etkisinin incelendiği flotasyonlarda ise 1000gr/t, 1500gr/t ve 2000gr/t Na₂S miktarları denenmiştir. En yüksek konsantre bakır içeriği ve verimi(% 70 verimle % 22 Cu içeren konsantre) 200gr/t SIBX ve 1000gr/t Na₂S ile elde edilmiştir. Oksitli bakır cevherinin direkt flotasyonu için kollektör olarak Na-Oleat kullanılarak yapılan deneylerde ise başarılı bir zenginleştirme gerçekleşmemiştir. AnahtarKelimeler: Flotasyon, red bed, sülfürleştirme, bakır konsantresi

ABSTRACT In this study; Flotation experiments were carried out under different conditions for oxidized copper. Experimental samples were taken from "red-bed" type ore deposit in Çorum Sungurlu region. Sulphidized and direct flotation data were compared, also effects of collector amount and sulfurizing reactive amounts on flotation were investigated at the same time in the sulfurization flotation. In the experiments conducted on all ore fractured down to -1 mm was grounded with a ball mill in 15 + 15 + 15 steps and the size of d₈₀ was found to be 74 microns. Experiments were initiated by sulfur flotation; (SIBX) concentrates of 100 gr/t, 200 gr/t and 400 gr/t concentrates were used to determine the optimum amount of collector. In the flotation that were researched the sulphurizing effect, the amount of SIBX were kept constant at 200 g/t and the amount of 1000gr/t, 1500gr/t and 2000gr/t Na₂S were tried respectively. When 200 gr/t SIBX was used, the concentrate containing 22% Cu with about 70% yield was obtained with 200gr/t SIBX and 1000gr/t Na₂S. In experiments using Na-Oleate as a collector for direct flotation of oxidized copper ore, no successful enrichment has been achieved.

Keywords: flotation; red bed; sulphidation; copper concentrate

1 GİRİŞ

Bu çalışmada; oksitli bakır yönelik farklı koşullarda flotasyon deneyleri yapılmıştır. Numuneye zenginleştirme öncesi yapılan mineralojik analiz deneylerine göre malakit $(Cu_2CO_3(OH)_2)$, yer yer malakitleşmiş kuprit (Cu₂O) ve kuprit içinde saçınım halde ince taneli nabit bakır (Cu) avrıca tenorit (CuO) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1). Çorum Sungurlu bölgesinede "red-bed" yatak tipinde yataklanan bölgeden alınan numunelere farklı kosullarda flotasyon Sülfürleme ve direk deneyleri yapılmış. flotasyon verileri karsılastırılmıs aynı zamanda sülfürleme flotasyonunda kollektör miktarı ve sülfürleştirici reaktif miktarlarının flotasyona etkileri incelenmiştir.



Şekil 1. 200x büyütmede küprit (kırmızı iç yansıma), hematit (turuncu iç yansıma) ve malakit (yeşil iç yansıma)

1.1 Malzeme

Calışmalarda tüvanan cevher-0.1 mm' öğütülmüştür. Malzemenin d₈₀ ve d₅₀ boyutları sırasıyla 74 ve 38 mikrondur Cevher; %0,78 Cu, %57,7 SiO₂, %9,65 %3,60 Fe_2O_3 , %10,70 CaO Al_2O_3 , icermektedir. Sülfürleştirme Sonrası flotasyon deneylerinde kollektör olarak sodyum izobütil ksantat, köpürtücü olarak çam yağı kullanılmıştır. Sülfürleme reaktifi olarak ise Na₂S kullanılmıştır. Doğrudan flotasyonunda Na-Oleat bakır oksit kullanılarak flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

1.2 Cihaz

Denver	marka	laboratuvar	tipi
konvansiy	onel	flotasyon	cihazı
kullanılmı	ştır.	·	

1.3 Yöntem

Deneyler laboratuvar tipi Denver Flotasyon Makinesi'nde 2,5 litrelik hücrelerde gerçekleştirilmiştir. Sülfürlü flotasyonda ilk olarak 500gr'lık d₈₀'i -74mikron olan numune ile hazırlanmış pülp, flotasyon hücresi içerisine beslenmiştir. Ardından sülfürleyici kimyasal Na₂S ilave edilip 15 dakika boyunca kondisyon süresi verilip 15 dakikanın sonunda, kollektör olarak sodyum izobütil ksantat (SIBX) ve köpürtücü (Çam Yağı) ilave edilmiştir. 3 dakika kıvam süresi tutulmus ve süre sonunda 1. kademe köpük alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından tekrar kollektör ilave edilip 3 dakika sonra tekrar köpük alınmıştır.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Sülfürleştirme Sonrası Flotasyon Deneyleri

Flotasyon deneylerinde kollektör olarak sodyum izobütil ksantat kullanılmıştır. Köpürtücü olarak çam yağı kullanılmıştır. Sülfürleme reaktifi olarak ise Na₂S kullanılmıştır.

2.1.1 Ksantat Konsantrasyonunun İncelendiği Deneyler

50 g/t kolektör kullanıldığında flotasyon gerçekleşmediğinden deneylere 100 g/t ile başlanmıştır. 100 gr/t SIBX kullanıldığında ilk kademede % 65,7 verimle % 13,9 Cu içeriğinde konsantre elde edilmiştir. iki kademe flotasyon sonunda 0,18 Cu içerikli bakır % 26,1 kayıpla artık atılmıştır.

600 gr/t kolektör kullanıldığı kollektör miktarının etkisinin incelendiği deneylerde en iyi sonuçlar 200 gr/t ile yapılan ilk kademe deneyde gözlenmiş; yaklaşık % 70 verimle % 22 Cu içeren konsantre elde edilmiştir. Üç kademe flotasyon sonunda konsantre Cu kazanma verimi % 82,3 olmuştur.

Toplam 1200 g/t kolektör kullanılan deneyin 400 gr/t kollektör ilk kademesinde metal kazanma verimi ve konsantre içeriğinde azalma meydana gelmiştir.

2.1.2 Sülfürleyici (Na₂S) Miktarının Etkisinin İncelendiği Deneyler

Sülfürleyici miktarının etkisini incelemek 1000 g/t, 1500 g/t ve 2000 g/t Na₂S miktarlarında optimum kollektör miktarı olan 200+200+200 g/t sabit tutularak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları sırasıyla Tablo 1,2 ve 3'de verlmektedir.

Tablo 1. En Uygun Ksantat

Konsantrasyonunda (200 gr/t+200 gr/t+200 gr/t) 1000 gr/t Sülfürleyici Miktarının Etkisi

Karıştırma Hızı	1400 d/d
рН	(doğal) 7,8
Na ₂ S	1000 g/t
Kıvam	15 dak
рН	9,3
SIBX	200+200+200 g/t
Çamyağı	40+0 g/t
Kıvam	3+3 dak
Flotasyon	3+3 dak

Ürünler	Miktar %	Cu	
		İçerik %	Verim %
Yüzen1	2,6	22,26	69,7
Yüzen2	1,8	3,24	7,1
Yüzen3	2,6	1,74	5,5
Batan	92,9	0,16	17,7
Toplam	100,0	0,84	100,0

Tablo 2. En Uygun Ksantat

Konsantrasyonunda (200 gr/t + 200 gr/t + 200 gr/t) 1500 gr/t Sülfürleştirici Miktarının Etkisi

Karıştırma Hızı	1400 d/d
рН	(doğal) 7,8
Na ₂ S	1500 g/t
Kıvam	15 dak
рН	9,3
SIBX	200+200+200 g/t
Çamyağı	40+0 g/t
Kıvam	3+3 dak
Flotasyon	3+3 dak

Ürünler	Miktar %	Cu	
		İçerik %	Verim %
Yüzen1	2,3	16,22	67,3
Yüzen2	2,0	5,73	17,0
Yüzen3	1,9	1,74	4,8
Batan	93,8	0,18	24,5
Toplam	100	0,69	100,0

Tablo 3. En Uygun Ksantat Konsantrasyonunda (200 gr/t + 200 gr/t+200gr/t) 2000 gr/t Sülfürleştirici Miktarının Etkisi

Karıştırma Hızı	1400 d/d
рН	(doğal) 7,8
Na ₂ S	2000 g/t
Kıvam	15 dak
рН	9,3
SIBX	200+200+200 g/t
Çamyağı	40+0 g/t
Kıvam	3+3 dak
Flotasyon	3+3 dak

Ürünler	Miktar %	İcerik	Cu Verim
		%	%
Yüzen1	1,9	18,8	54,0
Yüzen2	2,4	3,24	11,5
Yüzen3	1,8	1,32	3,6
Batan	93,9	0,22	30,9
Toplam	100,0	0,67	100,0

Tablo 1 den görüldüğü üzere en uygun sülfürleyici miktarı 1000 g/t olarak bulunmuştur. Sülfürleyici miktarının artması flotasyonu bozmuş ve bastırıcı görevi görmüştür. Sülfürleyici reaktiflerle yapılan flotasyonda reaktif miktarlarının hassas seçiminin çok önemli olduğu anlaşılmıştır.

2.1.3 Na Oleat Kullanılarak Doğrudan Yapılan Flotasyon Deneyleri

Doğrudan bakır oksit flotasyonunda Na-Oleat kullanılarak flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. pH 9,5'ta gerçekleştirilen deneylerde kollektör miktarı test edilmiştir. Bu deneylerin koşulları ve sonuçları Tablo 4 ve 5'de görülmektedir. Tablo 4. 100 gr/t + 100 gr/t +100 gr/t Na-Oleat Konsantresi İle Yapılan Flotasyon Deneyi Koşulları Ve Sonuçları

Karıştırma hızı	1400 d/d
рН	9,5 (NaOH ile)
Na-Oleat	100+100+100g/t
Çamyağı	20+0+0 g/t
Kıvam	3+3+3 dak
Flotasyon	3+3+3 dak

Ürünler	Miktar %	Cu	
		İçerik	Verim
		%	%
Yüzen1	6,3	0,59	5,2
Yüzen2	8,6	0,54	6,5
Yüzen3	6,2	0,61	5,3
Batan	78,9	0,75	83,0
Toplam	100	0,71	100

Tablo 5. 200 gr/t + 200 gr/t +200 gr/t Na-Oleat Konsantresi İle Yapılan Flotasyon Deneyi Koşulları Ve Sonuçları

Karıştırma hızı	1400 d/d
pH	9,5 (NaOH ile)
Na-Oleat	200+200+200g/t
Çamyağı	20+0+0 g/t
Kıvam	3+3+3 dak
Flotasyon	3+3+3 dak

	Milton	Cu	
Ürünler		İçerik	Verim
	70	%	%
Yüzen1	17,9	0,72	17,4
Yüzen2	9,1	0,77	9,4
Yüzen3	4,4	0,95	5,6
Batan	68,7	0,73	67,6
Toplam	100,0	0,74	100,0

Tablo 4 ve 5' den görüldüğü gibi kollektör olarak Na-Oleat kullanılmasıyla yapılan direkt flotasyon deneyleri sonuçlarına göre herhangi bir zenginleştirme gözlenmemiştir.

3 SONUÇLAR

Oksitli bakır cevherlerine 1000 gr/ton sülfürleştirme reaktifi (Na₂S) kullanılarak sülfürleştirme sonrası ksantat türü (SIBX) kollektörün konsantrasyonunun etkisinin incelendiği deneylerde 100 g/t SIBX kullanıldığında ilk kademede % 65,7 verimle %13,9 Cu içeriğinde konsantre elde edilmiştir. İki kademe flotasyon sonunda 0,18 Cu içerikli bakır %26,1 kayıpla artık atılmıştır, 200gr/t SIBX kullanıldığında yaklaşık % 70 verimle % 22 Cu içeren konsantre ilk kademede elde edilmiştir.

Sülfürleştirici reaktif (Na₂S) miktarı değiştirilerek, kollektör (SIBX) miktarı sabit ve optimum koşullarda (200 gr/ton) tutularak yapılan deneyler de ise; 1000 gr/ton (Na₂S) miktarında ilk kademede yaklaşık % 70 verimle % 22 Cu elde elilmiştir, 1500 gr/ton (Na₂S) miktarında ilk kademede %53.7 verimle 16.22 içerikli konsantre bakır elde edilmiştir, 2000 gr/ton (Na₂S) ilk kademede %54 verimle % 18.22 içerikli bakır konsantresi elde edilmiştir. Bu deneyler sonucunda en yüksek verim ve içeriğin 1000 gr/ton Na₂S konsantrasyonunda elde edildiği gözlemlenmiştir.

Doğrudan konsantrasyonda ise farklı kollektör (Na-Oleat) konsantrasyonları denenmiş fakat başarılı sonuçlar elde edilememiştir.

Yapılan bütün deneysel çalışmaların sonucunda "red-bed" tipi bakır yatağından alınan oksitli bakır cevherleri numunesinin flotasyonunda 1000 gr/ton Na₂S ve 200 gr/ton SIBX ile yapılan sülfürleştirme sonrası flotasyon en verimli flotasyon yöntemi olarak tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Öncelikle çalışmasının bu bitirme yapılmasına olanak sağlayan Bölüm Baskanımız Prof. Dr. Ayhan Ali SİRKECİ'ye, danışmanlığımı üstlenerek bu çalışmayı yapmamı sağlayan ve destekleyen çok değerli hocam Prof. Dr. Ali GUNEY'e, tezimin her aşamasında bana yardımcı ve destek olan çok değerli Arş. Gör. Zeynep YESILYURT'a ve her zaman yanımda olan aileme teşekkür ederim.

KAYNAKÇA

Aral, H., 1990. " 'Red Bed' Tipi Bakır Yatakları ve Türkiye'den Örnekler", *MTA dergisi*, Cilt. 30, s. 17-26.

Feng, Q., Zhao, W., Wen, S., Cao, Q., 2017.
"Copper sulfide species formed on malachite surfaces in relation to flotation", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Cilt. 48, s.125-132.

Ge, B., Fu, Y., ve Li, Q., 2013. "A Copper Oxide Ore Treatment by Flotation", *Advanced Materials Research*, s. 230-233.

Kuyumcukent Atık Sularındaki Altının Geri Kazanımı Gold Recovery from Kuyumcukent Wastewater

H.M. Çiftci, H. Baştürkcü, F. Burat

Istanbul Technical University, Faculty of Mines, Mineral Processing Department, Istanbul

ÖZET Günümüzde altın birçok alanda ve farklı amaçlar doğrultusunda kullanılan bir elementtir. 2016 yılında 3236 ton madenlerde altın üretilirken Dünya'nın ihtiyaç duyduğu miktar 4570 ton seviyelerindedir. Bu aradaki fark altının geri dönüşümü ile kapatılmaktadır. Geri dönüşüm sektörünün ana amacı ise, atık maddelerin piyasaya geri kazandırılmasıdır. Geniş pazar ve üretime bağlı olarak altın üretiminde de geri dönüşüm, hammadde üretimi kadar önemli bir pozisyona haline gelmiştir. 2016 yılında altın arzının yaklaşık %29'u geri dönüşümden elde edilmektedir. Kuyumcu atıkları da bu kategoriye girmektedir ve değerli metal üretiminin olmazsa olmaz bileşenidir. Bu çalışmada kapsamında, Kuyumcukent'in lavabo atık çamurunda bulunan 171 ppm içerdiğindeki altının geri kazanımı hedeflenmiştir. Zenginleştirme yöntemi olarak karıştırma liç yöntemi uygulanmıştır. Sıcaklık, liç süresi ve NaCN konsantrasyonun etkisini araştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda en yüksek Au çözünme verimine (%75) 8 g/L NaCN konsantrasyonunda ve 72 saat liç süresinde yapılan deneyde ulasılmıstır.

Anahtar Kelimeler: Altın, geri dönüşüm, kuyumculuk, siyanürizasyon, liç

ABSTRACT Nowadays, gold is an element that is used in multiple sectors as well as to carry out a number of different purposes. In 2016, mines around the world produced 3,236 tons of gold while the global demand level rests a 4,570 tons. This difference between the supply and demand levels is met through recycled gold. The main purpose of the gold recycling industry is to be able to add the waste created back to the market. Gold recycling has become as important as raw material production within the mass market and gold production industry. In 2016, 29% of the world gold supply has been obtained through recycled gold production. Waste derived from jewelry activity is included in this category, and represents an essential component of this percentage. The objective of this study is to recover gold from Kuyumcukent jewelry sink waste that contains 171 ppm Au by leaching. The effect of temperature, leaching time, and NaCN concentration were investigated. At the end of the experiments, the highest Au extraction (75%) was obtained at 8g/L NaCN concentration and 72 hours leaching time.

Keywords: Gold, recycling, jewelry, cyanidation, leach

1 GENEL BİLGİ

Altın yapısı gereği tekrar tekrar kullanılabilir bir elementtir ve bu kadar değerli bir malzemenin geri dönüşümünü yapmak büyük oranda ekonomik getiri sağlamaktadır. Hurda atıkların mücevher üretiminde ve geri fabrikanın büyüklüğüne dönüsümü, bakılmaksızın veya geleneksel bir atölye olup olmadığına bakılmaksızın karlı bir mücevher imalatı işinin vazgeçilmez bir parçasıdır. Ürün maliyeti ve iş rekabetçiliği açısından, üretim sürecinde altın ve gümüş gibi kıymetli kaybedilmesi, metallerin malivet parametresini önemli ölçüde etkileyebilir (Corti, 2002).

istatistiklerine 2016 göre, dünya madenciliğindeki toplam altın arzı yaklaşık 4570 ton iken üretilen altın miktarı 3236 ton olarak gerçekleşmiştir. Bu aradaki 1334 ton miktarı, hurda mücevheratından, altın dişlerde külçelerden, altın. elektronik atıklardan ve kuyumcu atıkları da dâhil olmak üzere çok birçok üründen elde edilir.

dört ana Kuyumcu atıkları, başlıkta atıkları, sınıflandırılabilir; temizlik atıkları, üretim işlemleri kanalizasyon sırasında oluşan atıklar ve el yıkama atıkları. yöntemlerle atıklar. kimyasal Bu tür zenginleştirebilir ve bu sayede geri dönüşümden elde edilen altın piyasaya tekrar geri kazandırılabilir.

Altının kuyumculuk sektöründen elektronik ve iletişim sektörüne, havacılıktan dişçiliğe, sağlık sektöründen birçok endüstri dalına kadar yaygın şekilde kullanılması ve bu sektörlerde kullanılan altının zaman içinde tekrar üretime katılacak duruma gelmesi, altın rafinasyonu için hammaddeleri oluşturan ikincil kaynakların çeşitlilik göstermesine yol açmıştır. Bu sebepten ötürü ikincil kaynaklar da kendi arasında metalik olanlar ve olmayanlar olarak iki gruba ayrılabilir.

Metalik olan kaynaklar, kuyumculuk hurdaları, eski takılar, elektronik hurdalar, dişçilik hurdaları, saat kayışları ve mahfazaları, gözlük çerçeveleri, saat pilleri, altın kaplı hurdalar, telefon hurdaları v.b.

içerir. Kuyumculukta üretimin hemen her noktasında altın içeren atıklar çıkmaktadır. Ramatlar, lavabo çamurları, çapak ve cila makinelerinden dökülen camurlar. kullanılmış harcanabilen kalıplar, halılar, paspaslar, eski önlükler temizlik bezleri, süpürgeler, kumlama makinelerinden gelen kumlar, eski potalar v.b. birçok malzeme vanabilenler vanamayanlar ve olarak sınıflandırılır ve ona göre piroliz işlemine tabi tutulurlar. Daha sonra da her malzeme uygun bir prosesle rafinasyon islemine alınır. Kaplama çözeltileri, parlatma çözeltileri, bazı atölye ve laboratuvar çözeltileri de çeşitli oranlarda altın içermektedir. Tablo 1'de çeşitli atıklarda bulunan altın içerikleri gösterilmiştir (Loewen, 1989). Bu çalışmada kapsamında, Kuyumcukent'in atık sularında bulunan altının liç yöntemi ile geri kazanımı amaçlanmıştır.

Tablo 1. Çeşitli atıklar içinde altın oranın değişim (Corti, 1997)

Malzemeler	Altın İçerik (%)	
Eski takılar	% 39-73	
Dişçilikten gelen altınlı		
hurdalar	Yaklaşık olarak % 66	
Kuyumcu tezgah		
hurdaları	% 19-52	
Lavabo çamurları	Yaklaşık olarak % 6-8	
Halılar ve ahşap yer		
kaplamaları	% 0,1-9	
Eski ergitme potaları	% 0,8-5	
Cila ve yer ramatı	% 0,5-5	
Saat kayışları ve çeşitli		
altın kaplı hurdalar	% 0,25-5	
Gözlük çerçeveleri	2,40%	
Zımpara kağıdı, yer		
çöpleri, fırçalar ve diğer	% 0,1-4	
atölye çöpleri		
Seçilmiş elektronik		
metalleri, iğneler,	1%	
bağlayıcılar v.b.		
Elektronik panolar, v.b.	% 0,007-0,03	

1 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

1.1 Numunenin Karakterizasyonu

Temsili Kuyumcukent'in numune atık sularının depolandığı tikinerden alınmış olup, koagülant kullanılmamış saf numunedir. Pülp halinde gelen numune (10% PKO) ilk olarak 105 °C'lik fırında kurutma işlemine tabi tutulmustur. Kurutma sonucunda vaklasık 1800 gr malzeme elde edilmiştir. Numune üzerinde yapılan kimyasal analiz sonucunda numunenin 171 ppm Au ve 252 ppm Ag içerdiği tespit edilmiştir. Doğal pH'sı 8,75 olarak bulunan numunenin malvern marka boyut ölçüm cihazı ile yapılan çalışmalar sonucunda d₉₀ boyutunun 142,4 mikron, d₅₀ boyutunun ise 22,7 mikron olduğu belirlenmiştir.

1.2 Yöntem

Altının çözündürülmesinde karıştırma liç yöntemi kullanılmıştır. 600 mL'lik beherlerde 80 gr malzeme ile 500 rpm hızında pervaneli karıştırıcı kullanılarak denevler gerçekleştirilmiştir. Liç işlemi sonucunda katı-sıvı ayrımı için vakum filtre kullanılmıştır. Liç süresi boyunca pH. kullanılarak 10.5-11 $Ca(OH)_2$ arasında tutulmuştur. Pülpte katı oranı (PKO) %20 olarak sabit tutulmuş, NaCN konsantrasyonun ve liç süresinin Au çözünme verimine etkisi araştırılmıştır.

1.2.1 NaCN Konsantrasyonunun Au Çözünme Verimine Etkisi

%20 PKO, 48 saat liç süresi ve oda sıcaklığı sabit tutularak, NaCN konsantrasyonunun altın çözünme verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda, 0,5, 1, 2, 4 ve 8 g/L NaCN konsantrasyonlarında deneyler yapılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda, NaCN konsantrasyonunun artışı ile birlikte altın çözünme verimlerinde artış gözlenmiştir. 0,5 g/L NaCN konsantrasyonunda %36 olarak belirlenen altın çözünme verimi, 8 g/L NaCN konsantrasyonunda yapılan deneyde %71'e yükselmiştir.

Şekil 1'de gösterilen altın çözünme verimlerini iki aşamada yorumlanabilir. İlk

olarak, NaCN konsantrasyonu 0,5 g/L'den 4 g/L'ye yükseldiğinde altın çözünme verimlerinde lineer bir artış gözlenmiş, 4 g/L ile 8 g/L NaCN arasında ise yavaşlayan bir çözünme hızı artışı izlenmiştir. NaCN konsantrasyonunu 8 g/L'den daha yüksek değerlere arttırdığımız takdirde Au çözünme veriminin de artacağı düşünülmektedir.

MTA'nın verilerine göre Türkiye'deki altın madenlerindeki Au tenörü 0,34-13,85 ppm seviyelerinde değişmektedir. Maden üretimi sonrası elde edilen cevherin altın tesislerinde kazanılması amacıyla pülpe yaklaşık 0,1-0,5 g/L arasında NaCN ilave edilmekte ve çözündürme işlemleri yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında çok daha yüksek NaCN konsantrasyonlarına çıkılmasının sebebi numunenin altın içeriğinin 171 ppm gibi çok yüksek bir değerde olmasıdır.



Şekil 1. Farklı NaCN konsantrasyonlarında Au çözünme verimlerinin değişimi.

1.2.2 *Liç Süresinin Au Çözünme Verimine Etkisi*

%20 PKO, 8 g/L NaCN konsantrasyonu ve oda sıcaklığında yapılan deneylerde, liç süresinin altın çözünme verimi üzerindeki etkisi incelenmiş ve sonuçlar Şekil 2'de verilmiştir. 24, 48 ve 72 saat liç sürelerinde yürütülen deneylerde, liç süresindeki artış ile birlikte altın çözünme verimlerinde de artış gözlenmektedir.

8 g/L NaCN konsantrasyonunda yapılan deneylerde en iyi sonuç 72 saatlik deneyde elde edilmiş olup Au içeriğinin 1897,8 ppm'e ve çözünme veriminin yaklaşık %75'e kadar çıktığı gözlenmiştir. Diğer yandan, 24 saat liç sonunda altın çözünme verimi %68'te kalmıştır.



Şekil 2. Farklı liç sürelerinde Au çözünme verimlerinin değişimi.

3 SONUÇLAR

Kuyumcukent'te yıllık ortalama 14600 m³ lavabo atığı çıkmakta olup, bu artığın 171 ppm altın içerdiği belirlenmiştir. Bu içerik günümüzde işletilmekte olan altın cevheri tenörlerinden çok daha yüksektir. Bu çalışmada, Kuyumcukent'in reaksiyon tanklarına gelmeden alınan ve hiçbir kimyasal işleme maruz kalmamış numune üzerinde Au çözündürme deneyleri yapılmıştır.

Siyanür liçi deneyleri sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

konsantrasyonunun **NaCN** Au çözünme verimine etkisini incelediği bu deney grubunda; %20 PKO, 48 saat liç süresi ve oda sıcaklığı şartları altında yürütülen deneylerde, NaCN konsantrasyonunun altın verimi üzerindeki cözünme etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda, 0,5, 1, 2, 4 ve 8 g/L NaCN konsantrasyonları denenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, NaCN konsantrasyonunun artışı ile birlikte altın çözünme verimlerinde artış gözlenmiştir. 0,5 g/L NaCN konsantrasyonunda %36 olarak belirlenen altın çözünme verimi, 8 g/L NaCN konsantrasyonunda yapılan deneyde %71'e yükselmiştir.

Liç sürelerinin Au çözünme verimine • etkisini incelediği deneylerde; %20 PKO, 8 g/L NaCN konsantrasyonu ve oda sıcaklığı parametreleri seçilmiş, liç süresinin altın çözünme verimi üzerindeki etkisi incelenmistir. 24, 48 ve 72 saat lic sürelerinde yürütülen deneylerde, liç süresindeki artış ile birlikte altın çözünme verimlerinde de artış gözlenmiştir. 24 saat liç süresinde yapılan %68.3 olarak belirlenen deneyde altın cözünme verimi, 72 saat lic süresinde %74,6'ya kadar yükselmistir.

• NaCN konsantrasyonunun 8 g/L'den daha yüksek değerlere çıkmasıyla Au çözünme veriminin artacağı düşünülmektedir. Benzer olarak liç süresinin arttırılmasıyla çözünme veriminin çok daha yüksek değerlere ulaşacağı beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Corti, C., 1997. In-house Gold Refining: The opinions.
- Corti, C., 2002. Recovery and refining of gold jewellery scraps and wastes. U.K.: World Gold Council.
- Habashi, F., 1997. *Handbook of Extractive Metallurgy*. Almanya: Wiley-VCH.
- Loewen, R., 1989. Small scale refining of jewelers wastes. *Precious Metals*. Las Vegas, Nevada, U.S.A.
- M.T.A., 2016. Türkiye ve Dünyada altın. MTA.

Sülfürlü Altın Flotasyon Konsantrelerinin İyileştirilmesinde Biyooksidasyon Yönteminin Kullanılabilirliğinin Araştırılması Possibilities to Use Biooxidation Process for the Pretreatment of Sulphide Gold Flotation Concentrates

M. Yaşar, H. Baştürkçü, B. Benli

İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Refrakter altın cevherleri veya konsantreleri altının liç aşamasına uygun hale getirilmesi için kavurma, basınç altında oksidasyon ve bakteriyel oksidasyon gibi oksitleyici ön hazırlama işlemlerine ihtiyaç duyarlar. Çoğunlukla uygulanan diğer oksidasyon teknikleri ile karşılaştırıldığında, biyooksidasyon yöntemi ekonomik ve çevresel açıdan açık üstünlüğe sahiptir. Bu tez kapsamında Kışladağ sülfürlü altın cevherine biyooksidasyon deneyleri yapılmış ve oksitlenmiş cevherlere siyanür liçi uygulanmıştır. Asidofilik mezofillik bakteri kültürleri (*Acidithiobacillus ferrooxidans, Acidithiobacillus thiooxidans* ve *Leptospirillum ferrooxidans*) İTÜ Cevher Hazırlama Mühendisliği Kimyasal Zenginleştirme ve Kıymetli Metaller Laboratuvarında inkübe edilmiş, büyümesi, adaptasyonu sağlanmıştır. Ardından, saf kültürlerden Karışık kültür (MKM) oluşturulmuş ve biyooksidasyon deneylerinde kullanılmıştır. Deneyler % 10 pülpte katı oranında 21 gün süre boyunca yapılmış ve S tüketimleri takip edilmiştir. Yapılan biyoliç işlemi sonucunda konsantredeki sülfür oranı %36 azaltılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Refrakter Altın, Biyooksidasyon, Oksidasyon

ABSTRACT Refractory gold ores or concentrates require an oxidation pre-treatment step such as roasting, pressure oxidation and bacterial oxidation to allow the contained gold to be amenable to the subsequent leaching step. When compared to other commonly applied oxidation techniques, biooxidation method has the obvious advantage of both economical and environmental points of view. Biooxidation tests were carried out on K1sladag refractory gold ore. In these experiments, mixed cultures preparated from pure mesophillic bacteria cultures (*Acidithiobacillus ferrooxidans, Acidithiobacillus thiooxidans* and *Leptospirillum ferrooxidans*) were used to oxidise the ores. All experiments have been studied with 10% pulp density. Dissolution of iron and pH changes were monitored for biooxidation experiments. Comsumption of S is observed during 21 days. The ratio of sulphur in concentrate is decreased 36% by bioleaching

Key Words: Refractory Gold, Biooxidation, Oxidation

1.GİRİŞ

Bu çalışmada Kışladağ altın yatağı numunesi kullanılmıştır. Numune önce flotasyon işlemine tabi tutulmuş, flotasyon konsantresi biyooksidasyon deneylerinde kullanılmıştır. Çalışma Kasım 2016 ile Mayıs 2017 tarihleri boyunca sürmüştür. Çalışmanın tamamı İTÜ Kıymetli Metaller Laboratuvarında gerçekleştirilmiş, Demir ve Sülfür analizleri İTÜ Kimyasal Analiz Laboratuvarında yapılmıştır.

2. REFRAKTER ALTIN CEVHERLERINE UYGULANAN OKSİDATİF ÖN-İŞLEMLER

Refrakter altın cevherlerinde altının çözünme verimini arttırmak için uygulanan prosesler sürfürlü, karbonlu oksidatif yapılara sahip mineraller ile tellüridli altın cevherlerinde hidrometalurjik olarak kullanılan yöntemlerdir. işlenişinde Geleneksel altın liçinde düşük çözünme ve/veya ekonomik olmayan verimliliği koşullar gösterebilen bu bu tür cevherlerde direkt siyanür liçi yapılmamasının nedenleri şu şekildedir;

-Altın gang mineral içinde kapanımlar halindedir.

-Altın yüksek siyanür tüketime neden olan minerallerle birlirte bulunur.

-Altın liç sırasından adsorpsiyona neden olan karbonlu yapılarla beraber bulunur.

-Yukarıda nedenlerin kombinasyonunun gerçekleşmesi durumunda (Marsheden, 2006).

Refrakter altın cevherlerine uygulanan oksidatif ön işlemler aşağıda açıklanmıştır. Bu ön işlemler temel olarak;

- Kavurma
- Klorinasyon
- Basınç oksidasyonu
- Biyooksidasyon

Kavurma prosesleri, sülfürün yüksek sıcaklıklarda sülfür gazlarına çevrilmesini

kapsamaktadır. Bu proses özellikle SO2 ve diğer sülfür gazlarının tutulmasının zorunluluğu ile gelen ekonomik ve çevresel nedeniyle faktörler günümüz madenciliğindeki kaybetmiştir. önemini Klorinasyon karbonlu matervaller refrakter cevherlerde tercih bulundurulan edilen bir proses olsa da, sülfür miktarının artması klorür gazı kullanımı aşırı derecede yükselttiğinden sülfürlü mineral oksidasyonunda tercih edilmemektedir. Basınç oksidasyonu, günümüz refrakter altın prosesleri arasında biyooksidasyonla ilk sıralarda yer almaktadır. Özellikle yüksek tenörlü farklı sülfürlü mineraller içeren cevherler için uygun bir prosestir, bu uygunluğunun yanısıra kullanım zorluğu, iş güvenliği açısından riski ve ilk yatırım ve maliyetlerinin yüksek isletme olması dezavantajları arasındadır.

Buna karşın biyomadencilik, çevresel açıdan daha kabul edilebilir olması, düşük yatırım ve işletme maliyetleri sunması, özellikle ön zenginleştirmenin yapılmadığı durumlarda yığın liçine uygunluğu açısından bir çok avantajı bulunmaktadır.

Günümüz maden sektöründe biyoliç ve biyooksidasyon proseslerinde kullanılan mikroorganizmalar Asidofilik kemoototroflar'dır. Asidofilik mikroorganizmalar, At. Ferrooxidans, At. ferridurans, At. Thiooxidans L. ferrooxidans vd., ototrofik olarak ferrous demiri (Fe⁺²), elemental sülfür (So) ve indirgenmiş diğer inorganik sülfür formlarını okside ederek ferrik (Fe⁺³) demir ve sülfürik asit oluşturarak mineralin çözünmesini sağlarlar. Bu mikroorganizmlar dışında orta dereceli ve yüksek termofilik bakteriler ve arkel mikroorganizma kültürleri özellikle yığın liçinde kullanılmaktadır.

3. BİYOOKSİDASYON İŞLEMİ

3.1. Yöntemde Kullanılan Bakteriler

Biyooksidasyon teknolojisinde kullanılan bakteriler, gelişmeleri için gerekli olan sıcaklık değerine göre üç gruba ayrılır (Brierley ve Briggs, 2002). Bunlar:

- Mezofilik bakteriler: Fonksiyonlarını etkin olarak 15-45°C arasındaki sıcaklık aralığında gösterirler. - Orta derecede termofilik (1s1 seven) bakteriler: Sülfür ve demir bileşiklerini 40-65°C sıcaklık aralığında oksitleme kabiliyetine sahiptirler.

- Aşırı termofilik bakteriler: Sağlıklı bir biçimde gelişmeleri için sıcaklık aralığı 60-95°C'dir. Yeryüzünde çok eski dönemlerde gelişen tek evrimsel organizma grubudur.

3.2. Yöntemin Mekanizması

Biyooksidasyon yönteminde kullanılan bakteriler, ferröz demirin (Fe⁺²) sülfür minerallerini oksitleyen ferrik demire (Fe⁺³) oksidasyonunda katalizör etki gösterirler. Aynı zamanda indirgenmiş sülfür türlerini oksitleyip asit oluşumuna sebep olurlar. Biyooksidasyonda iki temel mekanizma söz konusudur. Mikroorganizmalar metal sülfürleri, elektronların direkt olarak indirgenen minerallerden sağlandığı doğrudan bakterivel lic islemi ile oksitlemektedir. Bu islemde sülfürlü mineraller herhangi bir ara ürün oluşmaksızın bakteriler tarafından oksitlenmektedir. Dolaylı bakteriyel liç işleminde, sülfürlü mineraller ile birlikte bulunan piritin bakteriyel oksidasyonundan oluşan ferrik iyonları (Fe⁺³), metal sülfürleri oksitleyici olarak görev yapmaktadır. Dolaylı bakteriyel liç işleminde oluşan elemental sülfür bakterilerin etkisiyle sülfata dönüşmekte ve H₂SO₄ oluşmaktadır. Böylelikle bakterilerin gelişimi için gerekli olan pH seviyesi korunmaktadır.

4.MALZEME VE YÖNTEM

4.1. Malzeme

Deneysel çalışmalarda kullanılan numune Kışladağ (Tüprag, İzmir) altın madeninden sağlanmıştır. Kullanılan numune daha önce flotasyon işlemine tabi tutulmuştur. Malzemenin boyutu d₈₀ -75 mikrondur.

4.2. Yöntem

Biyooksidasyon deneylerinde kullanılacak tüm malzemeler NÜVE OT 90L'lik otoklavda 121°C sıcaklıkta, 1 atm sabit basınç altında tutularak sterilizasyon işleminden geçirilmiştir. Kullanılan araçlara ek olarak daha önceden HCl ile hazırlanmış saf su (pH 1,8) ve bu su ile hazırlanan besi yerleri sterilizasyona tabi tutulmuştur.

Bakteri büyütme için sağlanan ortam:

40 mL BY + 40 mL Su + 10 mL Fe + 10 mL Bakteri

Mezofilik mikroorganizmalar olan Thiobacillus ferrooxidans, Thiobacillus thiooxidans ve Leptospirillum ferrooxidans saf kültürleri ile bu kültürlerden oluşturulan karışık MKM kültürü 37C° 'de 2-4 gün süresinde Nüve ST30 sıvı çalkalıyıcıda bırakılarak renk değişimine bağlı olarak bakteri büyümesi gözlenmiştir.

Adaptasyon sırasında yukarıda belirtilen reçeteye ek olarak ortama kullanılan numune eklenmiştir.

Yapılan gözlemlerle en iyi büyüme gösteren MKM karışık kültürü ile çalışmalara devam edilmiştir.

Çalışma iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda Kasım-Aralık 2016 tarihlerinde 250 mL'lik 6 adet erlen kullanılanarak 90 mL'ye 10 mL aşılama yapılmıştır. 2-4 gün büyümesi süresi gözlenmiştir. Ardından bu erlenlerden alınan 10 mL aşı 90 mL besi yeri 6 adet erlende bir miktar numune ile 2-5 gün süreli adaptasyona ve ardından biyoliç islemine bırakılmıştır. Tüm işlemlerde sıcaklık 37°C'tır.

Biyoliç süresince belirtilen günlerde her gruptan bir erlen alınarak katı ve sıvısı ayrılmış, katı kısımdan S değeri sıvı kısımdan Fe değeri analizle okunmuştur.

Çalışmanın ikinci kısmında biyooksidasyon deneyleri 2L' lik ceketli cam beherde, sürekli çalıştırılan bir termostat yardımıyla 33°C sabit sıcaklıkta su devir daim edilerek istenilen sıcaklık sağlanarak gerçekleştirilmiştir. Biyoksidasyon deneyleri Bakteri ve Blank* beherleri için %10'luk karışık kültür aşılaması ve %10'luk pülpte katı oranında gerçekleştirilmiştir. Bakteri kültürü için başlangıç pH'sı 1,95'e ayarlanmıştır.

Deney setlerinde karıştırma hızı 400 dev/dak olarak belirlenmiş ve deney setleri 21 gün boyunca devrede tutulmuştur.

Biyooksidasyon boyunca her iki beher için pH ve ORP** ölçülmüştür. 21 günlük süreçte 13'er adet 50 mL pülp çekilerek katısıvı ayrımı yapılmıştır. Alınan katı kurutularak Kükürt analizi için, sıvı karanlık ortamda bekletilerek Fe analizi için saklanmıştır.

Biyooksidasyon deney sonucunda bakteri ve blank ortamlarının sıvı kısmı süzülerek uzaklaştırılmış ve numune yıkanarak etüvde kurutulmuştur.

Son aşamada Bakteri ortamı katısı, Blank ortamı katısı ve Flotasyon konsantresi 0,5 g/mol NaCN kullanılarak PKO %10 24 saat süreyle siyanür liçine tabi tutulmuştur.

5. ANALİZLER VE DEĞERLENDİRMELER

Bakteri ve Blank beherlerinde pH ve ORP değerleri deney boyunca takip edilmiştir.

Bakteri ve Blank beherleri için ÓRP ölçümleri karşılaştırıldığında Blank beherinde yaklaşık 70 mV'luk bir fark oluşurken, Bakteri beherinde yaklaşık 200 mV'luk bir potansiyel farkı oluşmuştur.

Bakteri beherinde Sülfür tüketimi gözlenmiştir.

Son aşamada Bakteri ortamı katısı(BAK LİÇ), Blank ortamı katısı(BL LİÇ) ve Flotasyon konsantresi(FLO LİÇ) 0,5 g/mol NaCN kullanılarak PKO %10 24 saat süreyle siyanür liçine tabi tutulmuştur. Flotasyon konsantresinin siyanür liçine tabi olmadan önceki S değeri %17,1'dir.

	BAK LİÇ	BL LİÇ	FLO LİÇ
S içeriği(%)	10,94	15,24	17,06
S tüketimi (%)	36	10,8	0,2

*Bakteri kültürü aşılanmamış, diğer içeriği bakteri beheriyle aynı olan ortam

0,5 g/mol NaCN kullanılarak %10 PKO ve 24 saat süreli liç için Flotasyon konsantresi kullanıldığında S tüketimi %0,2 olmaktadır. Biyooksidasyon sonrası liç yapıldığında ise S giderimi %99 olmaktadır.

6.SONUÇ

Günümüzde dünya altın üretiminin 1/3'ü refrakter olarak nitelendirilen altın yataklarından gerçekleştirilmekte ve bu oran yüzeye yakın oksitlenmiş altın yataklarının tüketilmesi ile hızla artmaktadır. Bu nedenle geleneksel bir proses olarak kullanılan siyanür liçi öncesinde, ekonomik ve çevresel açıdan güvenilir ön iyileştirme metotları ile refrakter altın cevherlerinin hazırlanması, gittikçe artan bir şekilde önemli hale gelmektedir.

Refrakter altın cevherlerinin ön iyileştirilmesinde kullanılan geleneksel yöntemler; kavurma, basınçlı oksidasyon ve biyooksidasyon yöntemleridir. Bunlardan biyooksidasyon yönteminin; yüksek sıcaklık ve basınca gereksinim duyulan ekipmanlara ihtiyaç duymaması, çevreye zararlı bileşikler oluşturmaması, gerek ilk yatırım, gerekse işletme maliyetinin diğer yöntemlere göre daha düşük olması önemli avantajları arasında görünmektedir. Refrakter altın cevherlerinin biyooksidasyon yöntemi ile ucuz bir şekilde iyileştirilebilmesi mümkündür.

TEŞEKKÜR

Cevher Hazırlama Mühendisliği bölümünün tüm imkânları ile laboratuar kullanımına izin verdiği için bölüm başkanımız Sayın Prof. Dr. Ali Ayhan SİRKECİ'ye teşekkürlerimi sunarım. Tez konumu seçmemde bana yardımcı olan, sabrıyla ve anlayışıyla her koşulda yanımda olan danışmanım Sayın Doç. Dr. Birgül BENLİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- Brierley L.C. ve Briggs A.P., 2002; "Selection and Sizing of Biooxidation Equipment and Circuits", Mineral Processing Plant Design, Practice, and Control, Edited by Andrew L. Mular, Doug N. Halbe, Derek J., published by SME.
- Marsden, J.O, and House, C.I., 2006. Leaching, The Chemistry of Gold Extraction 2nd Edition, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., (SME) Colorado, USA, 233.

Siyanürlü Suların Geri Kazanımına Yönelik Adsorptif Özellikte Polisülfon-Kil İnce Film Membranı Hazırlanması

Preparation of Polysulfone-Clay Thin Film Membrane for Adsorptive Property for Recovery of Cyanide Water

Meltem Yaldız, Birgül Benli

İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Madencilik sektörü, üretim süreçlerinde siyanürü uzun yıllardır kullanmaktadır. Siyanür, son derece yaygın olarak kullanılan ve çağdaş yaşamın vazgeçilemez bir kimyasal maddesidir. Siyanür, geçmiş yıllardan beri metallerin eldesinde kullanılagelmiş ve günümüzde de altın eldesinde tüm dünyada güvenli bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı; çevre teknolojilerinde geri kazanım amaçlı ters osmoz filtrasyon uygulamalarında kullanılacak kil takviyeli polimerik kompozit membranların hazırlanmasına yönelik killerin adsorptif özelliklerinin incelenmesidir. Bu amaçla, çalışmada öncelikle çeşitli killer ve mineraller kullanılarak, siyanüre karşı adsorpsiyon karakteristiği kinetik ve izoterm çalışmasıyla ortaya konulmaya çalışılmıştır. Adsorpsiyon deneylerinde karıştırma süresi, siyanür çözeltisinin derişimi, siyanür giderimi, tane boyutu, katı miktarı ve sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Ardından, uygun adsorptif özellikte membranlar hazırlanmıştır. Sızdırmazlık için kullanılan kil yapılarını veya geosentetik astar siyanür ortamında incelenmiştir. Kil ve minerallerin siyanür ortamında nasıl etkileşim gösterdiği gözlemlenmiştir. Sonrasında polisülfon polimeri içine kil yapıların katılmasıyla hazırlanan kompozit çözeltilerden membran hazırlandığında ters osmos membranı veya geosentetik üretiminde kullanılabilecek polimerik filmler üretilmiş olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Siyanür, Madencilik, Membran, Adsorpsiyon, Geosentetik

ABSTRACT Cyanide is a chemical substance that is used extensively and is an indispensable chemical in contemporary life. Cyanide, which is released from mining operations and industrial plants, is a potentially important pollution parameter with its numerous chemical composition and toxic properties. Cyanide has been used and managed safely in gold processing all over the world. The purpose of this study is to investigate the adsorptive properties of clay minerals according to the preparation of clay-reinforced polymeric composite membranes which can be used in reverse osmosis filtration applications for recovery purposes and environmental approaches. In the adsorption studies, mixing time, cyanide concentration, solids content and temperature were investigated. Then, the selected minerals were used for the preparation of polysulfone membranes with the suitable adsorptive characteristics. Subsequently, when the membrane is prepared by incorporating it into the polysulfone polymer, the structure that can be potential usage in both as a reverse osmosis membrane and as a geosynthetic agent will be produced.

Keywords: Cyanide, Mining, Membrane, Adsorption, Geosynthetic

1 SİYANÜR VE ÖZELLİKLERİ

1.1 Siyanür Hakkında Genel Bilgi

Siyanür iyonu sulu çözeltilerde eksi yüklüdür ve karbon ile azot arasında kuvvetli bir bağ (C≡N) içermektedir. Doğada gaz, sıvı ve kristal formlarda bulunmaktadır (Young ve Jordan, 1995; Aydıner ve Kobya, 1999).

Siyanürleri ve bileşiklerini doğada bulunuşları açısından üç ayrı başlık halinde incelemek mümkündür. (Gök, 2010)

-Doğal ortamlarda bulunan siyanür bileşikleri,

-Reaksiyon sırasında yan ürün olarak oluşan siyanür bileşikleri,

-Endüstriyel işlemler sonucu ortaya çıkan siyanür bileşikleri.

Çizelge 1. Siyanür Bileşikleri ve Kompleksleri

Serbest Siyanürler	HCN, CN⁻
Basit Siyanürler	NaCN, KCN, Ca(CN) ₂ , Hg(CN) ₂ ,
a- Kolayçözünür	NH ₄ CN
b- Nisbeten	Zn(CN) ₂ , CuCN, Ni(CN) ₂ , AgCN, AuCN
çözünmez	Fe ₂ Fe(CN) ₆ , Cu ₄ Fe(CN) ₆
Zayıf Siyanür	$Zn(CN)_4^{-2}, Cd(CN)_3^{-}, Cd(CN)_4^{-2},$
Kompleksleri	$Zn(CN)_2(OH)_2^{-2}$
Orta Kuvvetli	$Cu(CN)_{2}^{-}, Cu(CN)_{3}^{-2}, Cu(CN)_{4}^{-2},$
Kompleksler	Ni $(CN)_{4}^{-2}, Ag(CN)_{2}^{-}, Fe(CN)_{6}^{-3}$
Kuvvetli	$Fe(CN)_{6}^{-4}, Co(CN)_{6}^{-4}, Au(CN)_{2}^{-7}$
Kompleksler	Hg(CN) ₄ ⁻² , Fe(CN) ₆ ⁻³
Diğer Reaksiyon Ürünleri	SCN ⁻ , CNO ⁻

1.2 Siyanür Komplekslerinin Giderimi ve Bozundurulması

Siyanürle yapılan işlemler bittikten sonra, siyanürlü atıkların yok edilmesi gerekmektedir. Siyanür içerikli tesis atıklarına uygulanan arıtma yöntemleri ile siyanür ya bozundurularak zararsız bileşiklere dönüştürülür veya tekrar kullanım için geri kazanılabilir. (Ou ve Zaidi, 1995)

Yaygın kullanılan kimyasal bozundurma işlemleri arasında ozon ve peroksit oksidasyonu, Inco-SO₂/hava oksidasyonu ve alkali klorlama işlemleri yer almaktadır (Robbins ve Devuyst, 1995; Yarar, 2001).

1.3 Cevher Hazırlamada Siyanürün Kullanımı

Siyanür, çeşitli amaçlar doğrultusunda cevher hazırlamada kullanılmaktadır:

-Altın ve gümüş içeren cevherlerin kimyasal çözündürme proseslerinde kullanılır.

-Minerali hidrofilik yaparak seçiciliğini arttırması nedeniyle flotasyonda bastırıcı olarak kullanılır.

-En önemli dağıtıcı madde, dispersen olarakta kullanılır.

-Atık barajlarında siyanür, doğal bozundurmayla kontrol edilir. Hidrojen peroksit altın-gümüş üretimi sonrası oluşan atık sulardan siyanürün bertaraf edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

-Siyanür içeren endüstriyel suları temizlemek için alışıldığı şekilde klorlama metodları kullanılır (Bulut ve Göktepe, 2012).

1.4 Siyanür Adsorpsiyonu

Siyanür adsorpsiyonu konusunda yapılmış başlıca çalışmalar şunlardır:

-Pomza taşı kullanarak siyanür giderimi (Karakaya, 2004)

-Sepiyolit tarafından NaCN (Cüce, 2013), $[Zn(CN)_4]^{2-}$ (Tarlan *ve diğ.*, 2006) ve demir siyanür bileşiğinin adsorpsiyonunun incelenmesi (Gölcür, 2007).

-Bentonit tipi killerin siyanür adsorplayabilirliğinin incelenmesi (Yürekli, 2000).

-Zeolitin siyanür adsorplayabilirliğinin incelenmesi (Tarlan *ve diğ.*, 2006).

Çalışmamızda ise çeşitli killer ve kullanılarak, mineraller siyanüre karşı adsorpsiyon karakteristiği kinetik ve izoterm çalışmasıyla ortaya konulmuş, ardından, adsorptif özellikte uygun membranlar hazırlanmıştır. Adsorpsiyon deneylerinde süresi, siyanür çözeltisinin karıstırma derişimi, siyanür giderimi, katı miktarı ve sıcaklığın etkisi incelenmiştir.

2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Kullanılan Malzemeler

Farklı yörelerden temin edilen 15 farklı endüstrivel mineral kullanılmıştır. Bunlar: -Sepiyolit (Sivrihisar, Tolsa, A.Ş.) -Zeolit (Gördes, Gördes Zeolite, Á.Ş.) -Hallovsit (Bensan, A.Ş.) -Bentonit (Reşadiye, Eczacıbaşı Bensan) -Sepiyolit (Pangel S9, İspanyol, Tolsa) -Bentonit (Ara Bentonit, Bensan, A.Ş.) -Bentonit (Ara Bentonit, Bensan, A.Ş.) -Bentonit (Ca-Bentonit, Canbensan) -Bentonit (Ca-Bentonit, Lalapaşa) -Vollastonit (B&S Yatırım, Buzlukdağ, Kirsehir) -Silika (Bensan, A.Ş.) -Kalsit (Bensan, A.Ş.) -Aktif Karbon (Ticari, Carbochem, Inc.) -Aktif Karbon (Eurocarb, Inc.) -ZnO (Merck, Inc.)

2.2 Siyanür Adsorpsiyonu

10 mL siyanürlü çözelti içerisine 0,6 g'lık numuneler, ayrı ayrı kapaklı cam şişelere konularak karıştırılır. Şişeler, sallantılı calkalayıcıda belirli zaman aralıklarıyla 24 saate kadar çalkalanır. Ardından 15 dakika süreyle santrifüj edilir. Berrak süzüntüden 1 mL çözelti alınarak rodamin titrasyonuyla AgNO₃ Sarfiyatı ve CN giderimlerine icerdikleri bakılır. Katı konsantreleri. sıcaklıkları siyanür miktarları ve değiştirilerek ölçümlere göre ilgili grafikler hazırlanır.



Şekil 1 Siyanür Adsorpsiyonunda Kullanılan Çözeltiler

2.3 Membran Çözeltilerin Hazırlanması

Polisülfon (PSU) polimeri ile yapılan calışmada ağırlıkça %18' lik PS ve DMAC ile polisülfon çözeltileri hazırlanmıştır. DMAC solventi 50°C dereceye ulaşıncaya kadar ısıtılmıştır. 18/82 (%ağırlıkça) oranında PS, solventin içine yavaş yavaş eklenerek. manyetik karıştırıcının yardımıyla, karıştırılmış ve çözelti elde edilmiştir. Ardından sepiyolit, halloysit ve resadive bentonit ilave edilerek manyetik karıştırıcıda karıştırmaya devam edilerek membran kompozit çözeltileri hazırlanmıştır. Ardından membran dökümüne geçilmiştir.

3 SİYANÜR ÜZERİNE YAPILAN ADSORPSİYON ÇALIŞMALARINA AİT SONUÇLAR

Siyanür üzerine yapılan adsorpsiyon çalışmalarına ait sonuçlar Şekil 2'de verilmektedir. Benzer özellikler gösterse de kullanılan 15 ayrı mineral içinde sepiyolit daha öne çıkmıştır.



Şekil 2 Absorbanların AgNO3 Sarfiyatı

Şekil 3'de ise miktara bağlı yapılan siyanür adsorpsiyonu çalışmaları görülmektedir. Adsorpsiyon yoğunluğunun artan katı miktarı ile azaldığı, yaklaşık %2 katı konsantresinden sonra her üç kil içinde benzer eğilimi görülmektedir.



Şekil 3 Katı Miktarının Adsorpsiyona Etkisi

Şekil 4'de ise karıştırma zamanına bağlı değişim görülmektedir. En altta kalan kalsit ve beraberinde gelen halloysit benzer eğilim göstermiştir. En az olan silika, beklendiği gibi yapısında tutmamıştır.





Ardından, zamana karşı %2 katı ve farklı siyanür miktarlarında (0.75 g/L, 1.25 g/L, 1.75 g/L, 2.25 g/L, 2.75 g/L, 3.5 g/L) Şekil 6 deki gibi adsorpsiyon yoğunluğu artmış ve sonrasında sabit bir eğilim elde edilmiştir.



Şekil 5 Siyanür Derişimi Miktarlarının Zamana Bağlı Adsorpsiyon Yoğunluğu Üzerindeki Etkisi

Sıcaklığa bağlı adsorpsiyon izotermi incelenirken her izoterm, düşük C_e ve q_e

değerlerinde başlangıç aşamalarında keskin bir şekilde yükselmiştir. Sıcaklık arttıkça adsorpsiyon kapasitesinde düşüş meydana gelmiştir.



Şekil 6 Sıcaklığa Bağlı Adsorpsiyon İzotermleri, Qe-Ce Grafiği

Sonuç olarak, en iyi absorban olarak sepiyolit mineralleri çıkmıştır. Karşılaştırma adına, her üç mineralle polisülfon membranlar hazırlanmıştır.

TEŞEKKÜR

Cevher Hazırlama Mühendisliği bölümünün tüm imkânları ile pilot tesis ve laboratuvar kullanımına izin verdiği için Sayın Bölüm Başkanımız Prof. Dr. Ali Ayhan SİRKECİ'ye teşekkürlerimi konuvu sunarım. Bu seçmemde bana yol gösteren hem sabrıyla hem anlayışıyla bana her konuda destek ve yardımcı olan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Birgül BENLİ'ye teşekkürlerimi tüm içtenliğimle sunarım. Ayrıca İTÜ BAP Proje No: 38868 nolu projeye teşekkür ederim. Son olarak beni bugünlere getiren, sevgisini ve desteğini hiç bir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Bulut, G., Göktepe, F., 2012. "Madencilik ve Cevher Hazırlama İşlemlerinde Kullanılan Kimyasallar", Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt. 25, s. 45-54
- Cüce, N.E., 2013. "Siyanürün Sepiyolit Tarafından Adsorplanabilirliğinin Tayini", *Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Gök, Z., 2010. "Siyanür ve Metal-Siyanür (Me-Cn) Komplekslerinin Fotolitik Oksidasyon-Alg Reaktörü Kombinasyonunda Arıtılabilirliği ve Sistem Kinetikleri", *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, s. 5.
- Li, W., Zhang, L., Peng, J., Li, N., Zhang, S. and Guo, S. 2008. Tobacco stems as a low cost adsorbent for the removal of Pb(II) from wastewater: Equilibrium and kinetic studies. Industrial Crops and Products, 28 (3): 294–302.
- Ou, B., Zaidi, A., 1995. "Cyanide-Dispelling the myths-Natural Degredation", Mining Environmental Management, 5-7.
- Robbins, G., Devuyst, E., 1995. "Cyanide-Dispelling the myths-Inco's SO₂/Air Process", *Mining Environmental Management*, 8-9.
- Tarlan, E., Önen, V., Yılmaz, Z. 2006. Ham ve asit aktif killer ile çinko-siyanür [Zn(CN)4]²⁻ kompleksi adsorpsiyonu, 10. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu, 07-09 Haziran 2006, İstanbul, sa: 43-50.
- Young, C.A., Jordan, T.S. 1995. Cyanide remediation: Current and past technologies. Proceedings of the 10th Annual Conference on Hazardous Waste Research, 104-129.

Iron Removal from Nepheline Syenite Nefelinli Siyenitten Demir Uzaklaştırması

M.T. Serdengeçti, M.O. Kangal Istanbul Technical University, Mineral Processing Engineering Department, Istanbul

ABSTRACT Feldspar minerals are essential ingredients of glass and ceramic industry. Due to having very large market and production in the world, some industries tend to research alternative minerals to feldspars. Nepheline syenite is one of the alternative mineral because of its chemical composition. Nepheline, which is a feldspathoid, and syenite contains majorly albite and microcline satisfies necessity of glass and ceramic industry. However, iron content of nepheline syenite should be under 2% to be producible and should be under 0.35% to be sellable. In the scope of this study, iron reduction of nepheline syenite was attempted in different size groups. The results showed that at particular salt group, iron content can be reach to sellable limits.

Keywords: Nepheline syenite, feldspar, ceramic industry

ÖZET Feldispat mineralleri, cam ve seramik endüstrilerinin olmazsa olmaz bileşenleridir. Dünyadaki geniş pazar ve üretime bağlı olarak, bazı endüstriler, feldispatlara alternatif hammadde arayışı içine girmişlerdir. Benzer kimyasal içeriği sebebiyle nefelinli siyenit, alternatif hammaddelerden biridir. Bir feldispatoid olan nefelin ve çoğunlukla albit ve mikroklin içeren siyenit, cam ve seramik endüstrilerinin ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Ancak, demir içeriğinin üretilebilir olabilmesi için genellikle %2'in altında olması ve satılabilir olabilmesi için %0,35'in altında olması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, farklı boyut gruplarında nefelinli siyenitin demir içeriğinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, belirli boyut aralıklarında demir içeriğinin satılabilir oranlara ulaşabildiği gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Nefelinli siyenit, feldispat, seramik endüstrisi

1 INTRODUCTION

Industrial minerals form main ingredients of most of the materials which we use in our daily life. Feldspars constitutes one of the biggest part of mine export of Turkey. Feldspars have a great deal of usage area, principally glass and ceramic industry. Depending upon the improvement of those industries, worldwide feldspar production is increasing year by year.

World's feldspar production reached 22,900,000 tons/year in 2014 (Tanner, 2014). Because of these high amount of production, some industries attempted to research alternative minerals for feldspar. Nepheline syenite has become the most outstanding industrial mineral in this research. According to its potential reserves
and chemical composition, it can be alternative to feldspars.

The aim of this study is beneficiation of Kırşehir region's Nepheline syenite with froth flotation method. In the experiments, iron reduction rates of different size groups were investigated.

2 GENERAL INFORMATION

The first production of feldspar started about 1820's and mined from pegmatite bodies in Connecticut, the United States. The ore, hand sorted and shipped to England. In 1946, the first feldspar flotation plant began operations in Kona, North Carolina.

While 85-90% of nepheline syenite and feldspar are used in glass and ceramic industries, 10-15% of them are used in paint industry, plastic industry, filling material, expander material, rubber, binder, insulating material, and weld electrodes (TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 2010).

2.1 Feldspar Minerals

Feldspars occur in 3-dimensional cage system of SiO₄. In those minerals half or quarter of silicon replaces with aluminum. To provide electrical equilibrium, sodium, potassium and calcium addition has seen. Feldspar group has nearly 20 recognized members, but only few well known and most common ones which makes up greatest percentage of those minerals which are shown in Figure 1, found in Earth crust are mentioned. Therefore, those feldspars classify as, alkali feldspars and plagioclase feldspars.



Figure 1. Compositional phase diagram of the different minerals that constitute the feldspar solid solution

2.2 Nepheline Syenite

Nepheline is tectosilicate which belongs to feldspathoid group and has formula of (Na,K)AlSiO₄ (Sodium potassium aluminum Nepheline silicate). Syenite deep is magmatic rock which bearing 55-70% microcline $(KAlSi_3O_8)$ and albite (NaAlSi₃O₈) and 20-35% nepheline (Na, K)AlSiO₄. Nepheline syenite, which is a silica-poor crystalline rock, contains mafic silicates and other accessory minerals in small quantities (McLemore, 2004).

The main obstacle in operating many nepheline syenite reserves is the presence of Fe_2O_3 impurities. To become a commercial deposit, nepheline syenite should have less than 2% Fe_2O_3 content. Unfortunately, most of the nepheline syenite reserves do not have this property and they are not economically operable just because of this. Except colorless glass, in glass industry nepheline syenite should have less than 0.35% Fe_2O_3 content (McLemore, 2004).

Due to higher alkali/alumina ratio of nepheline syenite, to provide equal melting, less nepheline syenite usage is enough. Therefore, in container glass industry, nepheline syenite is preferred. Thus, energy consumption can be reduced as well as raw material transfer and stocking. However, this saving is mostly negligible because nepheline syenite price is mostly slightly higher than feldspar.

3 EXPERIMENTAL STUDIES

3.1 Materials

The representative ore sample was obtained from Buzlukdağı (Bayırdır-Kırşehir) massive operated by Straton Maden. Buzlukdağı Syenitoid is one of the smallest intrusive massives in Central Anatolian Crystalline Complex and consists of alkaline plutonic rocks.

All the studies were performed on the run of mine ore. The chemical analysis made by ICP method. The results are given in Table 1.

Table 1. Chemical analysis of the run of mine ore

С	А	С	А		
SiO ₂	56.85	CaO	1.59		
Al ₂ O ₃	23.31	Na ₂ O	9.46		
Fe ₂ O ₃	1.29	K ₂ O	6.43		
MnO	0.07	TiO ₂	0.05		
MgO	0.09	LOI	0.96		
C: Compound, A: Amount (%),					
LOI : Loss on Ignition					

the analyses, According to it was determined that the sample contained mainly 56.89% SiO₂, 23.31% Al₂O₃, 9.46% Na₂O and 6.43% K₂O. In addition, XRD results indicated that the sample was composed of Nepheline (35.42%), K-Feldspar (29.72%), Biotite (2.71%)Albite (28.85%),and Muscovite (0.34%).

3.2 Method

In preparation stage, the sample was firstly ground using ceramic mill with alumina balls in order to prevent iron contamination. It is aimed to increase the content of feldspar and nepheline by removing oxides and mica minerals. Therefore, in the flotation tests, firstly mica followed by oxide flotation was performed.

The flotation studies were carried out with Denver flotation equipment. 500 grams of sample was added in 2.5 liter cells for size determination studies, further studies were performed with 1.5 liter cells using 200 grams of sample. The collectors were chosen from the previous project which was made with the similar sample

In the flotation tests;

- MIBC was used as frother
- H₂SO₄ was used as pH adjuster In mica circuits;
- pH was adjusted to 2.4
- Amine type DAHC was used as collector

- Na₂SiO₃ was used to depress SiO₂ bearing minerals

In oxide circuits;

- pH was adjusted to 3.4

- Sulfonate type R801 and R825 are used as collector to float iron and titanium oxides

Chemical analyses of the flotation products were made in Straton Maden in Eskihisar/Muğla.

In this study, iron was aimed to be reduced from run of mine ore.

4 RESULTS

4.1 Particle Size Distribution

The sample of -2 mm size was ground using ceramic mill and alumina balls. In order to investigate the effect of particle size on flotation, the sample was divided into three groups which are -300 microns, -200 microns and -106 microns. All the grinding studies were conducted in multi-stages to avoid production of slime.

Sieve analysis was made to each size group which are shown in Figure 2 show undersize curve of -300, -200 and -106 microns.

Furthermore, chemical analysis was made to each size group to determine iron content of them which were given in Table 2, 3 and 4 respectively.



Figure 2. Undersize curve of -300 microns

		-	
Size,	Weight,	ΣUS,	$\mathbf{F}_{0},\mathbf{O}_{0},0_{0}$
microns	%	%	ге ₂ О ₃ ,%
-300+200	28.3	100.0	1.24
-200+106	28.1	71.7	1.04
-106+75	8.2	43.5	1.06
-75+63	2.8	35.4	1.47
-63+38	11.4	32.6	1.12
-38	21.2	21.2	1.76
Total	100.0		

Table 2. Fractional Fe_2O_3 analysis of -300 microns

Table 3. Fractional Fe_2O_3 analysis of -200 microns

Size,	Weight,	ΣUS,	EasOs %
microns	%	%	$\Gamma e_2 O_3, 70$
-200+106	40.6	100.0	1.06
-106+75	13.9	59.4	1.02
-75+63	7.1	45.5	1.06
-63+38	14.0	38.3	1.03
-38	24.4	24.3	1.36
Total	100.0		

Table 4. Fractional Fe_2O_3 analysis of -106 microns

Size, microns	Weight, %	ΣUS, %	Fe ₂ O ₃ ,%
-106+75	22.0	100.0	1.25
-75+63	11.8	78.0	1.35
-63+38	23.6	66.2	0.95
-38	42.6	42.6	1.15
Total	100.0		

4.2 Flotation tests

Mica and oxide flotation was applied to all 3 size groups to determine the optimum size Mica and oxide flotation was chosen for iron removal. 300 g/t DAHC, 60 g/t MIBC, 100 g/t Na₂SiO₃, 800 g/t R801 and 800 g/t R825 were used for each group.

According to the results; 70.8%, 88.6%, and 82.6% Fe removal were obtained respectively for the size fractions of -300+38 µm, -200+38 µm, and -106 µm which can be seen in Figure 3. Also TiO₂ contents decreased to nearly 0.01% for each size fractions.





CONCLUSIONS

As a result, iron contents of 0.53%, 0.36%, and 0.32% was obtained for -300, -200, and -106 microns respectively. -200+38 µm size fraction was chosen as the optimum, considering the iron and feldspar contents. Moreover, iron can be reduced more, if reagent amount adjustment is made.

REFERENCES

- McLemore, V. T., 2004. Nepheline Syenite. In Kogel, J. E. (Ed.). (2006). Industrial minerals & rocks: commodities, markets, and uses (pp. 653-670).
- Tanner, A. O., 2014. Feldspar and Nepheline Syenite. US Geological Survey.
- TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 2010. Feldspat Raporu. Retreived from http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/8c09c2ec 26db837_ek.pdf
- Bu bildiri "Nepheline Recovery from Nepheline Syenite" isimli bitirme tasarım projesinden üretilmiştir

Madencilik Sularindan Siyanür Gideriminde Membran Filtrasyon Kullanimi Membrane Seperation of Cyanide from mining waters

M. Yeşilsancak, B. Benli

İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Dünyada gelişen tüm teknolojilere rağmen temiz su temini, atıkların çevreye zarar vermesini engellemek, faydalı minerallerin geri kazanımlarını sağlamak konularında sıkıntılar yaşanmaktadır. Daha iyi bir çevre oluşturmak için farklı ve daha iyi teknolojilere ihtiyaç vardır. Membran sistemi bu problemlere çare olabilecek bir prosestir. Membranlar, günümüzde su ve atıksu arıtma sanayiinde ve endüstriyel ayrışma işlemlerinde çok yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Sürdürülebilir kalkınma ve enerji ihtiyacının her geçen gün artmasından dolayı yeni teknolojilerin ortaya çıkması ile kullanımı artmıştır. Türkiye'de de bu bağlamda önemini arttıran malzemelerdir. Membran sistemi yüksek basınç altında filtre görevli hücresi sayesinde mikron boyutta ayırma yapabilmektedir. Fazla maliyet istemeden tutma, giderme ve süzüntüden çalışan bu sistem iyonları alma islemlerini gerceklestirmektedir.

Tez kapsamında atık sulardan siyanür giderime yönelik deneyler yapılmıştır. Deneylerde kullanılan daha önce hazırlanmış membranların pilot ölçekte ters osmoz sisteminde çalışılmış, çapraz akışlı filtrasyonla geçirimlilikleri incelenmiştir. Membranların geçirimliliğini incelemek adına saf sulu deneyler yapılmıştır. Buradan özelliklerini öğrendiğimiz membranları kullanarak siyanür çözeltisi için performansları incelenmiştir. Anahtar Kelimeler:siyanür; membran; sepiyolit; ters osmoz; filtrasyon

ABSTRACT In spite of all the technological developments in the world, there is a problem in the field of clean water, preventing the wastes from harming to the environment and recovering beneficial minerals. Different and better technologies are needed to create a better environment. Membrane system is a process that can solve these problems. Membranes are now widely used in water and wastewater treatment industry and industrial separation processes. Due to the ever-increasing need for sustainable development and energy, the emergence and use of new technologies has increased. In Turkey, it is also a material that increases its importance on the environmental issues. The membrane system which is able to separate does not require excessive cost, performs the processes of holding, removing and filtering the ions.

The main aim of this thesis is to investigate the separation of cyanide by reverse osmos membrane process. In order to examine the permeability of the membranes, pure water experiments were first carried out. Then, the performances of commercial polysulfon membrane and the previously prepared clay-polysulfone membranes were compared for cyanide solutions (10ppm and 50ppm).

Keywords: Cyanide, membrane, sepiolite, reverse osmoz; filtration

1 GİRİŞ

Dünyanın geleceği için alternatif su kaynakları önem arz etmektedir. Bunlar arasında atık suların geri kazanımı önemli bir yer tutmaktadır.

20.yy ortasından itibaren su kaynaklarını korumak ve arttırmak adına yeni teknolojiler başlanmıştır. Membran araştırılmaya teknolojisi de bu sırada gelişmiş, deniz suyu arıtımı, atık suların geri kazanılmasında ileri teknoloji olarak ortaya bir cıkmıştır. Membranlar, günümüzde su ve atıksu arıtma endüstriyel sanayinde ve ayrışma işlemlerinde çok yaygın olarak kullanılmaya başlanan, enerji ihtiyacının her geçen gün artması ve sürdürülebilir kalkınma için yeni teknolojilerin ortaya çıkması ile kullanımı artmış ve bugün artık konvansiyonel sistem sınıfına girmiş, ülkemizde de bu bağlamda önemini arttıran malzemelerdir.

Bu çalışmanın amacı tesis veya atık sulardan siyanürün membran sistemi ile giderilmesinin mümkün olup olmadığının belirlenmesidir. Bu tez kapsamında ters osmoz prosesi içerisinde farklı membranlarla çalışmalar yapılarak, membran özellikleri anlaşılmaya çalışılmış, hangi membranların daha verimli olduğuna yönelik çalışmalar yapılmıştır. Çalışma kapsamında siyanür hakkında genel bilgiler, membranların tanıtımı ve deney sonuçları verilmektedir.

2 DENEYSEL KISIM

Çalışmada, çapraz akışlı pilot ölçekteki ters osmoz filtrasyon sistemi kullanılmıştır. Sistem esas olarak, ters osmoz hücresi, membran hücresi, çözelti kabı ve yüksek basınç pompasından meydana gelmektedir.Bunun dışında deneylerde pH metre ve termometre kullanılmıştır.

Bu çalışmada nanopartikül katkılı membranlar kullanılmıştır. Böylece ticari polisülfon membranı da dahil olmak üzere toplam 5 adet membran ile çalışılmıştır Çalışmada kullanılan nanopartikül katkılı polisülfon membranlar:

-Sepiyolit

-MgO nanopartikül katkılı sepiyolit

- -TiO2 nanopartikül katkılı sepiyolit
- -Halloysit

Ayrıca, saf su ile geçirimlilik deneylerinde bentonit ve tüvenan sepiyolit ile hazırlanan membranlar kullanılmıştır.

3 SONUÇLAR

Çalışmada, 5 bar, 10 bar ve 20 bar olmak üzere 3 farklı basıncta membranların geçirimlilikleri saf ortamında su incelenmiştir. Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'de zamana bağlı olarak membranlardan geçen miktarı incelendiğinde ticari süzüntü polisülfonun en yüksek geçirimliliğe sahip olduğu görülmüştür.

Şekil 1: 5 bar basınçta membranların süzüntü miktarlarının zamanla değişimi



Şekil 2: 10 bar basınçta membranların süzüntü miktarlarının zamanla değişimi

Membranların aynı siyanür konsantrasyon derecesinde davranışları 10 bar için belirlenmiştir. Siyanür konsantrasyonu 10 ppm ve 50 ppm olan çözeltileri basıncı 10 bar olan sisteme beslenmiş ve süzüntü miktarları kontrol edilmiştir. Çözeltideki siyanür konsantrasyonu arttıkça membran ortamından geçen süzüntünün azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 3: 20 bar basınçta membranların süzüntü miktarlarının zamanla değişimi



Şekil 4: Ticari Polisülfon membranın farklı siyanür konsantrasyonundaki süzüntü miktarları



Şekil 5: Sepiyolit Polisülfon membranın farklı siyanür konsantrasyonundaki süzüntü miktarları



Şekil 6: SEP+MgO Polisülfon membranın farklı siyanür konsantrasyonundaki süzüntü miktarları



Şekil 7: SEP+Ti02 Polisülfon membranın farklı siyanür konsantrasyonundaki süzüntü miktarları



Şekil 8: Bentonit katkılı Polisülfon membranın farklı siyanür konsantrasyonundaki süzüntü miktarları

Tablo 1: 10ppm siyanür konsantrasyonlı	l
AgN03 sarfiyat değerleri	

Membran	AgN0 ₃	AgN0 ₃	AgN0 ₃	Sıcaklık
Tipi	miktarı	miktarı	miktarı	(Celcius)
	(İlk Çözelti)	(Süzüntü)	(tank)	(Celeius)
	ml	ml	ml	
Ticari	3.6	3.6	3.4	26,5
SEP	3.4	3.25	3.3	27
SEP+Mg0	3.3	3.3	3.0	27
SEP+Ti02	3.8	4.5	3.8	26
Halloysit	4.5	4.3	4.3	27

TEŞEKKÜR

Cevher Hazırlama Mühendisliği bölümünün tüm imkânları ile pilot tesis ve laboratuar kullanımına izin verdiği için Sayın Bölüm Başkanımız Prof. Dr. Ali Ayhan SİRKECİ'ye teşekkürlerimi sunarım. Bu konuyu seçmemde bana yol gösteren ayrıca hem sabrıyla hem anlayışıyla bana her konuda yardımcı olan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Birgül BENLİ'ye teşekkürlerimi tüm içtenliğimle sunarım.

KAYNAKLAR

- Baker, R. W.,(2004),Membrane Technologyand Applications, 2nd edition, John Wiley & Sons Ld, Membrane Technology and Research, Inc., Menlo Park, California
- Ergün, (2016), "Modifiye sepiyolit ilaveli polisülfon membranların üretmi ve karakterizasyonu", Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- EPA, (2005), Membrane Filtration Guidance Manual.
- Haque,K.E.,(1992),The Role of oxygen in cyanideleaching of goldore. CIM Bulletin September.
- Imer, D., Kose, B., Altinbas, M., Koyuncu I. polysulfone ;Theproduction of (PS)with silver membrane nanoparticles Physical properties, (AgNP): filtration performances, and biofouling resistances of membranes; Journal of Membrane Science; Volume 428, 1 February 2013, Pages 620-628
- Koyuncu, İ., (1999), Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu, III. Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü, 18-19/11/1999, Gebze, İzmit.
- Mulder, M.,(1991), Basic principles of membrane technology. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.Mudder, T., Botz, M.,(2004), Cyanide and society: a critical review, The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection, 4, s.62-74
- Scott, K. (1995), Handbook of Industrial Membrane, I. Baskı
- Yaldız, (2017), "Siyanürlü suların geri kazanımına yönelik adsorptif özellikte polisülfon-kil ince film membranı hazırlanması" Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Zodrow,K.;Brunet, L.;Mahendra, S.;Li, D.;Zhang, A.;Li, Q.;Alvare, P.;Polysulfone ultrafiltration membranes impregnated with silver nanoparticles show improved biofouling resistance and virus removal; Water Research; Volume 43, Issue 3, February 2009, Pages 715–723

Bakırlı Çözeltilerden Doğal Kimyasallarla Nano Boyutlu Sıfır Değerlikli Bakır Eldesinin İncelenmesi

Examination of Nano-Sized Zero Valent Copper Synthesis with Natural Chemicals from Copper Solutions

N.S. Kılıçoğlu, Z. Yeşilyurt, A. Güney İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Bakır sülfat çözeltilerinden molarite, stabilizatör, indirgeyici gibi koşulların etkisi incelenerek nano boyutlu sıfır değerlikli bakır eldesine yönelik deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde öncelikli olarak çeşitli molaritelerdeki bakır sülfat tuzu çözeltilerine çeşitli oranlarda askorbik asit ilavesi ile indirgenme dereceleri saptanmış ve buna göre uygun askorbik asit miktarı tespit edilmiştir. Ardından aynı parametrelerde çeşitli yüzdeliklerde nişasta ilavesi ile uygun nişasta miktarı tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen bu iki set deneyin sonucunda en uygun molarite, askorbik asit miktarı ve nişasta miktarı tespit edilip bu uygun koşullarda pH deneyleri yapılmıştır. Önceki deneylerden elde edilip kurutulan toz bakırlar ve pH deneyleri sonucunda elde edilen çözeltiler karakterizasyona tabii tutulmuştur. Toz bakır örnekleri için Malvern cihazıyla karakterizasyon yapılırken disperse çözelti halinde elde edilen bakırlar için UV analizleri yapılmıştır. Düşük molaritede hazırlanan bakır sülfat tuzu çözeltisiyle yapılan pH deneylerinden elde edilen çözeltilerin UV analizi sonucuna göre en uygun pH değeri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırılmıştır ve nano Cu⁰ sentezinin başarı ile gerçekleştirildiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bakır nanopartikülleri, Askorbik asit, Nişasta

ABSTRACT Experiments have been carried out on the synthesis of nano-sized zero-valent copper from copper sulfate salts to investigate the effect of copper salts molarity, amount of stabilizer and reducing agent. The reduction ratios of ascorbic acid were determined at various ratios to copper sulfate salt solutions of various molarities and the appropriate amount of ascorbic acid was determined according to the reduction ratios. Then, the appropriate concentration of starch. As a result of these two sets of experiments, the most suitable molarity, amount of ascorbic acid and amount of starch were determined and pH experiments were carried out under these appropriate conditions. Powder copper samples were characterized by Malvern instrument and UV analyzes were performed for the copper obtained as dispersed solution. The optimum pH value was determined from the data obtained by UV analysis of the solutions obtained from the pH experiments with the copper sulfate salt solution prepared at low molarity. The results obtained were compared with the literature and it was determined that the synthesis of nano Cu⁰ was successfully performed. Keywords: Nano-sized copper, Ascorbic acid, Starch

1 GENEL BİLGİLER

1.1 Bakır Nanopartikülleri

Nanopartiküller boyutu 100nm'den az olan olarak tanımlanmaktadırlar. partiküller Nano boyutlardaki partiküller aynı malzemelerin büyük boyutlu partiküllerine göre boyuta bağımlı olarak üstün ve yeni özelliklere sahiptirler. Bakır nanopartikülleri diğer nanopartiküllerle karşılaştırıldığında sahip olduğu üstün katalitik, optik ve elektronik özelliklerinden dolayı bircok sektörde ilgi uyandırmaktadır. Modern teknolojide yaygın bir kullanım alanı olan bakır ayrıca diğer metallerle karşılaştırıldığında çok daha ucuz, kolay bulunabilir ve kullanım alanlarının geniş olması gibi avantajlara sahiptir ve bu avantajlar bakır nanopartiküllerine ola ilgiyi daha da arttırmaktadır (Gençer, 2009).

1.2 Bakır Nanopartikülleri Kullanım Alanları

Nanopartiküllü bakır, yağlayıcı katkı maddesi olarak, aşınma ve sürtünmeyi azaltıcı metalik film kaplaması olarak, katalizör olarak ve baskı devrelerinin yapımında gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

1.3 Bakır Nanopartikülleri Üretim Yöntemleri

Nanopartiküllü bakır üretiminde fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki grup yöntem vardır. Fiziksel yöntem temelde mekanik öğütme, termal parçalanma, lazer ablasyon, aerosol ve radyoliz yöntemlerini kapsarken, kimyasal yöntemler ise mikro emülsiyon, ters misel, elektrokimyasal, foto indirgeme, kimyasal indirgeme ve mikrodalga yardımlı sentez yöntemlerini kapsamaktadır. Bakır nanopartiküllerinin karakterizasyonu ise görünür ultraviyole (UV) absorpsiyon spektroskopisi, X-15111 kırınımı, taramalı elektron mikroskopisi, transmisyon elektron mikroskopisi, atomik kuvvet mikroskopisi ve kızılötesi spektroskopisi ile yapılır.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada ise Bakır Sülfat tuzlarından hazırlanan çeşitli molaritelerdeki çözeltiler indirgeyici (askorbik üzerinde. asit). stabilizatör (nişasta) ve pH'ın etkisi incelenmiştir. Kimyasal indirgeme yöntemiyle sıfır değerlikli Cu eldesi deneyleri reaksiyonun gerçekleşebilmesi adına mikrodalga yardımıyla yapılırken karakterizasyon yöntemi olarak ultraviyole (UV) görünür absorpsiyon spektroskopisi kullanılmıştır.

2.1 Malzeme

Yapılan çalışmada bakırlı çözelti olarak bakır (II) sülfat (Cu₂SO₄), pH ayarlayıcı olarak sodyum hidroksit (NaOH), indirgeyici olarak askorbik asit (C₆H₈O₆), stabilizatör olarak ise nişasta çözeltileri kullanılmıştır.

2.2 Sentez Yöntemi

Çalışmada sentez aşamasında öncelikli olarak çeşitli molaritelerde (0.3M, 0.1M ve 0.01M) 25'er cc bakır sülfat tuzları hazırlanmıştır. Hazırlanan değişik konsantrasyonlardaki bakır sülfat çözeltilerine hacimce eş miktarda değişik oranlarda askorbik asit ilavesi yapılmıştır. Ardından mikrodalga cihazda 1 dakika süreyle 600 Watt'da reaksiyon başlatılmıştır. Deney sonucunda gözlenen renk değişimleri ve indirgeme derecelerine göre en uygun askorbik asit oranı 1:2 (Cu++/Askorbik Asit) tespit edilmistir. Cizelge 1'de olarak askorbik asit miktarları ve indirgenme dereceleri gösterilmektedir. Daha sonraki deneylerde çökme özelliklerine bağlı olarak en uygun bakır sülfat konsantrasyonu 0.1 M olarak edilmiştir. Sonraki aşamada ise deneylerde ise stabiliztör olarak en uygun nişasta oranı tespiti yapılmıştır. Bu tespite göre en uygun nişasta miktarı hacimce eş %1'lik nişasta olarak belirlenmiştir.

Çizelge 1. İndirgenme Dereceleri

Cu++/AA	İndirgenme Derecesi					
(Molar	0,3M 0,1M 0,01M					
oran)	Cu Cu Cu					
1:2	50%	89%	95%			
1:1	44%	81%	85%			
2:1	43%	78%	83%			

2.3 Karakterizasyon Yöntemi

Belirlenen tüm optimum koşullar üzerinde pН değerleri ile pН deneyleri bazı gerçekleştirilmiş ardından elde edilen cözeltilere karakterizasyon işlermi olarak UV analizleri yapılmıştır. UV analizi sonucu elde edilen veriler Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. 0,01 M Cu konsantrasyonunda, 1:2 oranında askorbik asit ve %1'lik nişasta ile hazırlanan çözeltilere çeşitli pH düzeylerinde yapılan kimyasal indirgeme deneylerinin UV analizi sonuçları

3 SONUÇLAR

Yapılan çalışma bitiminde ulaşılan sonuçlar şu şekildedir;

set deneylerde üç farklı 1. Birinci molarite grubuna (0.3, 0.1 ve 0.01 M)üç farklı oranda (1:2, 1:1, 2:1) indirgeyici olarak askorbik asit ilavesi yapılarak toplamda 9 adet deney gerçekleştirilmiş, bu denevler indirgenme dereceleri sonucunda saptanmış ve en uygun askorbik asit oranının 0.01M'lık bakır sülfat tuzu (Cu++/Askorbik 1:2 çözeltisindeki asit) oranı olduğu belirlenmiştir.

- 2. İkinci set deneylerde aynı üç farklı molarite grubuna (0.3, 0.1 ve 0.01 M) %1'lik ve %2'lik nişasta ilavesi ile stabilizatör etkisi araştırılmıştır. Deneyler sonucunda gözle görülür şekilde ayrıma olanak sağlayan renk değişimleri ve çökelmeler meydana geldiği görülmüş, sonuçta en uygun nişasta yüzdesinin %1'lik olduğu belirlenmiştir.
- Yapılan iki set deney sonucunda nanopartiküllü bakır sentezinde en uygun koşulların 0.01 M'lık bakır sülfat tuzu çözeltisine 1:2 oranında (hacimce) askorbik asit ve %1'lik(hacimce) nişasta ilavesi ile sağlandığı saptanmıştır.
- 4. Uçüncü set deneylerde ise en uygun olarak saptanan bu koşullardaki pН cözeltilere deneyleri Toplam 5 adet pH uygulanmıştır. değerinde (2.5, 3.5, 4, 5 ve 6) yapılan çalışmaların sonuçları bu karakterizasyon için hazırlanmıştır. Öncelikli olarak %1'lik nişasta ve 1:2 oranında askorbik asitle hazırlanan 0.1M'lık bakır 0.3M ve sülfat tuzlarının çözeltileri filtelenmiş ve kurutulmuştur. Ardından elde edilen bakır tozları Malvern cihazında karakterizasyona tabii tutulmus ve 0.3M Cu₂SO₄ konsantrasyonunda **d**₅₀: **30 mikron** tane elde edilirken, 0.1M Cu_2SO_4 konsantrasyonunda d_{50} : 22 **mikron** taneler elde edilmiştir.



Sekil 2. 10 mM metal tuzları ve farklı konsantrasvonlarda 1. 2 ve 3 (ağırlık/hacim) oranında kitosan icinde sentezlenmiş Cu (Mat Zain ve *diğ.*, 2014).

5. 0.01M'lık bakır sülfat tuzu çözeltisiyle hazırlanan pH deneylerinden elde edilen çözeltiler UV analizi yöntemiyle karakterizasyon işlemine tutulmus tabii ve UV analizi sonucunda elde edilen verilerden, 500 ile 600 nm dalga boyları arasında en uygun pik değerlerinin pH 6'da elde edildiği tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonucun Şekil 2'de verilen literatür verileri ile uyumlu olduğu, 0.01M'lık bakır sülfat tuzu çözeltisi ile 1:2 oranında askorbik asit, %1 oranında nişasta kullanımı ile pH 6'da nano boyutlu metalik bakır fanecikleri elde edilmektedir.

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu bitirme çalışmasının vapılmasına olanak sağlavan Bölüm Baskanımız Prof. Dr. Avhan Ali SIRKECI'ye, danışmanlığımı üstlenerek bu çalışmayı yapmamı sağlayan ve destekleyen çok değerli hocam Prof. Dr. Ali GÜNEY'e, tezimin her aşamasında bana yardımcı ve destek olan çok değerli Arş. Gör. Zeynep YEŞİLYURT'a ve her zaman yanımda olan aileme teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- 1. Gençer, Ö., 2009. "Bakır ve Bakır Oksit Nanopartiküllerinin Ultrasonik Sprey Piroliz (USP) Yöntemi ile Üretimi", *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 3-14.
- 2. Zain, N.M., Stapley, A.G.F. ve Shama, G., 2014. "Green synthesis of silver and copper nanoparticles using ascorbic acid and chitosan for antimicrobial applications", *Carbohydrate Polymers*, Cilt. 112, s. 195–202.

Flotation Behaviour of A Wollastonite Ore

Bir Vollastonit Cevherinin Flotasyon Davranışı

S. E. Akçin, Z. Yeşilyurt, G. Bulut

Istanbul Technical University, Faculty of Mines, Istanbul

ABSTRACT The production and use of wollastonite has increased greatly in the world, with the potential for use in many areas such as ceramics, metallurgy and plastics. In this study, reverse flotation method was applied to enrich a wollastonite ore from Kırşehir-Buzlukdağ Region. Mainly, this paper shows the results of the experiment in which the pH effect is examined. Firstly, grinding and sieve analysis processes were carried out with the sample to prepare for flotation tests. Potassium oleate was used as a collector reagent in the flotation experiments. In the flotation experiments, pH values parameter was investigated. -100 micron sized wollastonite ore and 1500 g/t potassium oleate were used in the experiments. As a result of this study, best result of wollastonite concentrate which includes 0.44 % Fe₂O₃, 52.71 % SiO₂, 1.36 % CaCO₃, 87.85 % wollastonite contents with 0.6% loss on ignition was obtained at pH 6.

Keywords: CaSiO₃, wollastonite, flotation, potassium oleate

ÖZET Vollastonit üretimi ve kullanımı dünya genelinde seramik, metalurji, plastik gibi birçok alanda kullanıma uygun potansiyeliyle birlikte büyük oranda artmıştır. Bu çalışmada, Kırşehir-Buzlukdağ Bölgesi'nden gelen vollastonit numunesinin zenginleştirilmesinde ters flotasyon yöntemi uygulanmıştır. Bu bildiri, ağırlıklı olarak pH etkisinin incelendiği flotasyon deney sonuçlarını göstermektedir. İlk olarak, flotasyon deneylerine hazırlamak amacıyla, öğütme ve elek analizleri yapılmıştır. Flotasyon deneylerinde toplayıcı reaktif olarak potasyum oleat kullanılmış. -100 mikron boyutlu vollastonit ve 1500 g/t potasyum oleat kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucu olarak, %0.44 Fe₂O₃, % 52.71 SiO₂, %1.36 CaCO₃, %87.85 vollastonit ve %0.6 kızdırma kaybı içeren en iyi vollastonit konsantresi pH 6' da elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: CaSiO₃, vollastonit, flotasyon, potasyum oleat

1. INTRODUCTION

Wollastonite is a naturally occurring calcium metasilicate (CaSiO₃). Wollastonite theoretically contains 48.3% CaO and 51.7% SiO₂ in pure state and is rarely found as pure in nature. It usually contains magnesium, manganese, iron and strontium. Wollastonite

is found together with andradite, garnet, diopside, tremolite, epidote, apatite, sphene, plagioclase feldspar, calcite and quartz in igneous metamorphic limestones and volcanic rocks. Wollastonite is actually chemically inert but may decompose in both hydrochloric acid and other strong inorganic acids. It can be affected very few from

organic acid as acetic acid (Haner & Çuhadaroğlu, 2013). During crushing and grind processes of wollastonite, needleshaped particles are formed due to the characteristics of the specific cleavage. This particle morphology provides high strength to the products. Pure wollastonite is bright and white. Depending on the type and amount of impurities, it may be gray, cream, brown or pale green. Loss on ignition (LOI) plays an important role on determining application area of wollastonite. Commercial wollastonite have LOI ranging between 0.5% and 2.0%. The low LOI makes less problems of gas bubble entrapment and gas dispersal during the firing of ceramics, lowers firing costs, and reduces firing time (Virta & Gosen, n.d). Wollastonite pH is about 9.9. Wollastonite is used in coating industry due to having high pH. Studies show that the alkali pH makes contribution to corrosionperformance inhibiting in heavy-duty industrial coatings (Haner & Cuhadaroğlu, 2013).

Worldwide consumption of wollastonite has significantly increased since its early days. According to Springer and Virta, while world production was about 366.000 tons in 1990, world production was approximately 540.000 2010 tons by (Springer, 1994; Virta 2011). The main markets of wollastonite are ceramics, plastics. instead of using asbestos. metallurgy, paints and coatings. Wollastonite is used instead of raw materials such as feldspar, calcite, quartz, dolomite and talc in the production of ceramic materials or in the regulation of certain properties of ceramic products. In ceramic industry, wollastonite is an additive for plumbing and tiles in order to prevent cracking, squeezing, and breakage heat expansion on the products. and Wollastonite can compete with other white fillers in the plastic filler market as it contributes to the properties of the finished material. The popularity of this wollastonite as a filler material depends on its reinforcing properties such as low water absorption, low resin requirement, thermal stability, thermal conductivity, chemical purity. Wollastonite is used in interior and exterior construction

boards and roofing tiles, shingles and formed insulation, extruded sheets and slabs, siding and corrugated sheets instead of asbestos. Wollastonite has a melting property at low temperature, so it is an important additive in applied casting process during production of sheet metal in metallurgy (Kogel, 2006). Samples used in this study came from Kırşehir - Buzlukdağ region. In this study, experiments were carried out on beneficiation of wollastonite by reverse flotation method. -100 micron sized wollastonite and 1500 g/t potassium oleate were used as a collector in all experiments.

2. MATERIAL AND METHOD

According to X-ray Fluorescence (XRF) analysis, low grade wollastonite sample Buzlukdağ, Kırşehir includes 1.56% Fe₂O₃, 0.209% TiO₂, 41.00% SiO₂, 4.34% Al₂O₃, 49.01% CaO, 1.731% Na₂O, 1.20% K₂O and %28.01 LOI content (Project, 2017). The size of the sample coming from Kırşehir is -2 mm. Wet grinding method in ceramic mill was applied for size reduction. In grinding process, solid ratio in pulp was adjusted 65% and ball mill charge was used at 40%. Desired sizes were obtained by wet grinding. Tables 1 and 2 show particle size distribution of run of mine wollastonite and -100 micron sized. In all flotation experiments were conducted with 300 grams of wollastonite and 1500 g/t potassium oleate concentration. Flotation experiments were done at five stages. Flowsheet of experiments is given in Figure 1.

	Amount	Undersize
Particle Size (mm)	%	%
-2+1	31.1	100.0
-1+0.5	13.2	68.9
-0.5+0.212	12.4	55.7
-0.212+0.106	10.0	43.3
-0.106+0.075	10.4	33.3
-0.075 + 0.038	8.0	22.9
-0.038	14.8	14.9
Total	100.0	

Table 1. Particle size distribution of run ofmine wollastonite

Table 2. Particle size distribution below 100 micron

ParticleSize (mm)	Amount	Undersize
	%	%
-0.106 +0.075	15.8	100.0
-0.075+0.053	24.7	84.2
-0.053+0.038	8.5	59.5
-0.038	51.00	51.00
Total	100.0	



Figure 1. Flowsheet of experiments

Experiments of pH values were done at pH 4, 6 and 10, and natural pH (about 8). Sulfuric acid (H_2SO_4) and sodium hydroxide (NaOH) were used to adjust pH values. Contents (Cont.) and Recoveries (Rec.) of

 Fe_2O_3 and loss on ignition (LOI) are given Tables 3, 4, 5 and 6.

Table 3. Experiment result at pH:4

	Wt%	Fe ₂ O ₃ %		LO	I %
		Cont.	Rec.	Cont.	Rec.
F-1	19.30	0.63	19.30	8.85	24.80
F-2	50.00	0.45	35.40	6.29	45.60
F-3	6.80	0.74	8.10	6.69	6.60
F-4	6.80	0.35	3.80	7.03	7.00
F-5	2.40	0.36	1.40	7.89	2.70
Sink	14.60	1.39	32.10	6.29	13.30
Total	100.0	0.63	100.0	6.90	100.0

Table 4. Experiment result at pH:6

	Wt%	Fe ₂ O ₃ %		LOI %	
		Cont.	Rec.	Cont.	Rec.
F-1	52.90	0.78	41.50	22.43	55.70
F-2	29.30	1.23	36.30	31.25	43.00
F-3	4.70	2.54	12.10	3.03	0.70
F-4	2.00	1.52	3.10	1.36	0.10
F-5	3.00	1.14	3.50	1.62	0.20
Sink	8.10	0.44	3.60	0.60	0.20
Total	100.0	0.99	100.0	21.28	100.0

Table 5. Experiment result at pH:8

	Wt%	Fe ₂ O ₃ %		LOI %	
		Cont	Rec.	Cont.	Rec.
F-1	37.40	0.31	14.50	37.54	53.70
F-2	26.60	0.49	16.00	37.10	37.70
F-3	9.40	1.84	21.20	20.45	7.40
F-4	5.60	2.41	16.50	3.87	0.80
F-5	3.50	2.00	8.50	0.40	0.10
Sink	17.50	1.09	23.30	0.60	0.40
Total	100.0	0.82	100.0	26.17	100.0

Table 6.Experiment result at pH:10

	Wt%	Fe ₂ C	D ₃ %	LOI%		
		Cont.	Rec.	Cont.	Rec.	
F-1	47.30	0.57	27.90	22.03	53.40	
F-2	23.50	0.91	22.20	33.95	40.90	
F-3	7.90	1.84	15.10	10.99	4.50	
F-4	5.40	1.68	9.40	2.20	0.60	
F-5	4.00	1.59	6.50	2.57	0.50	
Sink	11.90	1.52	18.80	0.19	0.10	
Total	100.0	0.97	100.0	19.50	100.0	

Figures 2 and 3 show content and recovery of wollastonite and combined first two floated calcite concentrates.



Figure 2. Wollastonite content and recovery comparison in different pH



Figure 3. Calcite content and recovery comparison in different pH

3.DISCUSSION

In this study, low grade wollastonite sample from Buzlukdağ, Kırşehir was beneficiated with reverse flotation method. Kırşehir ore consists of three main minerals; wollastonite, augite and calcite. The effect of pH values was investigated.A very loss on ignition (0.19%) in wollastonite concentrate was obtained at pH 10 because calcite was floated well in the first two stages with potassium oleate which is a fatty acid type collector (Atak, 1990). This shows that pH 10 is suitable condition to float calcite. On the other hand, pH 6 is suitable for activating iron minerals which are silicate type. The desired iron content of less than 0.5% in wollastonite product was obtained at pH 6 experiment. Also, when the combined result

at natural pH, clean calcite concentrate was obtained with 84.90% calcite content and 91.40% recovery. Best result of wollastonite which includes 0.44% product Fe_2O_3 , 52.71% SiO₂, 1.36% CaCO₃, 87.85% wollastonite contents with 0.6 % loss on ignition. A wollastonite product is obtained at pH 6 are suitable for using in industry such as ceramic, metallurgy and filler materials.

4. CONCLUSION

Low grade wollastonite ore containing wollastonite, augite and calcite was beneficiated with reverse flotation. -100 micron particle size and 1500 g/t potassium oleate were used in experiments. When calcite was floated well at pH 10, iron minerals was floated at pH 6. Best content wollastonite concentrate which contains 0.44% Fe₂O₃, 52.71% SiO₂, 1.36% CaCO₃, 87.85% wollastonite, contents and 0.6 % loss on ignition was obtained at pH 6.

REFERENCES

- Atak, S. (1990). *Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması*. İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı Yayınları
- Haner, S. & Çuhadaroğlu D. (2013). Wollastonite: a review. *Jeoloji Mühendisliği*
- Dergisi. 37(1). 63-87
- Kogel, E., Trivedi. N.C.. Barkeer J.M. & Krukowski, S.T. (Eds.). (2006) Industrial Minerals and Rocks: Commodities. Markests. and Uses. United State: Library of Congress.
- Project. (2017-continue). Kırşehir bölgesi sodyumlu ve potasyumlu nefelinli siyenitlerin ve vollastonit cevherinin karakterizasyonu ve zenginleştirilmesi. *ITU Mines Faculty Foundation Project.*

Virta, R.L., Gosen, B.S.V. (n.d). Wollastonite–a versatile industrial mineral. USGS Concentration of Gold & Silver from Jewelry Waste by Physical Separation Methods

Kuyumcu Artıklarındaki Altın ve Gümüş'ün Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri ile Eldesi

U. Yontar, H. Baştürkçü, M. Ozer, F. Burat Istanbul Technical University, Faculty of Mines, Mineral Processing Department, Istanbul

ÖZET Günümüzde geniş pazar ve üretime bağlı olarak, bazı endüstriler için, geri dönüşüm, alternatif hammadde üretimi haline gelmiştir. Geri dönüşüm sektörünün ana amacı ise, atık maddelerin geri kazandırılmasıdır. Kuyumcu atıkları da bu kategoriye girmektedir ve değerli metal üretiminin olmazsa olmaz bileşenlerindendir. Bu çalışmada, değerli metal olarak altın ve gümüşün geri kazanımı hedeflenmiştir. Zenginleştirme yöntemi olarak cevher hazırlamada ağırlıklı olarak kullanılan fiziksel ayırma metotlarından sarsıntılı masa ve Multi Gravite Ayırıcısı (MGS) tercih edilmiştir. Kuyumcu artığı numunesi, zenginleştirme işleminden önce yakma işlemlemine tabi tutulmuş, malzemenin içindeki plastik veya kağıt gibi malzemeler yakılarak kül haline getirildikten sonra boyut küçültme işlemleri uygulanmıştır. Ardından farklı boyut aralıklarında Sarsıntılı Masa ve MGS kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiş, yüksek Au ve Ag içerikte konsantre üretimi hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuyumcu Artığı, Altın, Gümüş, Fiziksel Zenginleştirme.

ABSTRACT Nowadays, recycling became an alternative way for raw material production depending to wide market and production for some industries. The main purpose of recycling sector is recycling of waste material. Jewelry waste is in this category and it is an indispensable component of metal production. In this study, it is aimed to recover gold and silver as a valuable metals from jewelry wastes. As a concentration method, physical separation techniques (shaking table and multi gravity separator (MGS)) were used in the experimental studies. Jewelry waste was subjected to burning process before the beneficiation studies. The materials such as plastic and paper in the waste were burned and turned into ashes. Size reduction was applied to burned material in order to prepare a sample before concentration stages. It was aimed to have a concentrate with high content and recovery rate using shaking table and MGS in different fractions.

Keywords: Jewelry Waste, Gold, Silver, Physical Separation.

1 INTRODUCTION

With the advent of industrialization, the precious metal need is inclined, when the natural resources amount reducing with high operating costs. In terms of recovery of these metals, the demand of education became vital for the alternative solutions. (Canda et al., 2015).

Recycling can be defined as the recovery of the precious metal from its waste. This process can be performed by lots of ways such as; physical beneficiation methods, flotation, leaching or amalgamation.

In terms of recycling, gold is the most popular precious metal that is generated from mostly jewelry and electronics (Canda L. et al, 2015). The recycling of scraps and wastes in jewelry production is an indispensable component of a profitable jewelry manufacturing business, regardless of the size of the factory or whether it is a traditional workshop or not. In terms of product cost and business competitiveness, the loss of the precious metal such as gold and silver in the manufacturing process could affect the cost parameter significantly (Corti, 2002).

Jewelry waste can be classified in four ways, such as; cleaning waste, sewer waste, waste during manufacturing processes and handwashing waste. These types of waste can be beneficiated by physical separation methods that process according to their gravity, magnetic and electrostatic features of material.

In this study, the possibility of beneficiation of gold and silver from the jewelry waste by physical separation methods were investigated. The chemical analysis was performed in detail, in order to determine the compound of the sample of material. Then, the performance of the equipment's physical separation were examined in terms of grade and recovery of product.

2 EXPERIMENTAL STUDIES

Wastes collected from jewelry workshops were burned to remove the combustible part like paper, plastic before size reduction. After that, physical separation methods were applied to recover precious metals such as gold (Au) and silver (Ag) in the jewelry waste.

2.1 Characterization of Material

XRD studies were carried out on the representative waste sample. As seen from Figure 1 the material is consist of mainly calcium and magnesium compounds (71.1% calcite, 3.1% anhydrite, 6.1% magnesite, 14.1% magnesium hydroxide sulfate hydrate, 5.6% mono hydro calcite). These compounds make the pH value of slurry very basic. Since the content of precious metals such as gold and silver is below a certain level, it couldn't be displayed in XRD analysis.



Figure 1. XRD analysis results of waste sample.

The chemical analysis was applied to determine of the grade of jewelry waste as raw material containing 160 g/t Au and 1210 g/t Ag. Wet screen analysis of representative sample was done to determine the size distribution. The contents of Au & Ag in different are given in Table 1.

3 RESULTS AND DISCUSSION

In the experiments, the concentration of jewelry waste was accomplished using shaking table separator and MGS at different fractions. The performance of enrichment equipment's were examined in terms of grade and recovery.

3.1 Concentration with Shaking Table and Multi-Gravity Separator

It is observed that +2 mm fraction (30.1 % of the total feed) is consist of mainly copper wires, iron scraps and contains low grade Au and Ag. Therefore, +2 mm was discarded by screening and the remaining material was sent to the experiments with shaking table and multi-gravity separator.

In first step, -2 mm material was classified into 5 fractions by using sieves. Feed fractions for the shaking table are chosen as -2+1 mm, -1+0.5 mm, -0.5+0.212 mm, and -0.212+0.053. For multi-gravity separation test only -0,053 mm fraction was used.

<u>C!</u>	Amount,	Au		Α	g	ΣUS,	ΣΟS
Size, mm	%	C, g/t	D, %	C, g/t	D, %	%	, %
+6	19.0	10.3	1.5	26	0.3	100.0	19.0
-6+2	11.1	24.1	2.0	1502	11.2	81.0	30.1
-2+1	7.1	224	11.8	1813	8.6	69.9	37.2
-1+0.5	10.9	193	15.7	2032	14.9	62.8	48.1
-0.5+0.212	10.3	195	15.0	2065	14.2	51.9	58.3
-0.212+0.100	6.5	228	11.1	2450	10.7	41.7	64.8
-0.100+0.053	6.0	299	13.5	2890	11.7	35.2	70.8
-0.053	29.1	165	29.4	1450	28.4	29.1	100.0
Total	100.0	142.4	100.0	1489	100.0		

Table 1. Size distribution of waste sample and Au &Ag contents in fractions.

C: Content; D: Distribution, **D**US: Cumulative Under Screen; **D**OS: Cumulative Over Screen

Multi-gravity separator experiments were performed in 2 stages by applying two different rotational speed (260 rpm and 200 rpm). The selected parameters for MGS experiment is;

- Solid Ratio: 20 %
- Washing Water: 3 L/min
- Incline: 4 °
- Feed: 2 L/minute
- Amplitude: 15 mm

As shown in Table 2, a concentrate containing 700 g/t Au and 6016 g/t Ag was obtained with 54.4% and 46.3% recovery. Au and Ag losses in tailing was found as 19.4% and 28.5% respectively.

According to the previous experiments, -0.212 mm fraction has highest metal content in shaking table experiments in terms of Au and Ag. Thus, -0.212+0.053 mm fraction was used in shaking table experiments by four stages and -0.053 mm fraction feed to the MGS by two stages. The results are given in Table 3. Table 2. Combined result for Shaking Table and MGS with the sample below 2 mm.

As it is shown in Table 3, 11.7 % of the product was concentrated with 767 g/t Au and 6291 g/t Ag content. Au and Ag recoveries were calculated as 59% and 47.7% respectively. On the other hand, 71.9 % of the product was discarded as tailing containing 63.9 g/t Au and 839.4 g/t Ag. Losses of Au and Ag were 30.1 % and 39.1 % in tailing, respectively.

Table 2.	The	combined	results t	for Sh	naking	Table	and Mo	GS v	with	the	sample	below	2 mm
					<u> </u>								

Draduata	Amount 0/	Cont	ent, g/t	Recovery, %		
Products	Amount, 70 –	Au	Ag	Au	Ag	
Concentrate	14.1	700	6016	54.4	46.3	
Middling	27.8	171	1657	26.2	25.1	
Tailing	58.1	60	900	19.4	28.5	
Total	100.0	186	1832	100.0	100.0	

Table 3. The combined result of shaking table and MGS experiments with the sample ground below 0.212 mm.

Droduota	Amount 0/	Cont	ent, g/t	Recovery, %		
Frouncis	Amount, 70	Au	Ag	Au	Ag	
Concentrate	11.7	767	6291	59.0	47.7	
Middling	16.4	101	1246	10.8	13.2	
Tailing	71.9	64	839	30.1	39.1	
Total	100.0	152	1540	100.0	100.0	

3 CONCLUSIONS

In this study, the possibility of beneficiation of gold and silver from the jewelry waste by physical separation methods were investigated.

The material is consist of mainly calcium and magnesium compounds (71.1% calcite, 3.1% anhydrite, 6.1% magnesite, 14.1% magnesium hydroxide sulfate hydrate, 5.6% mono hydro calcite).

The material was classified into 5 fractions by screening and fed to shaking table and multi-gravity separator. As a result, a concentrate containing 700 g/t Au and 6016 g/t Ag was obtained with 54.4% and 46.3% recoveries. Au and Ag losses in tailing was found as 19.4% and 28.5%, respectively.

-0.212+0.053 mm fraction was applied to shaking table by four stages and -0.053 mm fraction feed to the MGS by two stages. 11.7 % of the product was concentrated with 767 g/t Au and 6291 g/t Ag contents. Au and Ag recoveries were calculated as 59% and 47.7% respectively.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to acknowledge the SAY Ramat Precious Metals Ltd. for supplying waste sample and financial support of chemical analysis.

REFERENCES

- Canda, L., Heput, T., Ardelean, E., 2015. Methods for recovering precious metal from industrial waste, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 106 (2016) 012020 doi:10.1088/1757-899X/106/1/012020
- Corti, C. W., 2002. Wastes, recovery and refining of gold jewellery scraps and wastes. The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, London

Langmuir-Blodgett Metodu Kullanılarak Sepiyolit Fiberlerle Kaplanmış Doğal Biyopolimer Bazlı İnce Filmlerin Hazırlanması Preparation Of Sepiolite Fibers Coated Biodegradable Polymer Hybrid Thin Films By Langmuir-Blodgett Technique

U. Çetiner, B. Benli

İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET

Endüstriyel ölçeklerde kullanılabilen malzemelerin üretilmesi ile bilimsel gelişmelerin endüstriyel anlamda uygulanabilirliğinin birbirine bağlı oldukları yadsınamaz bir gerçektir. Langmuir-Blodgett (LB) metoduyla üretilen ince filmler günümüzde biyosensörlerde, optik cihazlarda, fiber optik kaplamalarında ve enerji transfer sistemlerinde kullanılabilmektedir. Bu çalışma kapsamında ODA, HDA ve HTAB yüzey aktif maddelerinin, %1'lik kil konsantrasyonu ile hazırlanan sepiyolit-su dispersiyonlarında (SS) gösterdiği yüzey davranışları π -A izotermleri yardımıyla incelenmiştir. İzoterm incelemeleri doğrultusunda seçilen ODA yüzey aktif maddesi, hazırlanan Na-Aljinat biyopolimer filmleri üzerine transfer edilmiş ve oluşturulan monomoleküler kaplanmış biyopolimer yapının AFM görüntüleme ve FTIR ile yapı karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Langmuir-Blodgett ince film; monokatman; sepiyolit; biyopolimer; daldırmalı kaplama

ABSTRACT

There is an undeniable relation between the industrial applicability of the scientific developments and the production of materials which can be used in industrial scales. Nowadays, the biopolymeric thin films produced with the Langmuir-Blodgett (LB) method can be used in production of biosensors, optical devices, fiber optic coatings and energy transfer systems, Within the scope of this study, the surface behavior of ODA, HDA and HTAB surface active agents in sepiolite-water dispersions (SS) which are prepared with clay concentration of 1%, was investigated with π -A isotherms. By taking π -A isotherms as a reference, the selected ODA surface active agent was transferred and inorganic fibers of sepiolite clay coated onto Na-Alginate biopolymer films. Finally, the produced monomolecular coated biopolymer thin films were characterized by AFM image and FT-IR structural analysis.

Keywords: Langmuir-Blodgett thin films; monolayer; sepiolite; biopolymer; dip-coating

Langmuir-Blodgett (LB) metoduyla üretilen ince filmler günümüzde biyosensörlerde, optik cihazlarda, fiber optik kaplamalarında, enerji transfer sistemlerinde ve elektronik cihazların üretiminde, biyolojik olarak aktif moleküllerin araştırılmasında, ilaç geliştirilmesinde davranımlarının ve sistemlerin zincirleme biyolojik reaksiyonlarının incelenmesinde kullanılabilmektedir. Aynı zamanda LB ince filmler; killer gibi inorganik katkıların polimerler. metaller, kompozitler veva nanokompozitler üzerine kaplanarak, bu malzemelerin yüzey özelliklerini geliştirip, dayanımlarını termal mekanik ve arttırabilmektedir. Çalışma kapsamında, Oktadesilamin $(CH_3(CH_2)_{17}NH_2),$ Hekzadesilamin $(CH_3(CH_2)_{15}NH_2)$ ve Hekzadesiltrimetil amonyum bromür $(CH_3(CH_2)_{15}N(Br)(CH_3)_3)$ yüzey aktif maddelerinin, sepiyolit ile hazırlanmış kil dispersiyonları ile hava arayüzeyi üzerindeki davranışları incelenmiştir. π -A izotermleri incelenerek, yüzey aktif maddelerin kil konsantrasyonuna bağlı olarak değişen film oluşturabilme kabiliyetleri belirlenmiştir. π -A izotermleri üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, ODA yüzey aktif maddesinden oluşturulan ince filmin aljinat biyopolimerler üzerine transfer edilmesine karar verilmiş ve biyopolimer monomoleküler kaplanmış filmin karakterizasyonu AFM görüntüleme ve FTIR ile gerçekleştirilmiştir.

2 MALZEME VE YÖNTEM

Sivrihisar yöresinden temin Çalışmada, edilen sepiyolit kil dispersiyonu oluşturmada, ODA, HDA, HTAB yüzey aktif maddeleri ince film hazırlamada, Aljinik asidin sodyum tuzu (Na-Aljinat) biyopolimer film üretiminde, aljinat filmlerin katyon değişiminde CaCl₂, filmlerin sertleştirilmesinde C₂H₆O ve yüzey aktif madde çözeltisi hazırlamak için CHCl₃ kullanılmıştır.

2.1 Yüzey aktif maddelerin hazırlanması Yüzey aktif maddelerin her birinden 0.025 g tartılarak 25 mL kloroform içerisinde %1 konsantrasyonda çözeltileri elde edilmiştir.

2.2 Kil dispersiyonlarının hazırlanması

Sepiyolit kilinin demetlerinden kopan taneciklerin dispersiyona kazandırdığı ağsı yapıdan faydalanabilmek için mekanik dağıtıcı kullanılmıştır. Mekanik dağıtma hazırlanan kil-su sonunda %1'lik dispersiyonuna SS adı verilmiştir ve bu dispersiyondan SS10, SS20, SS30, SS40 ve SS50 olmak üzere 5 farklı 50 mL'lik konsantrasyonlar hazırlanmıştır.

Deneyler sırasında KSV NIMA 102M Langmuir-Blodgett (LB) cihazı ve yazılımı, dip-coating cihazı kullanılmıştır. Her bir yüzey aktif maddeyle ayrı deney setleri yapılmış ve π -A izotermleri cihaz yazılımı üzerinde belirlenmiştir. LB cihazının teknesi kullanılacak kil konsantrasyonundan alınan 50mL ile doldurulduktan sonra, sıvı/hava aktif madde arayüzeyi üzerine yüzey damlatılarak 10 dk beklenmiştir. 10 dk sonunda arayüzey üzerine yayılan yüzey aktif madde molekülleri, cihaz bariyerleri 100 mm/dk hızla kapatılarak sıkıştırılmış ve sıkışma esnasındaki yüzey basinci değişimleri, izotermleri ile π-A gözlemlenmiştir.

3 SONUÇLAR

ODA, HDA ve HTAB yüzey aktif madde çözeltilerinin su/hava arayüzeyi üzerinde, mono moleküler şekilde yayılması için μĹ gerekli olan miktarlar cinsinden belirlenmiştir. ODA ve HDA için bu değer 12.5 µL olarak belirlenmişken, HTAB için 25 µL olması gerektiği; yüzey aktif madde moleküllerinin suya karsı olan π-Α izotermlerinin farklı miktarlar kullanılarak çıkarılması sonucu kararlaştırılmıştır.

 π -A izotermlerinin çıkarılması aşamasında kullanılan yüzey aktif maddenin molekül cözelti konsantrasyonu ağırlığı, ve damlatılacak çözelti hacmi; cihaz mono tanıtılmış ve katman menüsüne yüzey ve tek bir yüzey aktif madde basıncı kapladığı molekülünün alan hesaplamalarının cihaz yazılımı tarafından otomatik olarak yapılması sağlanmıştır. işleminin ardından, Damlatma cihaz bariyeleri kapatılarak, yüzey basıncının, monomoleküler alanın bir fonksiyonu olan izotermler elde edilmiştir.

Biyopolimer film hazırlamak için, hassas terazide 4.5 g Na-aljinat tartılarak 150 mL su içerisine eklenmiş ve 24 saat boyunca karışmaya bırakılmıştır. Katyon değişiminde kullanılmak üzere, 30 g kalsiyum klorür, 300 mL su içerisine eklenerek %10 derişimli CaCl₂ çözeltisi elde edilmiştir. Elde edilen konsantrasyonlu %3 Na-aljinat çözeltisinden, film oluşturmak üzere, beş defa, 15 mL'lik miktarlar alınarak yuvarlak tabanlı petri kaplarına dökülmüştür. Petri kaplarının şeklini alan Na-aljinat örnekleri, CaCl₂ çözeltisi içerisine batırılarak, sağlıklı bir katyon değişimi için 15 dk beklenmiştir. Bekleme süresinin ardından CaCl₂ cözeltisi içerisinden çıkarılan ve rijit yapı kazanmış filmleri Na-aljinat yapının daha da sağlamlaşması için etanol ile yıkanmıştır.

Biyopolimer yüzeylere ince film kaplama yapmak için, ODA ince filmleri edilmistir. Hazırlanmıs tercih aljinat filmlerden 3 adet dikdörtgen seklinde kesit alınmıştır. İnce film transferinin, aljinat film yüzeyler üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla, SS10, **SS30** ve SS50 konsantrasyonları tercih edilmiş ve 40 mN/m yüzey basıncı, film kaplama işlemi için ideal basınç olarak seçilmiştir. İki adet lam arasına sıkıştırılmış aljinat yüzey kaplama cihazına yerleştirilmiştir. Lamlar arasına yarısı dışarıda kalacak şekilde yerleştirilen yüzey, LB cihazının dip-coating boşluğuna denk gelmesine dikkat edilerek kil dispersiyonu

içerisine daldırılmıştır. ODA çözeltisinden arayüzey üzerine ilave edilerek LB film prosedürü uygulanmıştır. İncelenen π-Α izotermi üzerinde yüzey basıncı 40 mN/m'ye anda sıkıstırma ulastığı islemi durdurulmuştur. Cihaz haznesi içerisindeki bulunan aljinat film yüzeyi, kaplama cihazının en düşük hız ayarında yukarı kaldırılarak, yüzeyinin ODA molekülleri ile kaplanması sağlanmıştır.

3.1 π-A İzotermlerinden Elde Edilen Sonuçlar

Çalışmada LB cihazı ile elde edilen π -A izotermleri sonucunda, ODA ve HDA moleküllerinin ince film oluşturmada başarılı sonuçlar verildiği gözlemlenmiştir. HTAB molekülleri için belirlenen yüzey aktif madde miktarlarında çıkarılan izotermlerde ise karakteristik faz geçişleri gözlenmemiş ve bu nedenle sağlıklı bir ince film oluşturulamayacağı tespit edilmiştir.



Şekil 3. Farklı SS konsantrasyonları için HTAB izotermleri

HDA moleküllerinin farklı kil konsantrasyonlarında benzer izotermler verdiği ve genel olarak kil içeriğinin artmasına bağlı olarak katı faza geçişin daha düşük moleküler alanlarda olduğu saptanmıştır.



Şekil 4. SS konsantrasyonlarının HDA izotermleri

Şekil 5'ten hareketle ODA moleküllerinin, sepiyolit varlığında 40 mN/m yüzey basıncı seçilerek biyopolimer yüzey kaplama işlemi ODA molekülleri ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. SS konsantrasyonlarının ODA izotermleri

3.2 ODA Moleküllerinin Davranışı

Su üzerinde bulunan ODA üzerinde bulunan oda molekülleri, hidrofilik kısımları su içerisinde kalırken, hidrofobik kısımları olan hidrokarbon zincirleri su dısında kalmaktadır. Sepiyolit dispersiyonu içerisinde suya karsı olan ise, davranışlarından farklı davrandıkları içerisinde gözlemlenmiştir. Su askıda bulunan sepiyolit taneciklerinin arayüzey üzerine yerleştikleri takdirde ODA moleküllerinin diziliminin bozulmasına neden oldukları düşünülmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. ODA moleküllerinin sepiyolit dispersiyonu varlığında davranışı



Şekil 7. Sepiyolit kaplı aljinat yüzeyinin AFM görüntüsü $(1\mu^2 \text{ alanda ortalama 85 nm çaplı fiberler})$

TEŞEKKÜR

TUBİTAK 1001 Araştırma Projesi (Proje No: 113 M 462) kapsamında gerçekleştirilen bu çalışma boyunca sorularımı yanıtlayan, ve karşılaştığım sorunları aşmamda bana yardımcı olan danışmanım Doç. Dr. Birgül BENLI'ye ve yardıma ihtiyacım olduğunda beni yalnız bırakmayan Acelva BALLI'va tesekkür ederim. Hayatım boyunca vermiş oldukları maddi manevi destek ile beni ayakta tutan aile üyelerim, babam Hasan **CETINER**, annem **Müjgan CETINER** ve kardeşim Gizemnur ÇETİNER'e sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

KAYNAKLAR

- Paul, S., Pearson, C., Molloy, A., Cousins, M., Green, M., Kolliopoulou, S., 2003. Langmuir-Blodgett film deposition of metallic nanoparticles and their application to electronic memory structures. Nano Letters, 3(4), 533-536.
- Santaren, J., 1993. Sepiolite: a mineral thickener and rheology additive, Modern Paint and Coatings, 98-72.

The Removal of Coal from Clay at Izmir Karaburun Region İzmir Karaburun Bölgesi Killerinden Kömürün Uzaklaştırılması

Vuslat B. Başaran, M. Ozer, Ayhan A. Sirkeci Istanbul Technical University, Faculty of Mines, Mineral Processing Department, Istanbul

ÖZET Bu bitirme çalışmasında, İzmir Karaburun Yöresi'ne ait olan kil cevherinin karbon içeriğinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Toplam karbon içeriği %1,74 olan bu kil cevherinde bulunan karbonun yaklaşık olarak %50'si kömürden kaynaklı olup, diğer kısmı ise karbonatlı minerallerden ileri gelmektedir. Deneysel çalışmaların ilk bölümünde, killerin kolay dağılabilme ve çok ince boyutlarda bulunma özelliğinden dolayı, dağıtma (aktarma tamburu) sınıflandırma yöntemi zenginleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. boyuta göre ve Bu zenginleştirme işleminden, toplam kil cevherinin %77,4'ü miktarında bir kil konsantresi %1,02 C ve %23,75 Al₂O₃ içeriği ile elde edilmiştir. Tamamı 38 mikron altında olan kil konsantresinin kömürden kaynaklı karbon içeriğinin %0.69 olduğu tespit edilmiş ve bünyedeki kömürün uzaklaştırılması amacıyla flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Flotasyon deneylerinde toplayıcı reaktif olarak montanol, mazot ve motor yağı'nın, köpürtücü kimyasal olarak da MIBC(Methyl Isobutyl Carbinol) ve Çam Yağı'nın kömür flotasyonuna etkileri incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda toplam 2000 g/t Mazot ve 200 g/t MIBC kullanımı ile kömürden kaynaklı karbonun yaklaşık %50'sinin uzaklaştırılabileceleği ortaya koyulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kil, karbon uzaklaştırma, dağıtma, boyuta göre sınıflandırma, flotasyon

ABSTRACT The objective of this study is to decrease coal content in clay mineral from İzmir Karaburun Region. Total carbon content of the clay sample is 1.74% and 50% of the total carbon content comes from coal and other %50 come from minerals with carbonate. In the first part of the experiments, methods of dispersion and classification by size are used for beneficiation because clays can easily be dispersed and they have fine sizes. 77.4% clay concentrate is obtained with 1.02% Carbon and 23.75 Al₂O₃% content, after this beneficiation process. Carbon from coal in material under 38 microns is determined as 0.69% and flotation process is applied for removal of coal in the ore. In the flotation experiments, effects of montanol, diesel oil and engine oil as collectors, MIBC and Pine Oil as frothers are examined. As a result of the experiments %50 of the carbon from coal content is removed by using of 2000 gr/t Diesel Oil and 200 gr/t MIBC.

Keywords: Clay, Carbon removal, tumbling, classification by size, flotation

1 INTRODUCTION

Clay has various usage areas, while ceramic industry is the most common area, in which clay is used and produced. In clay minerals there are some impurities that can decrease the quality of the ceramic and therefore, these impurities must be kept below a certain value not to affect the quality. This study aims to remove coal with floatation leading to decrease coal content in clay and increasing its quality, as well.

In this; first chapter is introduction, while the second chapter includes general information about clays, in the third chapter, there are experimental studies about the coal removal from clay by searching several parameters and methods. In the fourth chapter conclusions are written.

2 CLAY MINERALS AND USAGE IN INDUSTRY

Clay is a natural raw material that most commonly occurs with the aqueous alumina silica minerals. When clay is heated up; it becomes plastic and at elevated temperatures; it becomes glassy.(Kibici, 2002; Sümer,1988)

Clay minerals such as kaolinite, plastic clay and bentonite are used in different industries depending on physical, chemical and physico-chemical properties. Besides plasticity, cohesion, color and shrinkage are essential features for clay minerals to determine clay quality, when selecting of clay for using any industry, following parameters must be also considered;

a)absorption properties, b)textural properties, c)resistance to drying, d)plasticity, e)flow characteristics, f)permeability, g)roasting color, h)tensile properties, i)mineralogical compounds and j)chemical compounds.

Impurities such as metal oxides, carbonates, sulfates and combustible substances such as coal affect the purity of the clay and quality in the negative direction. Even little amount of organic material may cause a large difference color. In ceramic, it can lead to cracking and expansions on the surface and make little holes called Pin Hole. Coal is the major organic based impurity and the least desired mineral in tiles because, it causes expansion, bubble making, change in shape, reduced strength (Kardeş, 2007). On the other hand, iron compounds causes negative affects because of affecting the color of roasting and reducing the refractoriness of the clay.

Beside these impurities, clay minerals also contain feldspar and quartz minerals. This causes some complications in its use in the ceramics industry.

For these reasons, these all components must be removed from the clay ore and converted into a raw material suitable for the clay in ceramic industry by using mineral processing technologies.

3 EXPERIMENTAL STUDIES

In this thesis study, experimental studies have been conducted on the sample, which was taken from Izmir Karaburun Region, in order to remove coal from clay. Physical and chemical properties of the ore sample were determined. As for beneficiation method; tumbling and classification by size, and flotation methods were used.

3.1 Material and Method

In order to determine the characterization of clay ore including physical, chemical and mineralogical properties, firstly the chemical analyses of the sample were performed on the sample and the results including major oxide compounds are shown in the Table 1.

In the results of chemical analysis, it is obviously seen that 50% of total carbon in the clay ore compound is from coal, the rest comes from carbonate minerals. According to mineralogical analysis, while clay minerals identified as illite and kaolinite in the ore sample, quartz, feldspar, iron oxides and carbonates present as the other minerals. The screen analysis also showed that d_{80} size of ore was 60 mm in size.

Analysia 9/	Run Of Mine
Analysis, 70	Ore, %
Total C, %	1.74
C from Coal, %	0.84
LOI, %	9.28
SiO ₂ , %	59.27
Al ₂ O ₃ , %	19.56
Fe ₂ O ₃ , %	5.52
TiO2 , %	1.04
CaO, %	0.45
MgO , %	1.35
$Na_2O, \%$	0.27
K ₂ O, %	3.26

Table 1. Chemical Analysis of the Sample

It is known that, some clay minerals are materials which can easily be dispersed and consequently micron size particles can be obtained. For this purpose, Karaburun clay sample was dispersed by using tumbling drum in this study. The obtained product was screened through 38 micron screen and a product being rich in clay minerals is obtained. In order to remove coal from this product (-38 micron in size), flotation experiments were performed in different conditions. The carbon analyses were done for all products obtained from experiments and the results were evaluated.

3.2 Tumbling and size classification experiment

To concentrate clay minerals and remove the large size impurities such as quartz and iron compunds in the ore, tumbling experiments were carrid out in the solid in pulp ratio of 60% for 30 minutes. Then the products were classified into different size fraction by using 2, 0.5, 0.038 mm screens. The chemical analysis of products in different size group were performed and the results are given Table 2.

Table 2. Screen Analysis and Chemical Analysis of the Run of Mine Ore after Tumbling Drum Experiments

	A	Carbon%							
Size, mm	Amount %	Total%	From Coal%	L.U.I. %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	
+2	4.1	6.54	2.01	19.18	42.81	7.84	24.04	0.49	
-2+0,5	2.5	5.11	2.79	10.76	68.48	8.16	8.33	0.71	
-0,5+0,038	16.0	3.12	0.94	6.98	74.70	8.75	5.99	0.54	
-0,038	77.4	1.02	0.69	8.68	57.38	23.75	3.2	1.17	
Total	100.0	1.68	0.84	8.88	59.84	20.31	4.62	1.03	

As it is shown in the Table 2, while -38 micron product after tumbling contains mostly clays minerals with %23.75 Al₂O₃ content, -2+0.038 micron size fraction contains mostly silicates with approximately 70% SiO₂ content. On the other hand, +2 mm size has 24.04% Fe₂O₃ content that it indicates the presence of iron minerals in this fraction. As a result of a tumbling and classification, a clay concentrate with

amount of 77.4% can be obtained below -38 microns and this clay product has 1.02% total carbon content. While 67.6% of the total carbon is originated from coal, the rest comes from carbonate minerals.

3.3 Flotation experiments

After obtaining -38 micron product which is rich in clay minerals, flotation experiments were conducted to reduce the carbon content by removing coal from clay. In the coal flotation experiments, montanol, diesel oil, engine oil were used as collectors employing frothers such as MIBC and pine oil. Experiments were conducted in naturel pH (6,8) in 5 stages and sodium silicate was used as dispersant where the dosage was 1000 g/t. Floats of each stage were combined and analyzed as a float product. Conditioning and flotation time was chosen as 5 and 3 minutes respectively in all stages of flotation.

To investigate the most effective collector in the coal flotation, first group experiments were carried out and the results of experiments are given in Table 3 with the test conditions.

Conditions	Products	Amount%	Carbon Content%	Carbon Dist. %
Diesel Oil=	Float	28.6	1.12	49.8
400*5 g/t	Sink	71.4	0.45	50.2
MIBC=40*5 g/t	TOTAL	100.0	0.64	100.0
Montanol=	Float	27.7	0.74	31.2
400*5 g/t	Sink	72.3	0.63	68.8
MIBC=40*5 g/t	TOTAL	100.0	0.66	100.0
Engine	Float	26.3	0.75	27.9
Oil400*5g/t	Sink	73.7	0.69	72.1
MIBC=40*5g/t	TOTAL	100.0	0.70	100.0

Table 3. The effect of Collector Type in the Flotation of Clay

As it is seen from Table 3, the best results in terms of carbon removal were found in the experiments in which diesel oil was used as a collector. In addition to collector type, the amount of collector was essential in the flotation so the effect of diesel oil dosage was investigated in the second group studies. The flotation experiments with different amount of diesel oil such as 200*5, 400*5 and 800*5 were carried out and the results and experimental conditions are shown in Table 4.

Table 4. The effect of Diesel Oil Amount in the Flotation of Clay

Conditions	Products	Amount%	Carbon Content%	Carbon Dist. %
Diesel Oil=	Float	20.5	1.18	36.5
200*5 g/t	Sink	79.5	0.53	63.5
MIBC=20*5 g/t	TOTAL	100.0	0.66	100.0
Diesel Oil=	Float	28.6	1.12	49.8
400*5 g/t	Sink	71.4	0.45	50.2
MIBC=40*5 g/t	TOTAL	100.0	0.64	100.0
Diesel Oil=	Float	49.8	0.83	64.3
800*5 g/t	Sink	50.2	0.46	35.7
MIBC=80*5 g/t	TOTAL	100.0	0.64	100.0

According to Table 4, 400*5=2000 g/t diesel oil gave the best results to obtain

cleaner a clay concentrate. As a result of using 2000 g/t diesel oil a product with

0.45% C content was obtained. In this experiment the Carbon removal efficiency was found to be 49.8%. Lower and higher diesel oil concentrations do not allow for the production of a cleaner clay production.

a frother, therefore the third group experiments, the effect of these kinds of frothers in the flotation were also studied and the results of experiments are given in Table 5.

49.8

50.2

100.0

58.0

42.0

100.0

Pine oil can be an alternative for MIBC as

Float

Sink

TOTAL

Float

Sink

TOTAL

Table 5. The Fffect of Frother Type in the Flotation of Clay						
Conditions	Products	Amount%	Carbon Content%	Carbon Dist. %		

28.6

71.4

100.0

41.6

58.4

100.0

As it is shown in Table 5, there is no any
positive effect of pine oil on the flotation of
clay. In contrast, pine oil led to an increase
in the amount of floated material and this
causes loss of clay minerals in the floated
product.

4 CONCLUSIONS

Diesel Oil=

MIBC=40*5 g/t

Diesel Oil=

Pine oil=40*5 g/t

400*5 g/t

400*5 g/t

- 1. In this graduation project the objective was decrease coal content in clay mineral from İzmir Karaburun Region. It is determined that total carbon content of clay mineral is 1.74% and 50% of the total carbon content come from coal and other %50 come from minerals with carbonate.
- Methods of dispersion and classification by size are used for beneficiation. It was found that 77.4% clay concentrate is obtained with 1.02% Carbon and 23.75% Al₂O₃, after this beneficiation process.
- 3. Carbon from coal content which is from under 38 microns is determined as 0.69% and flotation process is applied for removal of coal in the ore.
- 4. After flotation experiments, by changing several parameters such as collector and frother type and collector amount, coal content in clay sample was decreased to %0.45. And the percantage of carbon gaining is found to be 49.8%

ACKNOWLEDGEMENT

1.12

0.45

0.64

0.95

0.49

0.68

The authors would like to acknowledge the Polat Mining Company Trade Inc. for their support via providing clay ore sample and chemical analaysis. Also the authors would like to special thanks to Dr.Huseyin Baturkcu and Research Assistant Zeynep Yesilyurt for their help during the study.

REFER ENCES

- Khoshdast, H., & Sam, A. 2011. Flotation frothers: review of their classifications, properties and preparation. *The Open Mineral Processing Journal*, 4, 25-44.
- Demirel, H., Karapınar, N., & Akça, K. 1995. Bentonit ve Diğer Killerin Absorbant Olarak Kullanımı. *Endüstriyel*

Hammaddeler Sempozyumu, 21-22.

Akhirevbulu, O. E., Amadasun, C. V., Ogunbajo, M. I., & Ujuanbi, O. 2010. The Geology and Mineralogy of Clay Occurrences Around Kutigi Central Bida Basin, Nigeria. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, 3(3).

https://www.ucl.ac.uk/earth-

sciences/impact/geology/london/ucl/materials/clay

Bursa - Orhaneli Krom Cevherlerinin Flotasyon Özelliklerinin İncelenmesi Investigation of Flotation Properties of Bursa - Orhaneli Chrome Ores

Z. Yücel, O. Güven, A. Güney

İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET ŞE-TAT krom hazırlama tesisinde üretilen ince boyutlu artıklardan kromit içeriğinin flotasyonla kazanılma olanakları araştırılmıştır. Artık numunesi üzerinde yapılan kimyasal analiz sonucunda numunenin %4.83 Cr₂O₃, % 6.71 FeO, % 38.30 MgO, 1.40 Al₂O₃, ve % 36.82 SiO₂ içerdiği tespit edilmiştir. Flotinor SM15 ve Flotinor 3635 reaktifleri ve pH ayarlayıcısı olarak HCl ve NaOH kullanılmıştır. Konsantre numunesinin tamamı bantlı kuru manyetik ayırıcıdan geçirilerek daha saf bir kromit ve serpantin konsantresi elde edilmiş ve bilyalı değirmende öğütülerek -106+38 µm ve -38 µm boyut gruplarına indirilmiştir. -38µm boyut grubunda saf kromitin, 0.001 M KCl çözeltisi içinde pH değerinin bir fonksiyonu olarak zeta potansiyeli ve sıfır yük noktası tespit edilmiş ve SM15 ve F3635'in değişik pH değerlerinde kromit yüzeyindeki etkileri incelenmiştir. -106+38 µm boyutta kromit ve olivinin, ayrı ayrı mikro-flotasyon karakteristikleri, farklı kollektör kombinasyonları, boyut, pH ve konsantrasyon parametreleri deneysel çalışmalarda incelenmiştir. SM15 ve EDTA ile ince boyutlu sarsıntılı masa artığından kromitin kazanılmasında konvansiyonel flotasyon şartları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zeta potansiyel, mikro flotasyon, kromit, olivin

ABSTRACT The Possibilities of obtaining chromite contents by flotation were investigated from fine-sized tailings produced in ŞE-TAT chrome preparation plant located in Orhaneli region of Bursa. The chemical analysis of the tailing sample revealed that the sample contained 4.83% Cr_2O_3 , 6.71% FeO, 38.30% MgO, 1.40 % Al₂O₃, and % 36.82 SiO₂. SM15 and F3635 reagents were used as collectors and HCl and NaOH were used as pH adjusters. All of the concentrate samples were passed through a Rotary Displacement Magnetic Separator to obtain pure chrome and serpentine concentrates and the grinding was carried out by ball milling to -106 + 38 μ m and -38 μ m size groups. The zeta potential values of pure chromite in the -38 μ m size group was determined as a function of pH value in 0.001M KCl solution and the effects of different reagents on the chromite surface at various pH values were examined. Micro-flotation characteristics of chromite and olivine were investigated by performing different collector combinations, particle size, pH and collector concentration parameters. The properties determined by micro-flotation studies in a bench scale, SM15 and EDTA reagent as depressant of olivine were used.

Keywords: zeta potential; micro-flotation; chromite; olivine

1 GİRİŞ

Bu tez çalışmasında Bursa Orhaneli bölgesinde yer alan ŞE-TAT krom hazırlama tesisinde üretilen ince boyutlu ürünlerin yüzey özelliklerinin yanısıra, sarsıntılı masa artıklarından kromit kaçağının flotasyon ile kazanılma olanakları, İTÜ Maden Fakültesi Cevher Hazırlama Laboratuvarlarında 21.11.16 – 29.05.17 tarihleri arasında araştırılmıştır.

1.1 Malzeme

Çalışmalarda -1 mm masa konsantresi ve artık, pH ayarlayıcısı olarak HCl ve NaOH, kimyasal reaktif olarak Flotinor SM15, Flotinor 3635 ve EDTA Kullanılmıştır.

1.2 Cihaz

Mikro elektroforez cihazı (zeta metre 3.0), mikro flotasyon ünitesi ve Denver marka konvansiyonel flotasyon cihazı kullanılmıştır.

1.3 Yöntem

Elektro kinetik potansiyel ölçümleri, -38 μ m boyut grubunda kromit ve olivinin 10⁻³ M KCI konsantrasyonunda, ve kromit ile SM 15 ve F 3635 konsantrasyonunda deneyler yapılmıştır.

Mikro flotasyon ölçümlerinde, -106+38 µm boyut grubunda kromit ve olivin ile optimum pH, besleme boyutu, kollektör konsantrasyonu ve kombinasyonlarının flotasyon verimine olan etkisi belirlenmiştir.

Konvansiyonel flotasyon deneyleri -106+38 µm boyut grubunda artık numunesi ile yapılmıştır.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Elektrokinetik Potansiyel Ölçümleri

Elektrokinetik potansiyel ölçümleri, kromit ve olivin numunelerinin yüzey yükünün tespiti amacıyla yapılmıştır.

2.1.1 10⁻³ M KCl konsantrasyonunda yapılan deneyler

Kromit ve olivin partiküllerinin pH'ın bir fonksiyonu olarak zeta potansiyel değişimleri şekil 1'de verilmiştir.

Şekil 1'de gösterilen zeta potansiyel görülebileceği ölçümlerinden de üzere kromitin sıfır yük noktası yaklaşık olarak 6 bulunmuş olup. civarında bu değer literatürde önceki çalışmalarda belirlenen 4.2-5 aralığından yukarı bir değerdedir[1,2]. potansiyel Kromitin zeta değerleri incelendiğinde pH 6 altında pozitif yük, bu pH'ın üstünde negatif yük aldığı, olivinle ölçümlerde gerçekleştirilen tüm pН değerlerinde pozitif vük aldığı görülmektedir.



Şekil 1. Kromit ve olivin partiküllerinin değişik pH'larda zeta potansiyel değişimleri

2.1.2 Değişik F-SM15 konsantrasyonunda yapılan deneyler

SM 15 reaktifinin kromit partiküllerinin yüzey yükünün değişimini incelemek amacıyla 50 mg/L, 100 mg/L ve 200 mg/L SM15 reaktifi ilaveli kromit partiküllerinin değişik pH'larda zeta potansiyel değişimleri Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2'de gösterilen zeta potansiyel ölçümlerinden de görülebileceği üzere doğal pH'larda kromit partiküllerinin yüzey elektrik yükü mutlak değerce 25 mV'dan 32 mV'a yükselmektedir. pH 11 civarında ise kromit partiküllerinin yüzey elektrik yükü mutlak değerce 36 mV'dan 52 mV'a yükselmektedir. Bu değerler literatürde de 28 mV'dan yukarı bir değerdedir[1].



Şekil 2. 50 mg/L, 100 mg/L ve 200 mg/L SM15 konsantrasyonlarında kromit partiküllerinin değişik pH'larda zeta potansiyel değişimleri

2.1.3 Değişik F3635 konsantrasyonunda yapılan deneyler

F-3635 reaktifinin kromit partiküllerinin yüzey yükünün değişimini incelemek amacıyla 50 mg/L, 100 mg/L ve 200 mg/L F-3635 reaktifi ilaveli kromit partiküllerinin değişik pH'larda zeta potansiyel değişimleri Şekil 3'de verilmiştir.

Şekil 3'de gösterilen zeta potansiyel ölçümlerinden de görülebileceği üzere doğal pH'larda kromit partiküllerinin yüzey elektrik yükü mutlak değerce 17 mV'dan 24 mV'a yükselmektedir. pH 11 civarında ise kromit partiküllerinin yüzey elektrik yükü mutlak değerce 23 mV'dan 29 mV'a yükselmektedir. Bu değerler literatürde de benzer bir artış değerindedir[1].



Şekil 3. 50 mg/L, 100 mg/L ve 200 mg/L F3635 konsantrasyonlarında kromit partiküllerinin değişik pH'larda zeta potansiyel değişimleri

2.2 Mikro Flotasyon Deneyleri

2.2.1 Optimum pH'ın belirlenmesi

Optimum pH'ın belirlenmesi için 200 mg/L SM15 konsantrasyonunda -106+38 µm boyut grubunda kromit ile değişik pH değerleriyle yapılan flotasyon verim değişimleri Şekil 4 'de verilmiştir.

Sekil 4'de belirtilen değerler ele alındığında asidik pH değerlerinde kromitin flotasyon veriminin daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum kullanılan reaktifin bu pH değerlerinde etkisinin daha az olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla bir sonraki deney serisinde pH değeri 11 olarak alınmıştır.



Şekil 4. 200 mg/L SM15 konsantrasyonunda farklı pH'larda kromitin flotasyon verimi değişimleri

2.2.2 Optimum besleme boyutunun belirlenmesi

Optimum besleme boyutunun belirlenmesi için 200 mg/L SM15 Konsantrasyonunda pH 11'de -106+38 μ m -106+53 μ m ve -106+75 μ m boyut gruplarında kromit ile yapılan flotasyon verimi değişimi Şekil 5'de verilmiştir.

Şekil 5'de gösterilen değerler göz önüne alındığında üst boyut sabit tutulmak kaydıyla alt boyutun azalmasına paralel olarak verimin yükseldiği görülmüştür. Dolayısıyla ilerleyen çalışmalarda -106+38 µm boyut grubunda çalışılmasına karar verilmiştir.



Şekil 5. 200 mg/L SM15 konsantrasyonunda farklı boyutlarda kromitin flotasyon verimi değişimleri

2.2.3 Optimum kollektör konsantrasyonun belirlenmesi

Optimum kollektör konsantrasyonunun belirlenmesi için pH 11'de, $-106+38 \ \mu m$ boyut grubunda sırasıyla kromit ve olivin ile 50 mg/L, 100 mg/L, 200 mg/L, 400 mg/L, 600 mg/L, 800 mg/L ve 1000 mg/L, SM15 ve F3635 konsantrasyonunda yapılan flotasyon değişimleri Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 6. Değişik SM15 ve F3635 konsantrasyonunda yapılan kromitin flotasyon verimi değişimleri



Şekil 7. Değişik SM15 ve F3635 konsantrasyonunda yapılan olivinin flotasyon verimi değişimleri

2.2.3 Kollektör kombinasyonlarının flotasyon verimine olan etkisinin belirlenmesi

Kollektör kombinasyonlarının flotasyon verimine olan etkisinin belirlenmesi için pH 11'de, -106+38 µm boyut grubunda kromit ile %50 verimin elde edildiği 200 mg/L esas alınarak 50 mg/L SM15 + 150 mg/L F 3635, 100 mg/L SM15 + 100 mg/L F3635, 150 mg/L SM15 + 50 mg/L F3635 şeklinde karışımların flotasyon verimi değişimi Şekil 8'de verilmiştir



Şekil 8. SM15 ve F3635 karışım konsantrasyonlarının flotasyon verimi değişimleri

2.3 Konvansiyonel Flotasyon Deneyleri

Bir önceki deney serisinde, mikro flotasyon deneyleriyle kromit ve olivin numunelerinin flotasyon özellikleri belirlenmistir. Bu asamada ise tesisten temin edilen artık üzerinde laboratuvar numunesi ölçekli konvansiyonel flotasyon hücresi kullanılarak 106+38 µm boyut grubunda bir seri deneysel gerçekleştirilmiştir. çalışmalar Bu deneylerde; mikro flotasyon deneylerinden elde edilen optimum kollektör konsantrasyonu, tane boyutu ve pH değeri gibi şartların yanısıra kromit cevherinin daha selektif olarak yüzdürülmesi için literatürde olivinin bastırıcısı olarak kullanılan [3] (Etilen EDTA diamin tetra asetat) da Bu deneylerdeki çalışma kullanılmıştır. koşulları Çizelge 1'de, deney sonuçları ise Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 1. Çalışma Koşulları

Kollektör Kullanımı	pН
50 g/t EDTA + 200 g/t SM15	11
25 g/t EDTA + 200 g/t SM15	11
25 g/t EDTA + 200 g/t SM15	9,2 (Doğal))

Çizelge 2. Deney Sonuçları

		M, %	İ, %	V, %
			Cr₂O₃	Cr ₂ O ₃
	Κ	88,42	4,94	90,38
50 g/t E +	А	11,58	4,03	9,62
200 g/t S	Т	100	4,84	100
	Κ	85,93	5,03	87,83
25 g/t E +	А	14,07	4,26	12,17
200 g/t S	Т	100	4,93	100
	Κ	38,29	5,01	39,67
25 g/t E +	А	61,71	4,73	60,33
200 g/t S	Т	100	4,84	100
E:EDTA	S:SN	415 M	:Miktar	İ:İçerik
V:Verim K:Konsantre A:Artık T:Toplam				

3 SONUÇLAR

1) Yüzey elektrik yükü ölçümlerinde 10⁻³ M KCl konsatrasyonunda ŞE-TAT kromit tanelerinin sıfır yük noktası yaklaşık olarak pH 6 olarak tespit edilmiştir. Olivin taneleri ile gerçekleştirilen ölçümlerde ise tanelerin tüm pH değerlerinde pozitif yük aldığı görülmektedir.

2) Kullanılan SM15 ve F3635 anyonik kollektörlerinin, tüm pH değerlerinde kromit tanelerinin yüzey elektrik yükünü negatif yaptığı gözlemlenmiştir.

3) En iyi flotasyonun gerçekleştiği pH 11'de, SM15'de kromit tanelerinin yüzey elektrik yükü mutlak değerce 16 mV'luk bir artış göstermektedir (-36 mV'dan -52 mV'a yükselmektedir). F 3635'de ise kromit tanelerinin yüzey elektrik yükü mutlak değerce 6 mV'luk bir artış göstermektedir (-23 mV'dan -29 mV'a yükselmektedir).

4) 200 mg/L SM15 konsantrasyonunda pH değeri arttıkça kromit için flotasyon veriminin artığı ve pH 11'de verimin %50'ye ulaştığı görülmektedir.

5) 200 mg/L SM15 konsantrasyonunda farklı tane boyutu aralıklarının kromitin flotasyon verimi üzerindeki etkileri ortaya konmuştur-106+38 µm boyut grubunda verimin %50'ye ulaştığı belirlenmiştir.

6) SM15'de F3635'e göre daha yüksek flotasyon verimleri elde edilmiştir ve kromitin optimum flotasyon veriminin 600 mg/L konsantrasyonunda, olivinin optimum flotasyon veriminin ise 400 mg/L konsantrasyonunda olduğu görülmektedir. 600 mg/L konsantrasyonda gerçekleştirilecek kromit flotasyonunda olivin partiküllerinin de yüzen üründe yer alabileceği görülmektedir.

7) Kollektör kombinasyonlarında, tek kollektör kullanımına nazaran daha fazla verim alınabileceği ortaya konmuştur.

8) Yapılan çalışmalar sonucunda, SM15 kollektörü ve olivinin bastırıcısı olarak kullanılan EDTA ile konvansiyonel flotasyon şartları incelenmiştir, ancak selektif bir ayırma gerçekleşememiştir.

TEŞEKKÜR

Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümünün tüm imkânları ile laboratuvar kullanımına izin verdiği için Sayın Bölüm Başkanımız **Prof. Dr. Ayhan Ali SİRKECİ**'ye, Lisans eğitimim boyunca bana danışmanlık ederek gösterdiği büyük sabır ve destekten dolayı tez danışmanım, saygıdeğer hocam Prof. Dr. Ali GUNEY'e, Literatür arastırmalarında ve deneysel çalışmalarda her türlü destek ve yardımı göstererek, bilgi ve tecrübesinden yararlanmama imkân veren değerli hocam Dr. Müh. Onur GÜVEN'e, Bütün Cevher Mühendisliği Hazırlama Bölümü hocalarıma, Bitirme çalışmalarımda yardımcı olan tüm arkadaşlarıma ve hayatımın her döneminde yanımda olan benle üzülüp benle gülen aileme sonsuz şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim.

KAYNAKLAR

- A. Güney, S. Atak, (1997). Separation of chromitefrom olivine by anionic collectors, pp. 102,103
- A. Güney, G. Önal, M.S. Çelik, (1999). A "New Flowsheet For Processing Chromite Fines By Column Flotation and The Collector Adsorption Mechanism", May
- G. P. Gallios, E. A. Deliyanni, E. N. Peleka, K. A. Matis, (2006). Flotation of chromite and serpentine



İTÜ Maden Fakültesi Ayazağa Yerleşkesi, 34469 Maslak www.mines.itu.edu.tr e-ISBN: 978-975-561-483-0

