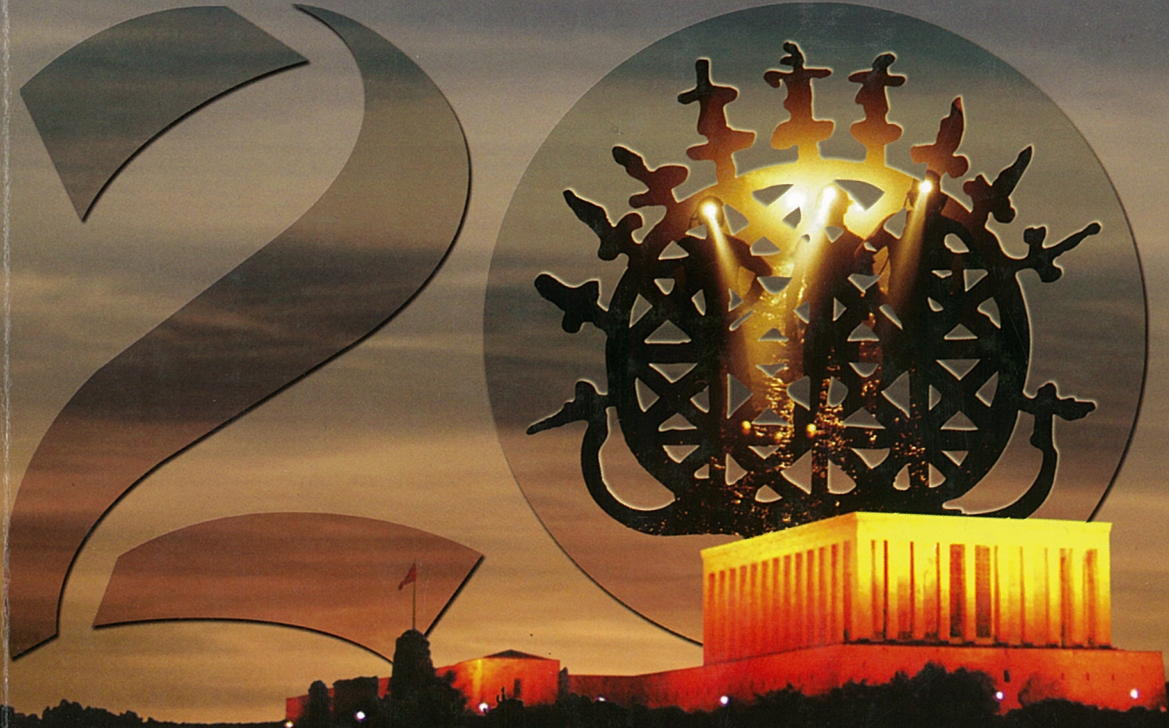


TÜRKİYE 20. ULUSLARARASI MADENCİLİK KONGRESİ BİLDİRİLER KİTABI

6-8 Haziran 2007-ANKARA



EDİTÖRLER

Dr. Celal KARPUZ

Dr. Mehmet Ali HİNDİSTAN

Dr. A. Erhan TERCAN



TMMOB

MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI

TUMKS2007 / ANKARA / 6-8 HAZİRAN 2007

Türkiye 20. Uluslar arası Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı

Editörler

Dr. Celal KARPUZ
Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Dr. Mehmet Ali HİNDİSTAN
Hacettepe Üniversitesi

Dr. A. Erhan TERCAN
Hacettepe Üniversitesi

TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI

Türkiye 20. Uluslararası Madencilik Kongresi bildiriler kitabının basımı
DEMİR EXPORT A.Ş.'nin desteğiyle gerçekleştirilmiştir.

Tüm hakları saklıdır © 2007

TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın yazılı izni olmaksızın
bu kitap ya da kitabın bir kısmı herhangi bir biçimde çoğaltılamaz ve yayımlanamaz.

Ümit Ofset Matbaacılık San. ve Tic. Ltd. Şti.'nde basılmıştır

Ankara

Tel: 0312. 384 26 27

ISBN : 978-9944-89-287-2

Yayın No : 133

© TMMOB Maden Mühendisleri Odası

Adres : Selanik Cad. No : 19/4

06650 Kızılay-Ankara, Turkey

Tel : 0312. 425 10 80

Faks : 0312. 417 59 90

URL : www.maden.org.tr

e-posta : maden@maden.org.tr

MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI YÖNETİM KURULU

Başkan : Mehmet TORUN
II.Başkan : Berna Fatma VATAN
Sekreter : Nahit ARI
Sayman : Ahmet SARDAR
Üyeler : Mehmet Ali HİNDİSTAN
Cemalettin SAĞTEKİN
Hüseyin Can DOĞAN

KONGRE YÜRÜTME KURULU

Başkan : Dr. Celal KARPUZ
II.Başkan : Dr. A. Erhan TERCAN
Sekreter : Dr. Mehmet Ali HİNDİSTAN
Sayman : Yusuf Ziya AKGÖK
Üyeler : Nejat TAMZOK
Ali ÖNEMLİ
Ayşen ERTEN
Mehtap KILIÇ
Savaş ÖZÜN
Güneş ERTUNÇ

BİLİMSEL KURUL

Dr. Hürriyet AKDAŞ	Dr. Levent ERGÜN	Dr. Gündüz ÖKTEN
Dr. Okay AKSOY	Müfit ERDİL	Mustafa ÖNDER
Dr. Raşit ALTINDAĞ	Ömer ERKOÇ	Dr. Muammer ÖNER
Dr. Ergin ARIOĞLU	Dr. Adem ERSOY	Dr. Bahri ÖTEYAKA
Dr. Ali İhsan AROL	İlker ERTEM	Dr. Gülhan ÖZBAYOĞLU
Dr. Ümit ATALAY	Dr. Hasan GERÇEK	Dr. Yılmaz ÖZÇELİK
Dr. Mustafa AYHAN	Dr. Kemal GÖKAY	Dr. Hüseyin ÖZDAĞ
Yusuf AYDIN	Dr. R.Mete GÖKTAN	Dr. Saim SARAÇ
Dr. İrfan BAYRAKTAR	Dr. Özcan Y. GÜLSOY	Burhanettin ŞAHİN
Dr. A.Hakan BENZER	Dr. Lütfullah GÜNDÜZ	Dr. Ahmet ŞENTÜRK
Dr. Aydın BİLGİN	Dr. Tevfik GÜYAGÜLER	Dr. M. Gürel ŞENYUR
Dr. Nuh BİLGİN	Dr. Çatin HOŞTEN	Dr. Ferhan ŞİMŞİR
Dr. Naci BÖLÜKBAŞI	İbrahim İŞCEN	Dr. Levent TEZCAN
Dr. Atilla CEYLANOĞLU	Dr. Sair KAHRAMAN	Dr. Levent TUTLUOĞLU
Dr. Neşe CELEBİ	Dr. Ali KAHRİMAN	Dr. Bülent TÜRMEZ
Dr. Sabri ÇELİK	Hakan KAYA	Sait ULUIŞIK
Dr. Hanifi ÇOPUR	Muammer KAYA	Dr. Reşat ULUSAY
Dr. Ahmet DEMİRCİ	Dr. Ayhan KESİMAL	Dr. Tuğrul ÜNLÜ
Dr. Nuray DEMİREL	Çetin KOÇAK	Dr. Bahtiyar ÜNVER
Dr. Vedat DİDARİ	Dr. Adnan KONUK	Ömer ÜNVER
Dr. Şebnem DÜZGÜN	Dr. Halil KÖSE	Dr. Mahir VARDAR
Dr. İ.Göktay EDİZ	Dr. Seyfi KULAKSIZ	Dr. Ercüment YALÇIN
Dr. Zafir EKMEKÇİ	Köksal MUCUK	Dr. Ergül YAŞAR
Dr. Kaan ERASLAN	Dr. Yedigâr MÜFTÜOĞLU	Dr. Hüseyin YAVUZ
Dr. Selamet ERÇELEBİ	Dr. Erkin NASUF	Dr. Necati YILDIZ
Dr. Bülent ERDEM	Dr. Turgay ONARGAN	Dr. Ekrem YÜCE
Dr. Hasan ERGİN	Dr. A.Hakan ONUR	

SUNUŞ

Doğal kaynakların, insanların yaşamındaki önemi herkes tarafından bilinmektedir. Çağdaş bir yaşam için madencilik faaliyetleri vazgeçilmezdir. Bugün yaşamımızda kullandığımız ürünlerin hemen hemen tamamı madencilik faaliyetlerinin birer sonucudur. Madenler, milyonlarca yılda oluşan ve tüketildiklerinde yenilenemez kaynaklardır.

Bu kadar önemli kaynakların üretimi ve değerlendirilmesi , mutlaka etkin bir planlama ve denetim gerektirmektedir. Madencilikğin önemi, madenleri üretilen kendi ülke sanayisinde kullanıldığı ve uç ürün üretildiği ölçüde artar. Bunun için de madencilik sektörünün; sanayi, enerji, kimya, tarım ve inşaat gibi diğer sektörlerle entegrasyonu şarttır. Dünyada hammadde ihraç ederek gelişmiş bir ülke örneği yoktur. 2006 yılında tüm madenlerimizden elde edilen ihracat geliri 2 milyar dolar olmuştur. Aynı yılda sadece kömüre verilen döviz miktarı 1,5 milyar dolar civarındadır. Bu nedenle madenlerimizi, sanayimizde kullanacak şekilde planlamak önemlidir. İşsizliği azaltacak, bölgesel eşitsizlikleri giderecek, ulusal gelirimizi yükseltecek politikaların oluşturulması ve uygulanması hayati önem arz etmektedir.

Madencilik faaliyetinin her aşamasında en az bir maden mühendisinin varlığı sektörde genel verimliliğin artışı bakımından ve gelişmiş teknoloji kullanımı bakımından gereklidir. Odamız; belirli ilkeler çerçevesinde ortaya konacak “Ulusal Madencilik Politikası” temelinde oluşacak bir düzenlemenin başarılı olacağına inanmaktadır. Bu çerçevede, insanı ve insan emeğini merkeze koyan, bir yandan madencilik faaliyetlerinde kamunun etkin denetimini sağlarken diğer taraftan söz konusu faaliyetlerin çevre ve eko sistemlerin korunmasını da gözeten, temel olarak ekonomik kalkınmaya ve yoksulluğun azaltılarak gelir dağılımının düzeltilmesi hedeflerine yönlendirilen bir politika oluşturmanın gerek toplumun yararı gerekse madencilik sektörünün gelişimi açısından büyük önem taşıdığı görüşünü taşımaktadır.

Bu değerlendirmeler ışığında; Türkiye 20. Uluslararası Madencilik Kongresinde sunulacak bildirimlerin sektörümüzün sorunlarının çözümüne büyük katkıları olacaktır. Bu amaçla kongremizi destekleyen kamu ve özel tüm madencilik kuruluşlarımıza, bildiri sunarak katkı koyanlara ve bu kongrenin gerçekleşmesi için emeği geçenlere teşekkür ederiz.

YÖNETİM KURULU

ÖNSÖZ

Maden Mühendisler Odası tarafından iki yılda bir düzenlenen Türkiye Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi (TUMKS 2007)'nin yirmincisi 6-8 Haziran 2007 tarihlerinde Ankara Dedeman otelinde gerçekleştirilecektir. TUMKS kongre serileri; uluslararası madencilik camiasında da kabul görmüş ve çok iyi tanınan etkinlikler olarak ün kazanmışlardır. Kongre ve sergi ile amaçlanan, madencilik sektöründeki sorunların uluslararası bir ortamda sunulması ve tartışılması, teknolojik gelişmelerin geniş kitlelere aktarılması, araştırmacılar, işletmeceler, sektör temsilcileri ve yöneticiler arasında iletişimin sağlanmasıdır.

Bilimsel kurul üyeleri tarafından yapılan titiz değerlendirmeler sonucu, 80 den fazla özet arasından 60 bildiri kabul edilmiş ve iki cilt halinde kongre kitaplarında toplanmıştır. Birinci ciltte; İngilizce olarak yazılmış 31 bildiri, ikinci ciltte ise Türkçe yazılmış 31 bildiri yer almaktadır. Kongre kitabında basılıp ve sunulan toplam 62 bildiri; Yeraltı Madenciliği, Cevher Hazırlama, Delme ve Patlatma, Jeostatistik, Kaya Deneyle, Kesilebilirlik, Madencilik ve Çevre, Joetnik Mühendisliği, İş Güvenliği ve Çevre, Eğitim ve Karışık bildiri gurubu olmak üzere 11 ana başlık altında toplanmıştır. Çağırılı bildirilere ek olarak, bu bildiriler 15 farklı oturumda sunulacaklardır.

TUMKS 2007'nin başarısı, Kongre Yürütme Kurulu, Oda Yönetim Kurulu, Bilimsel Kurul ve Oturum başkanlarının ortak çabalarının sonucu elde edilmiştir. Bu kurullar bu zamana kadar ellerinden gelenin en iyisini yapmışlar ve bundan sonra da aynı gayreti göstererek başarılı çalışmalarına devam edeceklerine emin olduğumu belirtmek isterim. TUMKS 2007 ve bu kongre kitabının gerçekleşmesinin yazarlar ve sunucuların doğrudan katkıları sayesinde mümkün olduğunu söylemeye bile gerek yoktur. Kendilerine çok teşekkür ederiz. Kongrenin başarılı geçmesinde delegelerin ilgi ve katkısı için de çok teşekkür ederiz.

Çağırılı bildiri önerimizi kabul ettikleri ve mükemmel sunumları için Dr. R. Güner Gürtunca'ya ve Maden Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu Başkanı Mehmet Torun'a özellikle teşekkür ederiz. Dünya Madencilik Kongresi Yönetim Kurulu Üyelerinin TUMKS 2007'yi onurlandırmalarından da çok mutlu olduk.

Sponsorlar ve Sergiye katılanlara kongremize çok değerli katkılarından dolayı çok teşekkür ederiz.

TUMKS 2007'nin tüm katılımcılarına Kongrenin başarısı için koymuş oldukları çok değerli katkılarından dolayı tekrar teşekkür eder, teknik bilgi alışverişlerine ek olarak sosyal etkinliklerden de hoşlanmaları dileğiyle sevgi ve saygılar sunarım.

Dr. Celal KARPUZ

Kongre Yürütme Kurulu Başkanı

İÇİNDEKİLER

Sunuş – Preface	vi
Önsöz - Foreword	vii
Çağrılı Bildiri – Invited Paper	
Türkiye Madencilik Sektöründe Özelleştirme Uygulamalarının Sonuçları <i>The Results of Privatisation in the Mining Sector of Turkey</i> TMMOB Maden Mühendisleri Odası	3
Yeraltı Madencilği - Underground Mining	
GLİ Kalın Kömür Damarında Ayak Arkası Kayıplarını Belirleme Çalışmaları <i>Studies on Determination of Coal Remaining in Gob at GLI Thick Coal Seam</i> M.K. Özfirat, F. Şimşir	33
GLİ Ömerler Yeraltı Kömür Ocağında Tam Mekanize Uzunayak Teçhizatının Yeni Panoya Taşınması <i>Moving Procedures to new panel for Full Mechanized Longwall Equipment in GLI Ömerler Underground Coal Mine</i> H. Akdaş, R. Çelik	39
Çözelti Madencilği Yeraltı Depolama Açıklıklarında Duraylılık Çözömlmeleri <i>Stability Analyses of Solution Mining Underground Storage Openings</i> A. Özarslan, M. Geniş, M E. Bilir, İ. Özkan	49
Cevher Hazırlama - Mineral Processing	
Kömür Yıkama Tesisleri İçin Örnek Otomasyon Tasarımı <i>A Model Automation Design for Coal Washing Plants</i> A. Gitmez, N. Güralp	61
Jameson Flotasyon Hücresi İle Zonguldak Toz Kömürünün Zenginleştirilmesi <i>Benefication of the Zonguldak Fine Coal by Using the Jameson Flotation Cell</i> H. Hacıfazlıoğlu, İ. Toroğlu	73
Santrifüj Etkili Bir Separatörün (MGS) Kef Krom Cevheri Konsantratöründe Kullanılabilirliğinin Tekno-Ekonomik Etüdü <i>Technical and Economical Study of Applicability of a Centrifugal Force Gravity Separator (MGS) to Kef Chromite Concentration Plant</i> T. Çicek, İ. Cöcen, V.T. Engin, S. Şen, H. Cengizler	81
Delme ve Patlatma - Drilling and Blasting	
Hassas Tesisler İçin Titreşim Kontrollü Patlatma Tekniğinin Uygulanması <i>The Application of Vibration Controlled Blasting Technique for a Sensitive Facility</i> G. Konak, D. Karakuş, A.H. Onur, H. Köse, A. Gönen	93
TKİ-GLİ Açık Ocaklarında Patlatma Delik Düzeninin Parçalanmaya ve Dekapaj Maliyetine Etkisi <i>The Effect of Blast Hole Geometry on Fragmentation and Overburden Costs in TKI-GLI Open Pit Mines</i> Ö. Uysal, E. Arpaz, İ. Topal, A.Ö. Ünlü	105

Jeoistatistik - Geostatistics

- Ardışık Gauss Benzetiminin Tufanbeyli (Adana) Linyit Yatakları Kalite Değişkenlerine Uygulanması 113
The Application of Sequential Gaussian Simulation to Quality Variables of Tufanbeyli (Adana) Lignite Deposits
A. Ersoy, T.Y. Yünel, Ü. Atıcı

Kesilebilirlik - Cuttability

- Aşındırıcı Su Jeti Kesme Sistemlerinin Kayaç Kesme Performansları 127
Rock Cutting Performance of Abrasive Water Jet Cutting Systems
İ. Karakurt, K. Aydın
Dairesel Testerelele Kesme Yönteminde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne ve Özgül Enerjiye Etkisinin İncelenmesi 135
Investigation of the Effect of Cutting Parameters to Specific Energy and Surface Roughness in Circular Sawing Method
Y. Özçelik, F. Bayram, N.E. Yaşıtı, E. Yılmazkaya, E.S. Kanbir, S. Şile
Elmas Telli Kesmede Kasnak Çapının Kesme Performansına Etkisinin İncelenmesi 145
Investigation of Effect of Pulley Diameter to Cutting Performance in Diamond Wire Cutting
Y. Özçelik, E. Yılmazkaya, F. Bayram, N.E. Yaşıtı, E.S. Kanbir, N. Kekeç

Jeoteknik Mühendisliği - Geotechnical Engineering

- Yer Radarı (GPR) ve Kayaç Petrografisi Yöntemleri ile Bir Mermer Ocağındaki Yapısal ve Dokusal Süreksizliklerin Görüntülenmesi 153
Visualization of the Structural and Textural Discontinuities in a Marble Quarry using Ground Penetrating Radar (GPR) and Rock Petrography Methods
S. Kadioğlu, Y. K. Kadioğlu
Patlatmaların Kontrol Edilebilen Parametrelerinin Sismik Sinyaller Üzerine Etkileri 161
The Effect of Controlled Blast-Parameters on Seismic Signals
G.G.U. Aldaş, B. Ecevitöglü

İş Güvenliği ve Çevre - Safety and Environment

- Doğu Karadeniz Bölgesinde Terkedilmiş Maden Galerileri: Riskler, Kazalar, Önlemler ve Kurtarma Çalışmaları 171
Abandoned Mine Entries in Eastern Black Sea Region: Risks, Accidents, Safety and Rescue
A. O. Yılmaz, İ. Alp, K. Aydın, M. Vıcıl
Kömürde Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlığın Termogravimetrik Açidan Modellenmesi 179
The Thermogravimetric Model for Prediction of Spontaneous Combustion Tendency of Coal
Ö.S. Yıldırım, M.S. Saraç
Ekonomik Ömrünü Tamamlamış Açık Maden Ocaklarının Rekreatyonel Amaçlarla Düzenlenmesi 187
Reclaiming of Surface Mining Area which Completing Economical Life for Recreational Purposes
M. Topay, N. Koçan
Türkiye Kömür Madenciliği İş Güvenliği Endekslerinin Dünya Ülkeleri İle Karşılaştırılması 197
Comparison of Turkish Coal Mining Safety Indices with World Countries
M. Sarı

Eğitim - Education

- Maden Mühendisliğinde Etik Eğitimi 204
Ethics Education in Mining Engineering
H. Gerçek

Kaya DeneYleri – Rock Testing

Kayaç Kırılganlığı ile Delme Oranı İndeksi Arasındaki İlişkilerin Araştırılması 217
Investigation of the Relations Between Rock Brittleness and Drilling Rate Index
O. Yaralı

Kayaçların Basınç Direnci İle Elastisite Modülü Arasındaki İlişkinin Araştırılması 225
The Study of Relationship between the Modulus of Elasticity and Compressive Strength for Rocks
İ. Ocak

Tek Eksenli Yükleme Altında Kaya Maddesinin Gerilme-Birim Deformasyon-Elektriksel Direnç Davranışı 235
Stress-Strain-Electrical Resistance Characterization of Rock Material under Uniaxial Loading
İ. Özkan, N. Bilim

Bazı Granitlerin Fiziko-Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkilerinin Değerlendirmesi 245
Evaluating Relationships Between the Physico-Mechanical Properties of Some Granites
A.M. Kılıç, M.Ö. Keskin

Çeşitli - Miscellaneous

Salbaş (Adana) Kumtaşlarının Endüstriyel Alanda Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi 259
Evaluation of Salbaş (Adana) Sandstones for Industrial Usage
S. Özkan, E. Yaşar, Y. Erdoğan, N. Yapıcı

Açık Ocak Ekonomisini Etkileyen Faktörlerin Bilgisayar Desteğiyle İncelenmesi 269
Investigation of the Factors Affecting the Economy of Open Pit Mines with Computer Aided Methods
K. Erarslan, C. Uzuner, H. Akçakoca, İ. Topal

Enerji Piyasalarında Riske Maruz Değer (RMD): RMD'nin Enerji Fiyat Riskini Yönetmedeki Başarısı 281
Value at Risk (VaR) in Energy Markets: Effectiveness of VaR in Managing Energy Price Risk
T. Korkmaz, E. Erdoğan, A. Bostancı

Madencilik Endüstrisi ve Sürdürülebilirlik 295
Mining Industry and Sustainability
E. Kaymakçı, A.E. Yüce, T. Doğan

Farklı Kaya Koşullarında Tahkimat Performansının ve Kaya-Tahkimat Etkileşiminin Sayısal Analizi 303
Numerical Analysis of Support Performance and Rock-Support Interaction Considering Different Rock Conditions
H. Başarır

Bazı Açık İşletmelerdeki Değişik Kaya Birimlerinin Taşıma Kapasitelerinin Belirlenmesi 315
Determination of Bearing Capacities of Different Rock Units in Some Open-Pit Mines
Y. Gül, A. Ceylanoğlu

İzmir Metro İnşaatı 2. Aşama Kazısı Verimlilik Değerlendirmesi 327
Izmir Metro Construction 2nd Phase Excavation Productivity Analysis
M. Kun, C.O. Aksoy, T. Onargan

Yazar Dizini - Author Index

333

Çağrılı Bildiri
Invited Paper

Türkiye Madencilik Sektöründe Özelleştirme Uygulamalarının Sonuçları

The Results of Privatisation in the Mining Sector of Turkey

TMMOB Maden Mühendisleri Odası

ÖZET Madencilik sektöründe özelleştirmelerin, sektörün gelişmesini sağlayacağı varsayımı irdelenmeye ve araştırılmaya muhtaçtır. Son yirmi yılda edinilen deneyim, özelleştirme söylem ve uygulamalarının sektörün daha da gerilemesine neden olduğu şeklindedir. KİT'ler üzerine uygulanan politikalar sonucunda özellikle madencilik sektörün içerisinde yer alan KİT'ler, zarar eden bir konuma adeta devlet eliyle itilmiştir. Bu durum; gerekli teknolojik yatırımların yapılmaması, bankalara yüksek faiz oranlarında borçlandırılması, üretilen madenin üretim maliyetinin oldukça altında bir fiyatla satılması, örtülü sübvans yapması vb. gibi uygulamalar etkili olmuştur. Madencilik sektörünün ve madencilikle ilgili KİT'lerin bugün içinde bulunduğu kriz, gereksiz ve hatalı bir şekilde yaratılan özelleştirme beklentileri ve özelleştirme uygulamalarıdır.

ABSTRACT The assumption that privatisation in mining sector leads to improvement of the sector needs to be investigated. Experience obtained in the last two decades indicates that privatisation causes to more regression. As a result of policies applied to state owned economic enterprises (SEEs), the SEEs, particularly located in mining sector, are pushed into a position of the money loser by the state itself. This situation arises due to inappropriate practice such as technological investments not carried out, borrowing to banks in high interest rates, selling the mine output at a price less than the the cost of production and finally covered subvansion. The current crisis for mining sector and mining related SEEs is a result of privatisation practice and expectation created unnecessarily and erroneously.

1 TÜRKİYE MADENCİLİK SEKTÖRÜNE GENEL BİR BAKIŞ VE ÖZELLEŞTİRME POLİTİKALARI

Kendi kaynaklarını yok sayan, kaynaklarını kullanmayan bir ülkenin kalkınması mümkün değildir. Madenler kalkınmanın temel unsurlarından en önemlisidir. Ülkelerin kalkınmaları ve yaşam seviyelerinin belirleyicisi olarak kabul edilen sanayi, enerji ve tarım sektörlerinin temellerini de madencilik oluşturmaktadır. Ulusal Kurtuluş Savaşı sonrası ülke kalkınması için kurulan sanayi, madenler ve madencilik üzerine oturtulmuş ve bu nedenle Cumhuriyetin ilk yıllarında madencilğe ayrı bir önem verilmiştir.

Dünyada çıkan savaşların gerçek nedenlerine bakıldığında, ülkelerin daha çok kaynağa sahip olma arzularının yattığı görülmektedir. Günümüzde en büyük kavga enerji hammaddeleri için verilmektedir. Gelişmiş ülkeler, dünyada doğrudan sahip olamadıkları kaynakların üretim ve hareketlerini de istedikleri gibi yönlendirmektedirler.

Dünyadaki 152 ülkenin her birine düşen ortalama maden sayısı 9.3'tür. 51 maden türü dikkate alınarak yapılan sıralamaya göre, ABD'de 43 adet maden türü üretilmektedir ve birinci konumdadır. Ülkemize oranla yüzölçümleri daha büyük olan ülkelerde, örneğin Avustralya'da 35, Brezilya'da 35, Çin'de 31 adet maden türü üretilirken; söz konusu büyüklük ülkemiz için 29 maden türü olup, yerimiz ise 10. sıradadır. Dünya metal maden rezervlerinin % 0.4'ü, endüstriyel hammadde rezervlerinin % 2.5'i, jeotermal potansiyelinin ise % 0.8'i ülkemizde olup, ülkemizin dünya maden rezervleri içindeki payı yaklaşık % 0.5'dir. Ancak, doğal kaynaklarımızın adeta yok kabul edildiği, hiçbir arama faaliyetinde bulunulmadığı günümüzde bu sıralamadaki yerimizin de değiştiği bir gerçektir.¹

Bugüne gelinen noktada; Madencilik ülkemiz GSMH içindeki payı % 1 civarındadır. Son 20 yıllık dönemde başta kömür ve demir cevheri ithalatı sonucu, hammadde ve ara ürün olarak ihraç edilen cevherlerden elde edilen gelir bu iki madene ödenen dövizden daha geride kalmıştır. Günümüzde madenlerimize dayalı sanayileşmenin yeterli düzeyde gerçekleştirilmemiş olması nedeniyle maden üretimimiz, mamul maddeye dönüştürülmeden ayrılmaları olarak ara ürün yada hammadde boyutunda kalmaktadır. Gereken önlemlerin alınmaması halinde bu farkın ithalat lehine açılacağı kuşkusunu taşınmaktadır.

1980'li yıllardan itibaren, "ekonomi yönetiminde kamusal mekanizmaların yerine piyasa mekanizmalarının konulması gerektiği, verimlilik ve refahın bu yolla sağlanacağı" şeklindeki politikaların Türkiye'ye yansımaları gecikmemiş ve bu doğrultuda önce planlı dönem üzerine bir sünger çekilmiştir. 1980 yılından itibaren ekonomide dışa açık gelişme stratejisi yürürlüğe konmuştur. Bu çerçevede, dış ticaretin serbestleştirilmesinden özelleştirmeye, tarımsal destekleme politikalarından enerji politikalarına kadar çok geniş bir alan, uluslar arası kuruluşlar ile yapılan çeşitli kredi anlaşmalarında yer alan taahhütler doğrultusunda biçimlendirilmiştir.

Söz konusu gelişmelerin Türkiye madencilik sektörüne yansımaları, özellikle 1990'lardan itibaren hız kazanmıştır. Bu süreçte, madencilik sektöründe öne çıkan söylem "kamu madencilik kuruluşlarının özelleştirilmesi" olmuş, bu amaçla söz konusu kuruluşlarda gerekli olan yatırımlar yapılmamıştır. Türkiye madencilik sektöründe mülkiyet ve yönetim değişikliklerini gerçekleştirmeye yönelik olarak çeşitli kamu kurumlarında sektörel bölünme, ticarileştirme, şirketleştirme ve özelleştirmeye yönelik uygulamalar birbirini izlemiş, madencilik sektörünün kamu ağırlıklı yapısı özel sermayenin de yerini alabileceği bir rekabet ortamına dönüştürülmeye çalışılmıştır. Sektörde, liberalizasyonu sağlamaya yönelik olarak, şirketler üzerindeki sıkı yasal düzenlemelerin gevşetilmesi, devletin müdahale, düzenleme ve denetimlerinin mümkün olduğu ölçüde kaldırılmaya ya da yumuşatılmaya çalışılması, yasal mevzuatta sık sık yapılan değişiklikler ile sürdürülmüştür.²

KİT'lerin özelleştirilmesiyle işletmelerin verimliliğinin artacağı ve makro düzeyde rekabetin sağlanmasıyla ekonomik performansın yükseleceği savı ise teorik dayanaktan yoksun olduğu gibi, uygulamada da bilimsel olarak kanıtlanmamıştır. Verimlilik nasıl artacaktır? Siyasi iktidarlar tarafından yaratılan yapay istihdam fazlası iş gücü ortadan kaldırılacak, iş bilen yöneticiler yönetime gelecek, gerçekten çalışanlar, iş yapabilenler hak ettikleri ücreti alacaklar, çalışmayanlar işten atılacak ve daha iyi pazarlama sistemleri oluşturulacak, yönetim hataları ortadan kaldırılacak ve KİT'lere çok pahalıya mal olan bazı hizmetler taşeron firmalara devredilecektir. Kısacası reorganize edilecektir. Bunları özel sektörde yapabilir, siyasi iktidarın elini üzerinden çektiği özerk KİT'ler de yapabilir. Emegın üretkenliğini arttıracak, yeni teknolojiler geliştirecek, araştırma, geliştirmeye yönelik yatırımların kimler tarafından yapılacağı merak konusudur. Bu yatırımlar yapılmadan, küresel rekabetle karşı karşıya olan ülkemizde üretilen maden ürünlerinin iç pazara ve dünya pazarlarına girmesi zor görülmektedir. Özelleştirilen TDCİ, KBİ, ÇİNKUR ve KÜMAŞ ile

¹ TMMOB 20. Yılında Türkiye'de Özelleştirme Gerçeği Sempozyumu, Madencilik Raporu, TMMOB Yayınları, 2005, Sayfa 289

² Tamzok N, Liberal Reformlar ve Devlet Sempozyumu, KİGEM, Ankara, 2003, Sayfa 7

özelleştirilmesi düşünülen TTK ve ETİBANK'ın (birçok işletmeleri) tıkanıklık noktasına gelmesinin hesabı mutlaka verilmelidir.³

Durum böyle iken; rasyonel çalıştırılmayan KİT'leri bugünkü durumları ile savunmak mümkün değildir. KİT'lerin yeniden yapılandırılması, işlevsel bir makro plan çerçevesinde ve sanayileşme stratejilerine bağlı olarak gerçekleştirilmelidir. Bazı siyasal çevrelerin ve özel sektörün önde gelen temsilcilerinin ağızlarından düşürmediği gelişmiş Avrupa ülkeleri ve G. Kore'de bile çözümün yalnızca özelleştirme ve tasfiye yöntemleriyle bile aranmadığı ve ciddi bir KİT reformu yapıldığı gözlenmektedir. KİT'ler katılımcı, özerk, stratejik ulusal planlama ile uyumlu, verimli, kârlı ve etkin bir hale getirilebilir. Ancak bu tip kuruluşlar ileri teknolojiler üretilen dünya ile rekabet edebilirler.

2 TÜRKİYE MADENCİLİK SEKTÖRÜNDEKİ KİT'LER VE YAŞANAN ÖZELLEŞTİRME UYGULAMALARI

Son 25 yıldır Türkiye'nin önündeki en önemli engellerin kamu kuruluşları olduğu, çözümün ancak bu kuruluşların özelleştirilmesi ya da kapatılması ile olabileceği söyleneğelmektedir. Ancak söz konusu uygulamalar sonucunda ülkemiz krizlerden kurtulamamakta, her geçen gün ekonomik olarak daha da gerilere düşmektedir. Herkes tarafından bilindiği gibi, özelleştirme uygulamaları akılcı planlamalardan yoksun, bütçe açıklarını kapamaya yönelik yapılmaktadır. Dolayısıyla, bugüne kadar madencilik sektörünün gelişimine yönelik olumlu bir katkısına rastlanılmamıştır. Tersine, madencilik sektörünün bugün içinde bulunduğu kriz, gereksiz ve hatalı bir şekilde yaratılan özelleştirme beklentileri ve özelleştirme uygulamalarıdır.

Çalışmanın bu bölümünde özelleştirilen, özelleştirme kapsamında bulunan ve özelleştirilmek amacıyla yola çıkılmasına rağmen yatırımsızlık ve politikasızlıktan kapanma noktasına getirilen madencilik sektöründeki KİT'ler tek tek ele alınmaktadır. Türkiye'de özelleştirme uygulamalarının ilk anılmaya başlandığı 80'li yılların başından günümüze kadar geçen süre içinde, bu kuruluşların geldiği nokta ve içinde buldukları durum üretim, istihdam, yatırım ve kar/zarar açısından değerlendirmeye alınarak yapılan yanlış özelleştirmeler ve hatalı uygulamalar sergilenmektedir.

2.1 Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK)

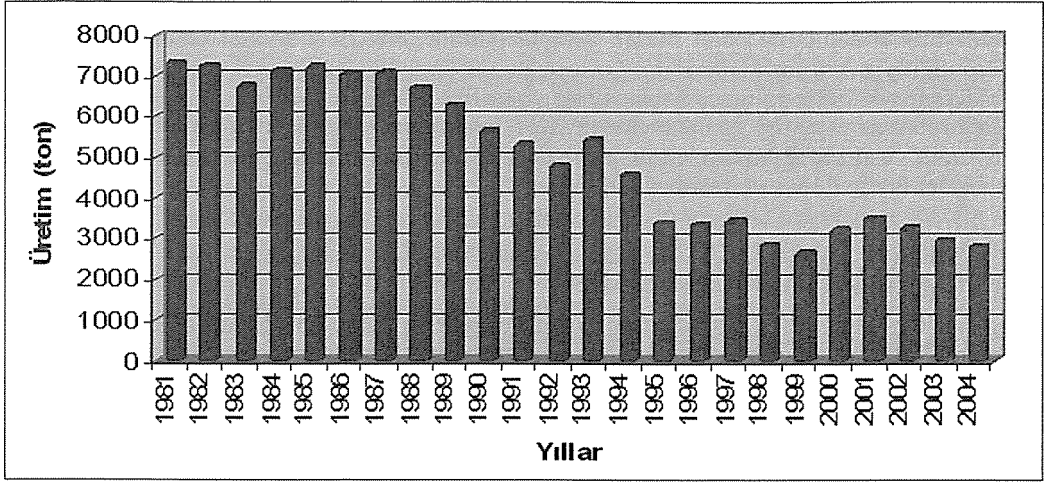
Ülkemizde koklaşabilir taşkömürü üretilen tek bölge Zonguldak taşkömürü havzasıdır. 1848 yılında havzada üretime başlanılmış ve halen devam etmektedir. 1970 yılına kadar alınan dış krediler ile satılabilir kömür miktarı 5 milyon ton/yıla kadar çıkmış, neoliberal politikaların uygulanmaya başlandığı 1980 sonrası yatırımlarının süresizliği sonucu üretim yıllara bağlı olarak azalarak 2005 yılında satılabilir taşkömürü 2,6 milyon ton/yıl seviyesine düşmüştür.

Üretimdeki düşüşe paralel olarak istihdamda da daralmalar yaşanmıştır. 1980 li yıllarda 40.000 olan çalışan sayısı, 2006 yılında 10.000'e düşmüştür. Cumhuriyetin ilk kenti olan ve sürekli göç alan kent, yatırımların durması ve özelleştirme uygulamalarıyla göç veren ve küçülen bir kent haline dönüşmüştür.

Bir yandan yeni yatırım imkanları önemli ölçüde sınırlandırılırken, diğer yandan enerji piyasalarındaki serbestleşme eğilimleri ile ülkeye hesapsız doğal gaz, ithal kömür ya da petrokok girişine izin verilmesi, ülkemizin tek taşkömürü üreticisi olan TTK'yı tamamen savunmasız bırakmıştır. Demir-Çelik işletmelerimizin, yanı başlarındaki TTK'nın ürettiği kömür yerine sıfır gümrükle kömür ithal etmeleri TTK açısından bir olumsuzluk unsuru olmuştur. Söz konusu olumsuz koşullar sonucunda, 1981 yılından bu yana üretimi % 75 oranında gerileyen TTK, yatırım, istihdam, üretim ve mali yönden büyük bir darboğazla

³ TMMOB 20. Yılında Türkiye'de Özelleştirme Gerçeği Sempozyumu, Madencilik Raporu, TMMOB Yayınları, 2005, Sayfa 291

karşılaşmıştır. Son olarak, Maden Kanunu'nda yapılan değişiklikle Havza sınırları daraltılmış ve bir kısım kömür ocağının işletme hakkı özel sektöre devredilmiştir.⁴



Şekil 1. TTK'da yıllar itibarı ile üretim rakamları.

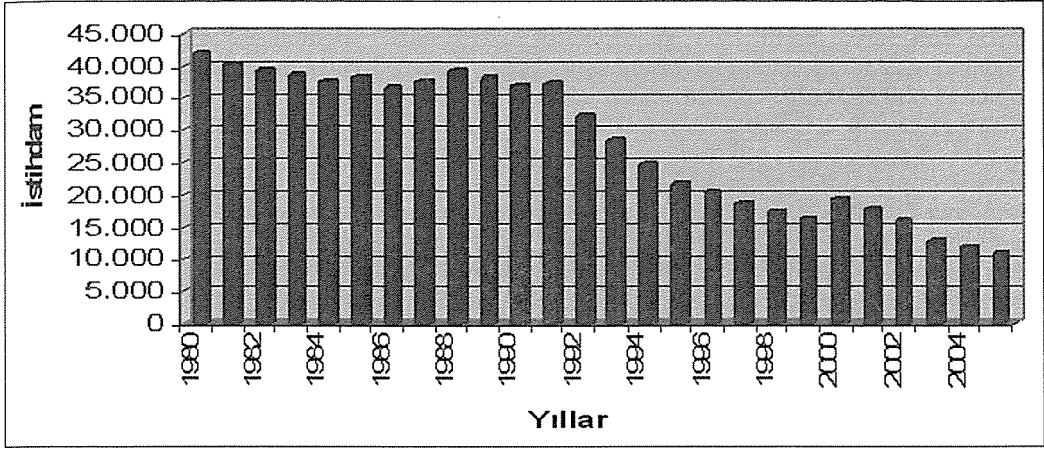
Türkiye'nin gelişmesinin önündeki engelin kamu kuruluşları olduğu, devletin küçültülmesi ve kamunun faaliyet alanının daraltılması ile ülke sorunlarının çözülebileceği söyleminin madencilik sektörüne yansması, "kamu madencilik kuruluşlarının kapatılması, özelleştirilmesi, rodövans (kiralama) ile özel sektöre devredilmesi ya da en azından kamu kuruluşlarının yapmakla sorumlu oldukları işlerin özel şirketlere gördürülmesi" şeklinde olmuştur. Ancak bu güne kadar, madencilik sektöründe özelleştirme ve özelleştirmeye yönelik olarak yapılan rodövans ve benzeri çalışmaların hiçbirisinden olumlu bir sonuç alınamamış, madencilik sektörü giderek küçülmüş, buna karşın sektördeki iş kazaları artmıştır.

2004 yılında yürürlüğe giren 5177 sayılı kanunla getirilen düzenlemelerle özel sektörün Zonguldak Havzasında rodövans yoluyla üretim yapmasının önü açılmış ve bu şekilde taşkömürü potansiyelinin değerlendirilmesi ve bölge ekonomisinin canlandırılması amaçlanmıştır. Bu çerçevede TTK uhdesinde bulunan 24 saha değişik tarihlerde ihale edilmiştir. Teslimi yapılan bu sahalar arasında taşkömürü dışında sahalar da mevcuttur. Rodövans yöntemi, Maden Kanunu'nun birçok hükmüne aykırıdır. Bu uygulama ile kamu kuruluşları kuruluş amaçları gereği kendi yapmaları gereken hizmetleri deneyim ve uzmanlık bakımından yetersiz firmalara yaptırmakta, böylelikle hem çok sayıda ölümlü iş kazasına, hem de maden kaynaklarımızın uygun olmayan üretim yöntemleriyle heba edilmesine yol açılmaktadır.

Plansız ve programsız gelişen bu üretim biçimleri nedeniyle, TTK, ana amacı olan Demir Çelik sektörüne koklaşabilir taşkömürü üretimi hedefinden uzaklaşmaktadır. Taşkömürü önem sırasına göre; demir-çelik fabrikalarında tüketilmek üzere kok üretiminde, ısınma ve sanayi sektöründe ve elektrik üretilmek üzere termik santrallerde kullanılmaktadır. TTK'nun en önemli pazarı olan ÇATES-B'nin gücü 300MW olup kömür tüketim kapasitesi 5.500 ton/gündür. Elektrik santrali tam kapasite ile çalıştığında ortalama 1,6 milyon ton/yıl kömür tüketebilmektedir. Halen 5 milyon ton koklaşabilir kömür ihtiyacının yaklaşık % 10'u TTK tarafından karşılanmaktadır. TTK'nun ürettiği taşkömürünün payı, ülke tüketiminde 1987 yılında % 50'nin altına ve 2005 yılında % 15'e düşmüştür. 1973 yılında 16.000 ton olarak

⁴ www.oib.gov.tr

başlayan taşkömürü ithalatı giderek artan bir eğilim izleyerek 2006 yılında 15 milyon ton düzeylerine ulaşmıştır.



Şekil 2. TTK'da yıllara göre istihdam rakamları.

Ülkemizde TTK tarafından derin damarlarda yürütülen taşkömürü madenciliği maliyetli ve zor bir çalışma ortamı gerektiren bir yapıdadır. Derin damar madenciliğinde yatırım, damar şartlarına bağlı olarak değişmekteyse de gelişmiş ülkelerde yatırım, ülkemizdeki gibi düşük değildir. Bu nedenlerle 2000'li yılların başında TTK tarafından yeniden yapılanma adı altında bir yatırım programı geliştirilmiştir. Bu programın büyük bir bölümü yıllardır Kurum tarafından yatırımsızlık nedeniyle atıl bırakılan kömür sahalarının özel sektöre devredilmesi ile birlikte ana kat hazırlıkları ve kömür yıkama işlemleri de ihale yoluyla özel sektöre verilmiştir. 2010 yılının sonunda 4,5 milyon ton/yıl satılabilir taşkömürü üretmeye yönelik olarak bazı modellemelere gidilmiştir.

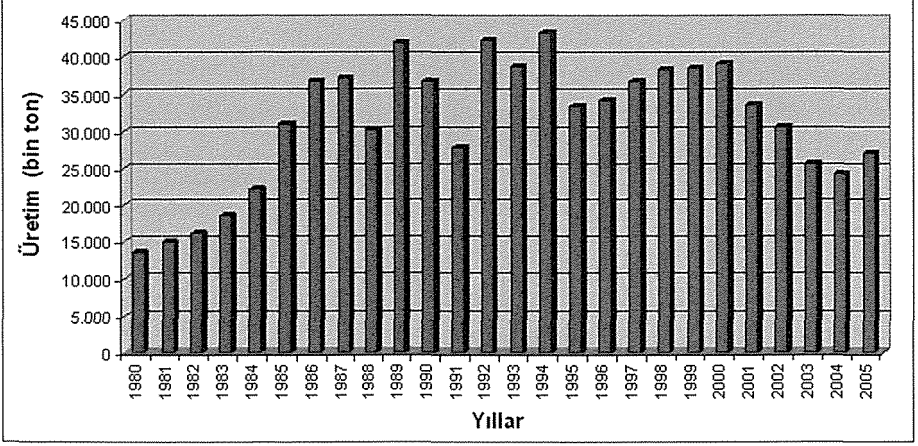
2.2 Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ)

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu 1957 yılında, 6974 sayılı yasa ile kurulmuş olup çalışmalarını 8 Haziran 1984 tarih ve 233 sayılı KHK esaslarına göre düzenlenen ana statü hükümleri çerçevesinde yurt sathına yayılmış ülkenin değişik yerlerinde kömür üretimi ve pazarlamasını yapan 4 adet Müessese Müdürlüğü ve bu Müesseselere bağlı olarak çalışan 4 adet İşletme Müdürlüğü bulunmaktadır.

TKİ, 1978-2003 döneminde toplam 6.233 MW güce ulaşan ve 54 milyon ton kömür tüketen ve bu kömür karşılığı olarak (2000 yılı rakamlarıyla) 34 milyar kWh elektrik üreten termik santrallerin ve piyasanın kömür talebini karşılayacak şekilde faaliyetlerini sürdürmüştür.

1974 yılında başlayan petrol krizi ülkemizi de olumsuz şekilde etkilemiştir. Bu yıllarda linyit sahaları ruhsatlarının birleştirilmesi sonucu havza madenciliğine geçilmiştir. Bu sahaların yakınlıklarına kurulan termik santrallerin ihtiyacı olan linyit kömürünü üretmek amacıyla kurum ciddi yatırımlar yapmıştır. Bu çalışmalar sonucunda hem üretimlerde büyük artışlar olmuş hem de istihdam önemli ölçüde artmıştır. Bu yıllarda TKİ, ülkenin tüm bölgelerinde aramalar ve yatırımlar yapmış, üretimini artırarak ülkeye ciddi oranda katma değer katması sağlamıştır.

1990'lı yıllardan itibaren KİT'lerin, hazine üzerindeki yükünü azaltmak, etkin kaynak kullanımını sağlamak, serbestçe oluşan fiyatlarla rekabet edebilmek, daha etkin hizmet edebilmek gerekçeleriyle kamunun üretimden çekilmesi TKİ'yi de olumsuz şekilde etkilemiştir. 1994 yılında 42 milyon ton kömür üreten kurum 2003 yılında başında ancak 20 milyon ton linyit üretir hale getirilmiştir. Söz konusu yıllarda üretime paralel olarak istihdamda da ciddi küçülmeler yaşanmıştır. 1989 yılında 33.000 çalışmanı olan kurumda, 2006 yılında 11.000 kişi çalışmaktadır.



Şekil 3. TKİ'de yıllara göre üretim rakamları.

2000 yılında termik santraller için 33,5 milyon ton kömür üreten Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu'nun santral üretimi, dört yıl içerisinde %50'ye yakın oranda düşürülmüş, 2002 yılında 25,3 milyon ton ve 2003 yılında ise 19 milyon ton düzeyinde üretim yapılabilmektedir. 2004 yılında yapılan 19 milyon ton santral üretimi TKİ kurulu üretim kapasitesinin yaklaşık % 45'idir.

Uluslararası tahkim anlaşmaları gereğince, doğalgaza dayalı santrallerin yakıtının devlet tarafından verilmediği durumda, yakıt verilmiş ve elektrik üretilmiş gibi bedelinin yine devlet tarafından ödenmesi ya da yakıtı verilen santralin ürettiğinin devlet tarafından satın alınma zorunluluğu, ülkemizin sanayileşmesi önünde açık bir engel oluşturmaktadır. Bu durum, doğal gazın elektrik enerjisi üretimindeki payının %60'lara yükselmesi, dolayısıyla Türkiye'nin enerji arz güvenliğinden tamamen vazgeçmesi anlamına gelmektedir.

Böylece 10 milyar ton kömürü bulunan Türkiye'de yerli kömürlerin elektrik enerjisi üretimindeki payı 1998 yılındaki % 40'lardan 2003 yılında % 15'lere düşmüş, tamamen yurtdışına bağımlı olduğumuz doğal gazın 1985 yılında %1 bile olmayan payı ise % 60'lara yükselmiş olacaktır. Bu durum, enerjide dışa bağımlılığı daha da arttıracak, dünyada ortaya çıkabilecek muhtemel bir enerji krizi durumunda Türkiye'nin çok büyük yaralar almasına neden olacaktır.

TKİ, 1985 yılında ağırlığı santrallara yönelik yatırımlar nedeniyle ton başına 11\$ yatırım yapmış olup, 2000'li yıllarda bu yatırım 0,2 \$/ton'a düşmüştür. Bu yatırım düşüklüğünün en önemli nedeni yeni kömür projelerinin (santral ve piyasa amaçlı) devreye alınamaması, sadece idame ve yenileme yapılmasından kaynaklanmaktadır. Ancak 2002 yılından başlayarak TKİ Kurumunda yatırımla tekrar hız kazanmış ve özellikle modernizasyona yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu yatırım miktarları 2005 yılı başında 20 milyon USD civarında olmuştur.

2000 yılında termik santraller için 33,5 milyon ton kömür üreten Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu'nun santral üretimi, dört yıl içerisinde %50'ye yakın oranda düşürülmüş,

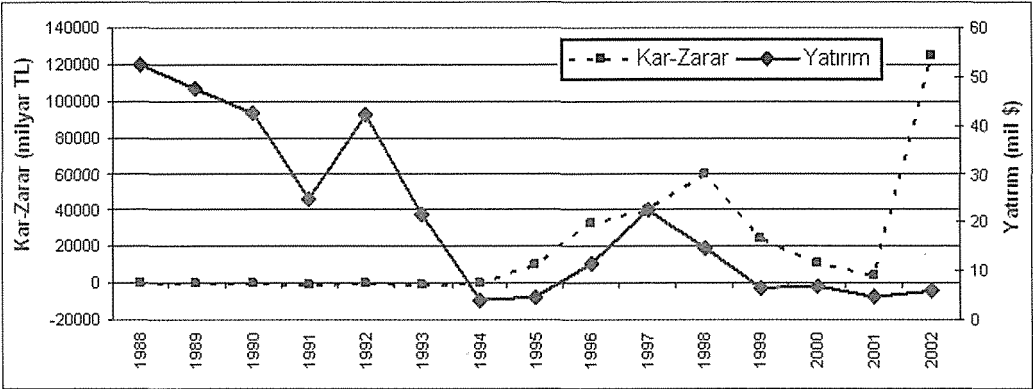
2002 yılında 25,3 milyon ton ve 2003 yılında ise 19 milyon ton düzeyinde üretim yapılabilmektedir. 2004 yılında yapılan 19 milyon ton santral üretimi TKİ kurulu üretim kapasitesinin yaklaşık % 45'idir.⁵

Kamu sektörü ruhsatlarındaki toplam 6,3 milyar ton rezervin yaklaşık 2 milyar ton'luk bölümünde üretim faaliyetleri sürdürülmektedir ki bu rezerv miktarı, ekonomik olarak değerlendirme imkanı bulunan ve toplam rezerv içindeki % 65'lik rezerv diliminin % 36'sını kapsamaktadır. Dolayısıyla, ekonomik bir şekilde işletmeciliği yapılabilecek ve termik santrallerde elektrik üretimine yönelik değerlendirilebilecek yaklaşık 3,5 milyar ton rezerv mevcuttur.

Uluslararası tahkim anlaşmaları gereğince, doğalgaza dayalı santrallerin yakıtının devlet tarafından verilmediği durumda, yakıt verilmiş ve elektrik üretilmiş gibi bedelinin yine devlet tarafından ödenmesi ya da yakıtı verilen santralin ürettiğinin devlet tarafından satın alınma zorunluluğu, ülkemizin sanayileşmesi önünde açık bir engel oluşturmaktadır. Bu durum, doğal gazın elektrik enerjisi üretimindeki payının % 60'lara yükselmesi, dolayısıyla Türkiye'nin enerji arz güvenliğinden tamamen vazgeçmesi anlamına gelmektedir.⁶

Böylece kömür ülkesi Türkiye'de yerli kömürlerin elektrik enerjisi üretimindeki payı 1998 yılındaki % 40'lardan 2003 yılında %15'lere düşmüş, tamamen yurtdışına bağımlı olduğumuz doğal gazın 1985 yılında % 1 bile olmayan payı ise % 60'lara yükselmiş olacaktır. Bu durum, enerjide dışa bağımlılığı daha da arttıracak, dünyada ortaya çıkabilecek muhtemel bir enerji krizi durumunda Türkiye'nin çok büyük yaralar almasına neden olacaktır.

TKİ, 1985 yılında ağırlığı santrallara yönelik yatırımlar nedeniyle ton başına 11\$ yatırım yapmış olup, 2000'li yıllarda bu yatırım 0,2 \$/tona düşmüştür. Bu yatırım düşüklüğünün en önemli nedeni yeni kömür projelerinin (santral ve piyasa amaçlı) devreye alınamaması, sadece idame ve yenileme yapılmasından kaynaklanmaktadır. Ancak 2002 yılından başlayarak TKİ Kurumunda yatırımla tekrar hız kazanmış ve özellikle modernizasyona yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu yatırım miktarları 2005 yılı başında 20 milyon USD civarında olmuştur.



Şekil 4. TKİ'de yıllar itibarı ile yatırım ve kar/zarar rakamları.

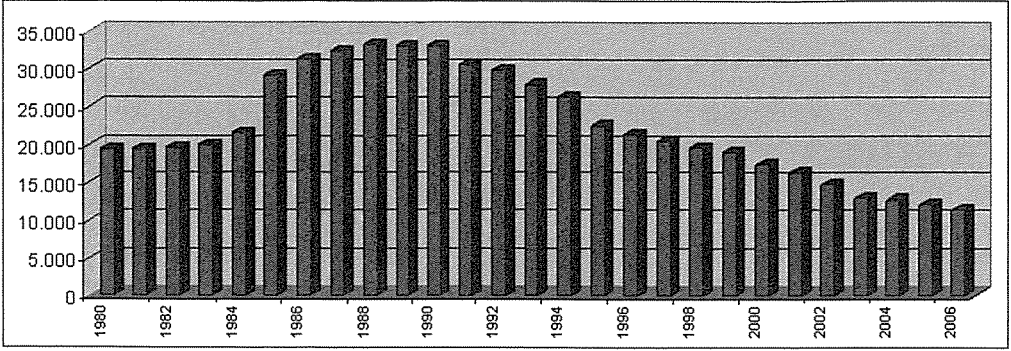
1984 yılında çıkarılan 3096 sayılı Yap İşlet Devret Kanunu çerçevesinde oluşturulan 87/11488 sayılı yönetmenliğe göre Termik Santrallerle birlikte maden sahalarının İşletme Hakkı Devri için 1996 yılında ihale ilanlarına çıkmış olup, 1997 yılında teklifler alınmıştır. Bu kapsam içerisinde TKİ Kurumuna bağlı Sivas Kangal, Seyitömer, Yatağan, Yeniköy, Bursa

⁵ Tamzok N, Türkiye Madencilik Sektöründe Yapısal Dönüşüm ve Sonuçları, TMMOB Mad. Müh. Odası, Türkiye 19. Uluslar arası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET 2005, İzmir, Sayfa 7

⁶ Tamzok N, Türkiye Madencilik Sektöründe Yapısal Dönüşüm ve Sonuçları, TMMOB Mad. Müh. Odası, Türkiye 19. Uluslar arası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET 2005, İzmir, Sayfa 8

Orhaneli ve Orta Anadolu Linyitleri İşletmelerinin İşletme Hakkı Devir işlemleri başlatılmıştır.

TKİ, yaklaşık 7.000 personelinin mağduriyetini göz ardı ederek, 4,5 milyar ton rezervle tüm makine+teçhizatının bedelsiz olarak devrini gerçekleştirmiştir. Yine bu yasa çerçevesinde 3.1 milyar ton linyit rezervli Afşin Elbistan Linyitleri İşletmesi 1995 yılında TKİ bünyesinden alınarak TEAŞ Genel Müdürlüğü bünyesine aktarılmıştır.



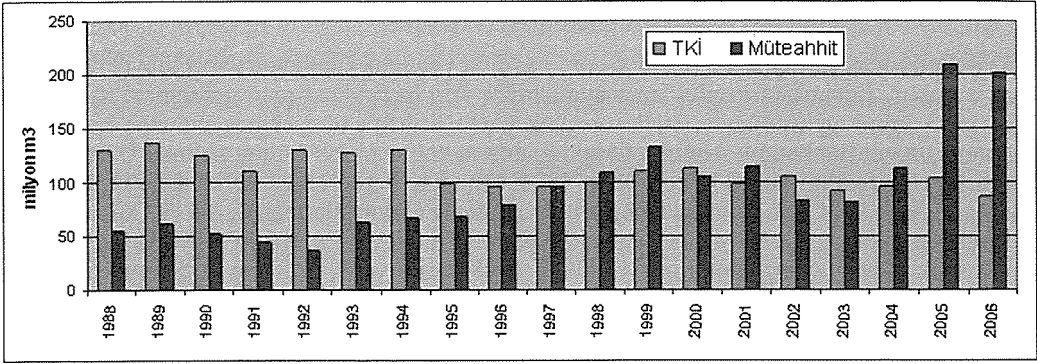
Şekil 5. TKİ’de yıllar itibarı ile istihdam rakamları.

Bilindiği üzere 10 termik santral Yatağan, Kemerköy, Yeniköy, Orhaneli ve Çayırhan termik santrali, termik santralini besleyen TKİ Linyit İşletmeleri bedava ve termik santrallarda bir buçuk yıllık kârları karşılığı olmak üzere işletme hakkı devri için Kasım 1996 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından ihaleye çıkarılmıştır.

1984 yılında başlatılan ve halen devam eden İşletme Hakkı Devri sürecinde 01.07.2000 tarihinde Orta Anadolu Linyitleri İşletmesinin devir işlemleri bedelsiz olarak tamamlanmıştır. Devir sonrası İşletmede çalışan ve devirden etkilenen personelin mağduriyeti giderilmemiştir. 2000’li yıllarla birlikte başlatılan “Yeniden Yapılanma” programı dahilinde Kurum uzun vadede üretime almayacağı çeşitli sahaları belirlemiştir. Atıl sahalar olarak nitelenen bu madenler özel sektöre devredilmiş veya rodövans karşılığı özel kuruluşlara işlettirilmiştir. Kurumda uzun yıllardır zarar ettiği belirlenen Erzurum-Aşkale ve Oltu, Çorum-Dodurga, Bolu-Göynük, Şırnak-Silopi, Tekirdağ-Saray, Tunçbilek-Yeraltı, Soma-Darkale ve Soma-Karanlıkdere birimleri kapatılmıştır. Eskiye makinelerden birçoğu yenilenmeyerek, bu hizmetlerde müteahhit firmalardan alınmıştır.

TKİ’nin 114 ekskavator, 177 buldozer, 55 greyder, 78 yükleyici, 525 ağır kamyon ve 108 damperli kamyon dahil olmak üzere, ciddi bir makina parkı bulunmaktadır. Bu ekipmanların üretime dahil edilmesi yerine hizmet alımı yolu tercih edilmektedir. Bunun sonucu olarak, TKİ ihtiyacı olan dekapajın çok büyük bir bölümünü özel sektöre yaptırmaktadır. Yine rodövans karşılığı verdiği sahalarından üretilen kömürü almakta ve pazarlamaktadır. TKİ üretiminin % 10 kadar kömürü özel sektörden almaktadır.

2000’li yıllarla birlikte başlatılan “Yeniden Yapılanma” programı dahilinde Kurum uzun vadede üretime almayacağı çeşitli sahaları belirlemiştir. Atıl sahalar olarak nitelenen bu madenler özel sektöre devredilmiş veya rodövans karşılığı özel kuruluşlara işlettirilmiştir. Kurumda uzun yıllardır zarar ettiği belirlenen Erzurum-Aşkale ve Oltu, Çorum-Dodurga, Bolu-Göynük, Şırnak-Silopi, Tekirdağ-Saray, Tunçbilek-Yeraltı, Soma-Darkale ve Soma-Karanlıkdere birimleri kapatılmıştır. Eskiye makinelerden birçoğu yenilenmeyerek, bu hizmetlerde müteahhit firmalardan alınmıştır. Yeniden yapılanma kapsamında dört yeni Müessese Müdürlüğü (ELİ, GLİ, SLİ, GELİ) kurulmuş, 1988 yılında 33.202 olan personel sayısı, 2006 Ekim sonu itibarıyla 11.376’ya kadar düşürülmüştür.



Şekil 6. TKİ’de yıllar itibarı kurum ve taşeron firmaların yaptığı dekapaj miktarları.

Bu yıl 50. kuruluş yılını kutlayan bu önemli madencilik kuruluşumuz bünyesinde gerçekleştirdiği bu yeniden yapılanma programı sayesinde; zarar eden işletmelerden çekilmesi ile özel sektörün dinamizminden yararlandığı, bu sayede elinde bulundurduğu işletmelerin de verimli bir hale geldiği, maliyetlerin düşürüldüğü ve enerji ve teshin fiyatlarının indigi iddiasındadır.

Hatalı politikalar ile Türkiye’de bir KİT’in daha, nasıl içinden çıkılmaz darboğazlara sürüklendiğinin çarpıcı bir göstergesidir. Topu topu 4 yılda kurulu üretim kapasitesinin yarısının altında çalışmaya mahkum edilen söz konusu kurumun, çok yakın bir gelecekte, – muhtemelen zararın asıl nedeni olan planlama hataları ve hesapsız doğal gaz anlaşmaları göz ardı edilerek- verimsiz olduğu gerekçesiyle özelleştirilmesi ya da kapatılması gündeme getirilecektir. Ancak, dünyanın hiçbir yerinde hiçbir kurumun, kapasitesinin yarısında çalışarak karlı ya da verimli olması mümkün değildir.

Sonuç olarak; Ülkemizde elektrik üretiminde kullanılabilecek 9,5 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır. Bir ülkede geniş kömür rezervlerinin bulunması, o ülke için enerji arz güvenliğinin sağlanması bakımından çok büyük bir avantaj anlamına gelmektedir. Temiz kömür teknolojilerinin bugün ulaştığı nokta göz önüne alındığında, söz konusu kaynaklardan çevresel etkilerin de en aza indirilerek elektrik enerjisinin üretilmesi en akılcı uygulama olacaktır.

Temiz kömür teknolojilerinin kullanımı teşvik edilmelidir. Isıl değeri düşük, kül, nem ve kükürt değerleri yüksek olan kömürlerimizin iyileştirilmesi, dolayısıyla çevreye daha az zarar vermesinin sağlanması ve ithal kömürlerle rekabet koşullarının oluşturulması amaçlarıyla temiz kömür teknolojilerinin kullanımı yaygınlaştırılmalıdır.

Büyük ölçekli kömür üretimi, bir çok ülkenin ekonomik ve toplumsal kalkınmasında önemli bir rol oynamaktadır. Kömür madenciliği, işsizlik ve yoksulluğun yüksek olduğu kırsal bölgelerde, gerek doğrudan gerekse söz konusu faaliyetin yarattığı yan ekonomik faaliyetler sonucu binlerce kişiye istihdam olanağı sağlamaktadır. İstihdam ile yaratılan gelir, kırsalda üretilen mal ve hizmetlerin tüketilmesi bakımından da yaşamsaldır. Ayrıca, kırsal bölgelerde ulaşım, su, eğitim ve iletişim gibi ekonomik ve sosyal altyapının sağlanmasına yönelik önemli katkısı da bulunmaktadır.

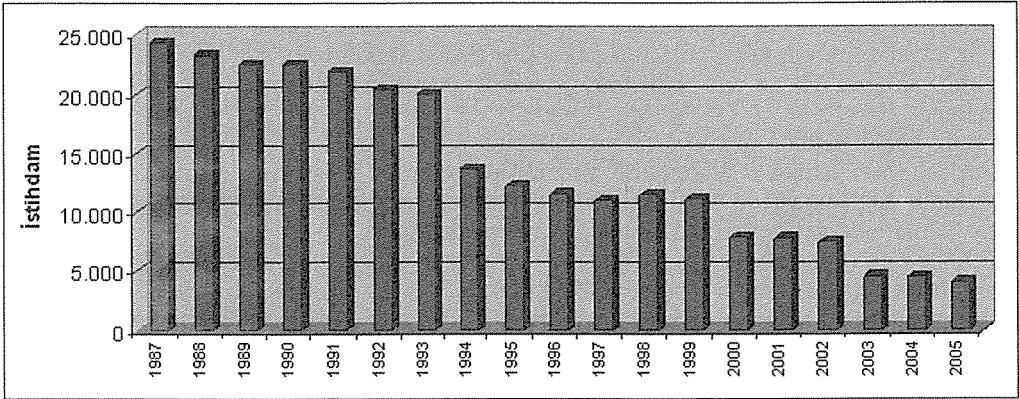
TKİ, ülkemizin enerji planlaması çerçevesinde yatırımlarına hız vererek istihdam ve üretimini artıracak politikalar üretmelidir. Bu amaçla kurumun ihtiyacı olan her türlü destek yetkililerce sağlanmalıdır.

⁷ Tamzok N, Türkiye Madencilik Sektöründe Yapısal Dönüşüm ve Sonuçları, TMMOB Mad. Müh. Odası, Türkiye 19. Uluslar arası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET 2005, İzmir, Sayfa 11

2.3 Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü (ETİBANK)

1935 yılında kurulan Etibank, 1998 yılının başında yeniden yapılandırılarak Eti Holding AŞ adını almıştır. Etibank'ta özelleştirme uygulaması için hazırlanan plan gereğince, Kurumdan önce 1993 yılına gelindiğinde özelleştirilmek üzere Etibank bünyesinde bulunan bankacılık bölümü Etibank Bankacılık Anonim Ortaklığı adıyla bağımsız bir bölüm halinde Özelleştirme İdaresi'ne devredilmiştir. Böylece önce 1935 yılından beri yürütülen bankacılık ayrılarak finansal destek kolu yok edilmiştir. Aynı yıl Karadeniz Bakır İşletmeleri AŞ ve Çinkur AŞ de özelleştirilmek üzere Özelleştirme İdaresi Başkanlığı'na devredilmiştir. Geriye kalan, Etibank Madencilik Genel Müdürlüğü ise 4 Şubat 1998 tarih ve 23248 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan 26 Ocak 1998 tarihli Bakanlar Kurulu'nun 98/10552 sayılı kararı ile, "madencilik önündeki engellerin aşularak, sektöre dinamik, üretken ve rekabetçi bir yapı kazandırılacağı" şeklinde bir gerekçeyle, günün yöneticilerine ortaklık statüsü de verilerek Eti Holding AŞ unvanı ile yeniden yapılandırılmıştır. Etibank Genel Müdürlüğü, Holding çatısı altında Eti Bor AŞ, Eti Dış Ticaret ve Pazarlama AŞ, Eti Alüminyum AŞ, Eti Gümüş AŞ, Eti Krom AŞ, Eti Bakır AŞ ve Eti Elektrometalurji AŞ adlarıyla 7 ayrı şirkete bölünmüştür. Böylelikle hem kurumun özelleştirilmesi için gereken altyapı hazırlanmış, hem de yaratılmış olan ek 150 adet üst düzey kadrolara kendi yandaşları atanarak paye dağıtılmış ve hazırlanan kurumu yıpratma ve özelleştirme sürecinin daha da hızlanması için gerekli ortam yaratılmıştır.

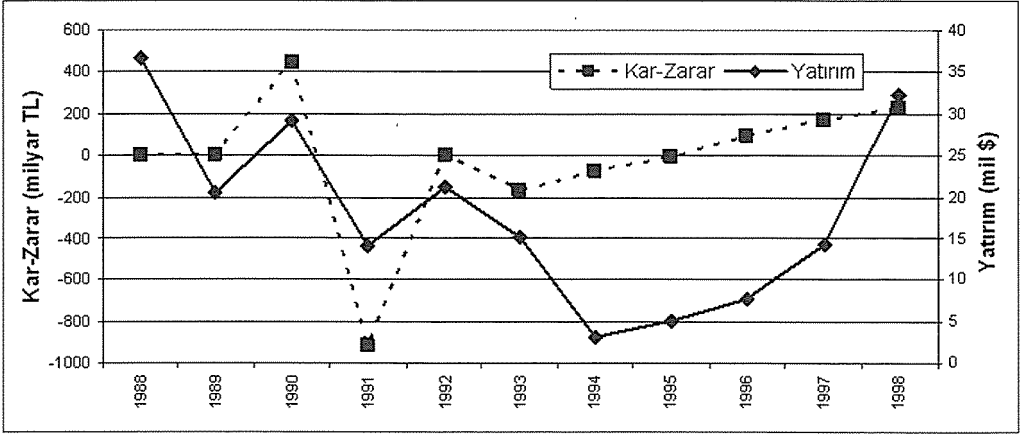
Gelen tepkiler üzerine, Bakanlar Kurulu Kararıyla Etibank Genel Müdürlüğü'nün "Eti Holding AŞ" olarak bu şekilde yeniden yapılanmasının 233 sayılı Kamu İktisadi Teşebbüsleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararnamenin 3. maddesine aykırılık oluşturmadığı hususu ile, bor cevheri aramak, işletmek, zenginleştirmek ve bor bileşikleri üretmek üzere adı geçen teşebbüse bağlı olarak kurulan Eti Bor AŞ'nin sermayesinde bulunan özel şahıs hisseleri nedeni ile bor tuzu sahalarının bu şirketçe işletilmesinin 2840 sayılı Kanuna uygun olup olmadığı hususlarında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın talebi üzerine Başbakanlıkça Danıştay'dan istişari görüş isteminde bulunulmuştur.



Şekil 7. Etibank'ta yıllara göre istihdam sayıları.

İstişari görüş istemiyle ilgili olarak, Danıştay Birinci Dairesi'nin 1999/66 Esas, 1999/93 no'lu kararında konu detaylı olarak irdelenerek "(...)2840 Sayılı Kanunu'nun 2. maddesinde Bor Tuzları, Uranyum ve Toryum madenlerinin Devletçe işletileceği hükmü yer aldığına göre bu madenlerin sermayesinde özel kişilerinde pay sahibi olduğu bir Anonim Şirket eliyle işletilmesinden söz edilemez(...) Etibank Genel Müdürlüğü'nün Eti Holding A.Ş biçiminde yapılanmasının. 233 sayılı KHK' nin 3. maddesine uygun bulunmadığına; Eti Bor AŞ'nin

sermayesindeki özel kişi hisseleri nedeniyle bor tuzu sahalarını işletmesinin 2840 sayılı yasaya aykırılık teşkil edeceği(ne) oy birliğiyle karar verildi” şeklindeki görüşüne rağmen, yasaya aykırı olan bu kararı düzeltme yoluna gidilmemiştir.



Şekil 8. Etibank'ta yıllar itibarı ile yatırım miktarları ile dönem kar/zararları.

Yasaya aykırı bu yapılanmaya rağmen hazırlanan planın uygulanmasına devam edilmiş, önce Eti Bakır AŞ, kısa bir süre sonra da kurum da kalan altı ortaklıktan Eti Gümüş AŞ, Eti Alüminyum AŞ, Eti Krom AŞ, ve Eti Elektrometalurji AŞ Özelleştirme İdaresi'ne devredilmiştir. Nihayet, kamuoyu ve meslek kuruluşlarının tüm tepkilerine rağmen çıkartılan 20 Aralık 2000 tarih ve 2000/92 sayılı Özelleştirme Yüksek Kurulu (ÖYK) Kararı'nda, bazı diğer işletmecilerle birlikte Eti Holding AŞ'nin özelleştirme kapsamına alınması ve hazırlık işlemlerinin 6 ay içinde tamamlanması kararı alınmış, ancak 6 aylık hazırlık süresince kamuoyundan gelen şiddetli tepkiler üzerine bu karar geri alınmış, kurum özelleştirme kapsamından çıkarılmıştır.

Etibank'ta yaşanan bu süreç içinde Ergani/Elazığ Bakır, Guleman/Elazığ Krom, Çinkur, Halıköy/İzmir Civa ve Mazıdağı/Mardin Fosfat işletmeleri kapatılmıştır. Gelinek noktada yetki ve karar mekanizmaları birbirine girmiş, her şirket kendi başına davranır hale gelmiştir. Kurumda ciddi bir koordinasyon bozukluğunun yanında tam bir keşmekeşlik hüküm sürmektedir. Danıştay 1. Dairesince yapılanma ile ilgili verilen karar çerçevesinde "Etibank Madencilik bölümünün bir holding olamayacağı, şahıs hisselerinden dolayı Bor AŞ'nin yasalara aykırı (2172 ve 2840 vb. sayılı yasalar) bir durum oluşturduğu" belirlenmiştir.⁸

2.3.1 Etibank Bankacılık AŞ

Etibank'ın bankacılık bölümü, kuruluşunda madencilik sektörünün finans kaynağı olarak planlanmıştır. 1993 yılında Özelleştirme İdaresine devredilen Etibank Bankacılık, 02.03.1998 tarihinde satılmıştır. Böylece önce 1935 yılından beri yürütülen bankacılık bölümünün satılmasıyla, maden, metalurji, kimya sanayinde lokomotif görevini yürüten tüm zamanların güçlü kuruluşu olan Etibank'ın bu alanlardaki finansal destek kolu yok edilmiştir.

Özelleştirme kapsamında Etibank, 155 milyon dolara Cavit Çağlar ve Dinç Bilgin ortaklığına satılmıştır. Cavit Çağlar'ın hisselerini devretmesiyle Bilgin Grubunun kontrolüne geçen Etibank'a 27 Ekim 2000 tarihinde BDDK tarafından el konulmuş, Etibank Bayındırbank'la birleştirilerek tasfiye edilmiştir. Başlı başına bir ibret öyküsü olan bu

⁸ Maden Sen ve Madencilik Sektörü, Ankara, 2000 Sayfa 13

özelleştirme sonucunda; Etibank satılmış, devletin kasasına 155 milyon dolar girmiştir. Ancak, neden olduğu, niçin olduğu, nasıl olduğu bir kenara, iki buçuk yıl sonra Etibank içi boşaltılmış olarak tekrar kamuya dönmüş ve 2001 yılı sonunda da kapanmıştır.. O tarihteki zararı (daha küçük olan Bank Kapital ile birlikte) 600 milyon dolar. Nereden bakılırsa bakılsın, satıldığı ücretin iki katı kadar bir zarar ile geri dönmüştür.⁹

Çizelge 1. Özelleştirme idaresi başkanlığı'na bağlanan madencilik kuruluşları ve günümüzdeki durumları.

KURULUŞ ADI	NOT	KAPSAMA ALINMA TARİHİ	İLGİLİ KURUL	PAY (%)	SATIN ALAN	SATIŞ TARİHİ	SATIŞ BEDELİ (000x\$)
KAMU İKTİSADI TEŞEKKÜLLERİ							
ÇİTOSAN Çim. Ve Top. San. AŞ.*	**	14.06.1995	ÖYK	99,99	1999 yılında tüzel kişiliğine son verilerek fabrikalar ayrı ayrı özelleştirilmiştir		
ETİ Holding AŞ.		20.12.2000	ÖYK	100,0			
İSKENDERUN Demir Çelik F. AŞ.		02.03.1998	ÖYK	100,0	ERDEMİR	31.01.2002	50.000
KARABÜK Dem. Çel. Fab. AŞ.	**	30.12.1994	ÖYK	100,0	Karabük Ort. Kon.	30.03.1995	Bedelsiz
TDÇİ (Divriği-Hekimhan)		05.01.2001	ÖYK	100,0	ERDEMİR	15.04.2004	28.500
BAĞLI ORTAKLIKLAR							
BOZÜYÜK Seramik San. AŞ.	**	14.06.1995	ÖYK	100,0	Ercan Madencilik	01.10.1997	12.000
ÇİNKUR Çinko-Kurşun Metal AŞ.	**	25.11.1993	YPK	98,41	KMM Madencilik	22.05.1996	14.000
ETİ Bakır AŞ.		28.07.2000	ÖYK	100,0	CE-KA İnş.M.Mad. AŞ	12.04.2004	21.879
ETİ Elektrometalurji AŞ.		10.10.2000	ÖYK	100,0	AKSU Mad.San.Tic. AŞ	25.10.2004	15.320
ETİ Gümüş AŞ.		11.10.2000	ÖYK	100,0	KSS Mad.İnş.Tur. AŞ	13.08.2004	41.200
ETİ Krom AŞ.		12.10.2000	ÖYK	100,0	Yıldırım Dış Tic. AŞ	14.09.2004	58.050
KBİ Karadeniz Bakır İşl. AŞ.		25.11.1993	YPK	99,94	CE-KA İnş.M.Mad. AŞ	02.04.2004	48.600
		30.01.1999	ÖYK	0,06			
Konya Krom-Manyazit İşl. AŞ.	**	14.06.1995	ÖYK	100,0	Konya Sel. San.Tic. AŞ	05.06.1998	40.700
KÜMAŞ Kütahya Manyazit İşl. AŞ.		20.05.1992	YPK	99,28	Zeytinoğlu Holding AŞ	28.09.1995	108.100
BANKALAR							
ETİBANK Bankacılık AO.	**	05.05.1994	YPK	100,0	Medya-İpek Hol. AŞ	02.03.1998	
İŞTİRAKLER							
ÇANAKKALE Seramik Fab. AŞ.	**	30.04.1987	TKKOK	8,37	İbrahim Bodur Hol.	29.12.1994	887
EREĞLİ Demir Çelik Fab. AŞ.	***	30.04.1987	TKKOK	51,53	OYAK	02.07.2006	2.770.000
SAMAŞ Sanayi Madenleri AŞ.	**	02.02.1985	EİYYK	25,00	Tokat İl Özel İdare	23.01.1987	131.279
Sivas Demir Çelik Fab. AŞ.	**	26.01.1994	YPK	99,99	SIVYAT AŞ	24.09.1998	6.655
BEYTAŞ Beydağı Kireç San. AŞ.		12.10.1998	ÖYK	45,00	Sümer Holding AŞ	12.03.2001	Devir
ETİ Aliminyum AŞ		13.08.2003	ÖYK	100,0	CE-KA İnş.M.Mad. AŞ	29.07.2005	305.000
Filyos Ateş Tuğlası AŞ		22.02.1994	ÖİB	100,0	Zonguldak Yat AŞ	13.05.1997	18.150
YENİ ÇELTEK Kömür Mad. AŞ		27.06.2003	ÖİB	16,00	Özelleştirme kapsamında		
KİAŞ Kömür İşl. AŞ		27.06.2003	ÖİB	10,00	Özelleştirme kapsamında		
ÇAYELİ BAKIR AŞ			ÖİB	45,00	İNMET Madencilik AŞ	23.09.2004	49.250

* ÇİTOSAN tüm üretim birimleri ve varlıkların özelleştirilmesini müteakip 30.06.1999 tarihli şirket Genel Kurul kararı doğrultusunda Et ve Balık Ürünleri AŞ. ile birleştirilmiş ve bu kararın 07.07.1999 tarihli Ticaret Sicil Gazetesi'nde yayımı ile söz konusu şirketin tüzel kişiliği sona ermiştir.

** Bu kuruluşlarda hisse senedi ve varlık satış/devri biçiminde özelleştirme uygulaması ve kamu payı kalmamıştır.

*** Bu kuruluşlarda hisse senedi veya varlık satış/devri biçiminde kısmen özelleştirme uygulaması yapılmıştır.

ÖYK: Özelleştirme Yüksek Kurulu, YPK: Yüksek Planlama Kurulu, TKKOK: Toplu Konut ve Kamu Ortaklığı Kurulu

⁹ TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, "Özelleştirme Dosyası 1" Basın Açıklaması

Çizelge 2. Madencilik sektöründe yeralan üç önemli kuruluşta ait bazı büyüklük rakamları.

		1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
TTK	İstihdam ¹	41.927	40.235	39.259	38.652	37.645	38.231	36.557	37.623	39.083	38.049	36.982	37.317	32.116
	Üretim ²	7185	7284	7223	6725	7103	7206	7015	7084	6687	6259	5629	5.291	4.791
	Yatırım ³	1,4	4,0	6,9	7,1	7,6	11,1	13,7	21,9	16,0	20,5	20,6	63,5	70,5
	Kar/Zarar. ⁴											-0,78	-2,12	-3,92
TKİ	İstihdam	19.381	19.424	19.617	20.033	21.565	29.191	31.317	32.324	33.158	32.962	32.978	30.468	29.835
	Üretim	13,639	15,049	16,159	18,527	22,088	30,993	36,701	37,233	30,211	42,003	36,861	27,768	42,386
	Yatırım									52,6	47,5	42,4	24,9	42,1
	Kar/Zarar									-277	20	-200	-353	-171
Etibank	İstihdam								24.346	23.306	22.491	22.543	21.898	20.427
	Üretim													
	Yatırım						70,8	78,9	44,8	36,7	20,4	29	14,1	21,1
	Kar/Zarar									2,8	2,6	444	-916	-1743

		1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
TTK	İstihdam	28.451	24.565	21.621	20.403	18.674	17.406	16.181	19.151	17.691	15.792	12.695	11.998	10.801
	Üretim	5,431	4,555	3,377	3,321	3,413	2,865	2,601	3,196	3,492	3,244	2,954	2,805	
	Yatırım	72,6	9,0	6,0	7,6	8,1	8,9	8,4	7,9	14,8	7,9	7,1	8,1	
	Kar/Zarar	-7,5	-15,5	-20,6	-29,7	-54,6	-37,8	-146	-226	-289	-334	-493	-388	
TKİ	İstihdam	27.977	26.298	22.527	21.427	20.451	19.638	19.151	17.333	16.269	14.645	12.986	12.643	12.091
	Üretim	38,688	43,284	33,421	34,238	36,731	38,315	38,644	39,199	33,599	30,621	25,700	24,300	27,000
	Yatırım	21,8	4,1	4,6	11,7	22,6	14,8	6,7	6,8	4,7	5,8	14,3	19,8	9,9
	Kar/Zarar	-576	54	10242	32695	40554	59585	24435	10978	4516	124912			
Etibank	İstihdam	20.021	13.635	12.211	11.498	10.966	11.456	11.021	7.854	7.786	7.498	4.546	4.441	4.047
	Üretim													
	Yatırım	15,2	3,1	5,1	7,8	14,2	32,2	45,0	43,6	55,1	78,3	74,1		
	Kar/Zarar	-170	-76	-8	94	167	227							

1- İstihdam rakamları toplam çalışan personel olarak, TTK rakamları ise işçi personel olarak alınmıştır.

2- Üretim rakamları bin tondur.

3- Yatırım rakamları sabit sermaye yatırımları olarak milyon USD olarak verilmiştir.

4- Kar/Zarar rakamları milyar TL olarak verilmiştir.

2.3.2 Eti Gümüş AŞ

Eti Gümüş tesisleri, 1 milyon ton tüvenan cevherin işlenerek gümüş elde edilmesi amacıyla 1977 yılında projelendirilmiş, 1987'de üretime başlamıştır. Proje kapasitesi 122,4 ton gümüş üretimidir. Eti Gümüş AŞ, Türkiye'de gümüş üretimi yapan tek kuruluştur. Türkiye'nin yıllık gümüş ihtiyacı 200 ton civarındadır ve bunun % 30'u bu işletmeden sağlanmaktadır. Dolayısıyla, bu işletmenin üretimi sayesinde ülke dışına önemli miktarda döviz çıkışı engellenmektedir.

Eti Gümüş AŞ, daha önce Eti Holding AŞ Genel Müdürlüğü'ne bağlı iken, 2000 yılında özelleştirme kapsamına alınmıştır. Özelleştirme İdaresi Başkanlığı tarafından 6 Mayıs 2004 tarihinde yapılan açıklama ile, Eti Gümüş AŞ'nin özelleştirilmesine ilişkin nihai pazarlık görüşmelerinin tamamlanmış ve 24.06.2004 tarih ve 2004/51 sayılı Özelleştirme Yüksek Kurulu Kararı ve 13.8.2004 tarihli sözleşme ile 41,2 milyon USD ile en yüksek teklifi veren firmaya satılmıştır.

Söz konusu özelleştirme uygulamasına yönelik Odamızca yapılan basın açıklamaları kamuoyu ile paylaşılmış, ancak sorularımız Özelleştirme İdaresi Başkanlığı tarafından yanıtız bırakılmıştır.

2.3.3 Eti Krom AŞ

1972 yılında Elazığ ili kromit cevherlerimizi işleyerek, ham cevher ihracatı yerine katma değeri daha yüksek ferrokrom üretmek amacıyla projelendirilen tesis, 1977 yılında üretime başlamıştır. Proje kapasitesi, 150 000 ton/yıl yüksek karbonlu ferrokrom üretimidir. Tesis 2000 yılında özelleştirilme kapsamına alınana kadar yılda ortalama 50 milyon dolar ihracat gerçekleştirmiştir.

Morgan Guarantee Bank tarafından hazırlanan Özelleştirme Ana Planı gereğince, 1998 yılında 98/10552 sayılı kararname ile Etibank'ın Eti Holding AŞ ve yedi adet bağılı ortaklı şirkete dönüştürülmesiyle müessese Eti Krom AŞ Genel Müdürlüğü adını almıştır. Eti Krom AŞ 18.10.2000 tarih ve 24204 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Özelleştirme Yüksek Kurulunun kararı ile özelleştirme kapsam ve programına alınmıştır. Tesisin Özelleştirme İdaresi Başkanlığı'na devir alınması sorunları daha da derinleştirmiştir.

Kuruluşa ait 11 adet krom ve 1 adet kuvarsit olmak üzere toplam 12 adet maden sahası bulunmaktadır. Söz konusu krom yatakları, dünya krom pazarında yüksek talebi olan metalürjik kalitede cevherlerdir. Kuruluş tarafından üretilen krom cevheri, sanayinin en vazgeçilmez girdilerinden biridir. Özellikle çelik ve diğer metallerin korunmasında kaplama olarak kullanılan krom, kullanıldığı alanlarda alternatifsiz metal olması bakımından pek çok sanayileşmiş ülke tarafından stratejik hammadde olarak değerlendirilmektedir. Eti Krom AŞ, 24.06.2004 tarih ve 2004/52 sayılı Özelleştirme Yüksek Kurulu Kararı ve 14.9.2004 tarihli sözleşme ile 58 milyon USD bedelle satılmıştır. Tam kapasitede çalıştırılması ve yatırım yapılması gereken kuruluştaki sadece kromit cevherleri çıkarılarak ihraç edilmesi ve tesislerin çalıştırılmaması durumu, ülke ekonomisi açısından son derece hatalı olacaktır.¹⁰

Ferrokrom konusunda ciddi bir kaynak olarak bilinen "Ryan's Notes" bülteninin 10 Mayıs 2004 tarihli 19 sayısında bu satışa oldukça geniş yer verilmiş, aynı bültende yer alan bir haberde bir üretici "58.1 milyon dolara, bu satışın bir kazanım sayılabileceğini çünkü, bu rakama bu kapasitedeki bir tesisin hiçbir yerde inşa edilemeyeceğini" belirtmiştir. Kromit rezervlerimiz, ferro krom üreten tesisimizle, ülke ihtiyacı paslanmaz çelik ithalatı birlikte düşünülerek katma değeri yüksek paslanmaz-çelik üreten tesislerin kurulması gerekirken, yapılan bu özelleştirme sonucunda; özelleştirmeye devredildikten sonra piyasalarda ferrokrom fiyatı üç katına çıkmış ancak Eti Krom AŞ bu dönemde üretim yapamamıştır.

2.3.4 Eti Alüminyum AŞ

1969 yılında Toroslar'daki boksit cevherinin işlenerek metalik alüminyum üretimi amacıyla projelendirilen Eti Alüminyum AŞ, 1974 yılında alüminyum üretimine başlamıştır. Proje kapasitesi, 200 bin ton alümina, 35 bin ton alüminyum sülfat ve 60 bin ton sıvı alüminyum üretimidir. Kuruluşunda alüminyum tesisleri ile birlikte Oymapınar Hidroelektrik Santralının

¹⁰ Tamzok N, Türkiye Madencilik Sektöründe Yapısal Dönüşüm ve Sonuçları, TMMOB Mad. Müh. Odası, Türkiye 19. Uluslar arası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET 2005, İzmir, Sayfa 11

da kurulması ve aynı anda işletmeye alınması projelendirilmiştir. Ancak, 1984 yılında devreye alınan baraj, enterkonnekte sisteme bağlanmış ve proje gereği yerine getirilmemiştir.

Eti Alüminyum AŞ, Özelleştirme Yüksek Kurulunun 13.08.2003 tarih ve 2003/49 sayılı kararıyla özelleştirme kapsam ve programına alınarak Özelleştirme İdaresi Başkanlığına devredilmiş ve yine Özelleştirme Yüksek Kurulu'nun 08.09.2003 tarih ve 2003/53 sayılı kararıyla Oymapınar Barajı Hidroelektrik Üretim Tesisleri de Eti Alüminyum AŞ'ye bağlanmıştır. Santralin bağlanmasıyla 2004 yılında Seydişehir Alüminyum Tesisleri 27.6 milyon dolar kar etmiştir.

Özelleştirme kapsamındaki Seydişehir Eti Alüminyum açılan ihalede en yüksek teklif olan 305 milyon USD' a satılmıştır. Daha doğrusu, kasasındaki nakiti, stoklarında satışa hazır ürünleri, 7 adet boksit maden sahası, taşınmazları, Antalya'da limanı, Oymapınar Barajı ile adeta bedavaya verilmiştir. Bu satışın hemen ardından, dünyada 2005 yılı hammadde, metalik madenler ve ürünlerinin yükselmeye başladığı yıl olmuş, Haziran 2005 tarihinde 1600 USD seviyelerindeyken devir sonrasında 2600 USD seviyelerine yükselmiştir.

2.3.5 Eti Elektrometalurji AŞ

Eti Elektrometalurji AŞ, Akdeniz Bölgesi'nde bulunan kromit yataklarımızı değerlendirmek üzere 1958 yılında düşük karbonlu ferro-krom üretmek için kurulmuş olup, tesise daha sonra ferro-silis ve karpit üretim birimleri eklenmiş ve böylece kapasite 30.000 ton/yıl karpit, 11.500 ton/yıl ferrokrom, 7.300 ton/yıl silikoferrokrom, 5.000 ton/yıl ferrosilisyum ve 9.500 ton/yıla çıkarılmıştır.

Eti Elektrometalurji AŞ, 23.09.2004 tarih ve 2004/83 sayılı Özelleştirme Yüksek Kurulu Kararı ve 25.10.2004 tarihli sözleşme ile 15,3 milyon USD'na satılmıştır. Tesisler satıldığında 24 Temmuz tarihi itibarıyla fabrikanın 12 trilyon TL civarında mal stoğu ve 9 trilyon alacağı (yaklaşık 14 milyon USD) mevcuttur.¹¹

2.4 Türkiye Demir-Çelik İşletmeleri Genel Müdürlüğü AŞ (TDÇİ)

Ekonomik kalkınma açısından çok önemli olan demir çelik sektörünün üretim ve tüketim büyüklükleri sanayileşmenin temel göstergeleri arasında yer almakta, kişi başına tüketilen çelik, tüketim içindeki yassı çelik oranı ülkelerin gelişmişlik kriterleri olarak kabul edilmektedir. 80'li yılların sonlarına doğru Dünya'da demir çeliğin yerine plastikten ve alüminyumdan yapılan malzemelerin kullanılacağı düşüncesi hakim olmaya başlamıştır. Bu durumun gerçekleşmesi halinde ise demir çelik sektöründe krizli yılların başlayacağı kabul edilmiş ve 90'lı yılların ortalarına doğru gelişmeler bu varsayımların yanlış olduğunu göstermiş ve demir çelik sektörünün gelişimi devam etmiştir.¹²

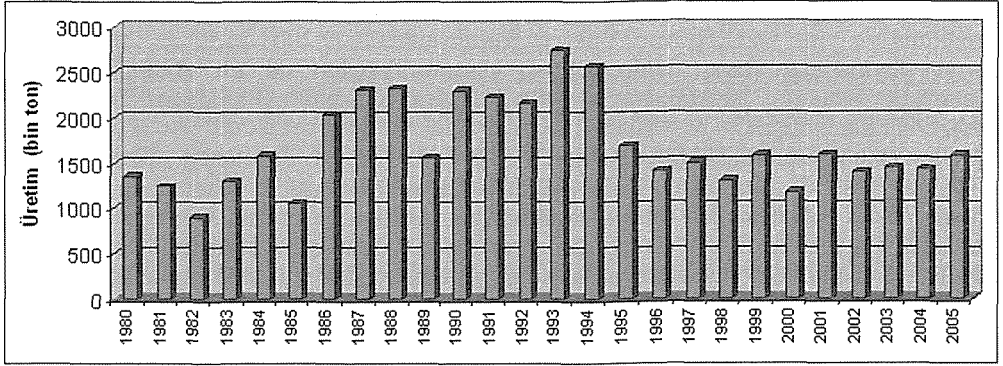
1990' lı yıllarda başlayan Demir Çelik sektörü sorunları, Türkiye'nin ürün çeşitliliği ve üretim yöntemleri açısından da bakıldığında büyük sorunlar baş göstermiştir. Ark ocaklı tesisler temel girdisi hurda açısından ve tesisin kuruluşu harcanan malzemeler tamamen yurt dışına bağımlı olması büyük sıkıntılara neden olmuştur.

Dünyada yaşanan bu gelişmeler ülkemizdeki entegre Demir-Çelik fabrikalarını da yakından ilgilendirmiş, bu fabrikaların bağlı olduğu Türkiye Demir Çelik İşletmeleri Genel Müdürlüğü (TDÇİ) de bu gelişmelerden payını almıştır. Türkiye'de özelleştirme furçasının yaşandığı 90'lı yılların başında zarar eden kuruluş olarak örnek(!) verilen TDÇİ'nin zararının gerçek nedenleri daha sonraki yıllarda anlaşılmıştır. Bu yıllarda "KİT"lerin zarar sıralamasında ikinci" olarak gösterilen TDÇİ'ye ait rakamlar aşağıdaki Tablo'da verilmiştir. Bu yıllarda gelirlerini yeterince kullanmasına izin verilmeyen ve Hazine'den de yeterince ödenek

¹¹ TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, "Özelleştirme Dosyası 1" Basın Açıklaması

¹² Aşaroglu N, "Potada Eriyen Demir Madenciliğimiz", TMMOB Met. Müh. Odası Bülteni, 2004, Sayfa 26

alamayan TDÇİ bütçe oluşturmak için özel bankalardan karşılanamayacak faizlerle kredi kullanmış ve bu kredi Kurumu batağa sürüklemiştir.



Şekil 9. TDÇİ Divriği madenleri demir cevheri üretim miktarları.

Çizelge 3. TDÇİ Genel Müdürlüğü kar/zarar ve faizleri.

Milyar TL	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Kar-Zarar	11	16	98	-288	-1.088	-1.700
Ödenen Faiz				235	750	1.200

Çizelge 4. TDÇİ Genel Müdürlüğü istihdamı.

	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Personel	28261	27434	25785	22569	21863	18818	11885	11016	10391	10031

Özelleştirme İdaresi tebliği ile 11.01.2001 tarihinde TDÇİ Genel Müdürlüğü özelleştirme kapsamına ve programına alınmış, bu tebliğle TDÇİ Genel Müdürlüğü ve TDÇİ'ne bağlı kalan son iki işletme olan, Hekimhan Maden İşletmesi ile Divriği Maden İşletmesi de özelleştirme kapsamına sokulmuştur. TDÇİ'nde daha önce Karabük Demir Çelik Müessesesi, Sivas Demir Çelik İşletmeleri kapsam ve programa alınmış ve hisselerinin tamamı özelleştirilmiştir.

TDÇİ'nin elinde bulundurduğu Divriği-Hekimhan Madenleri Genel Müdürlüğü yaklaşık 3 yıl sonra 28,5 milyon USD karşılığı özelleştirme kapsamında bulunan ERDEMİR'e satılmıştır. Günümüzde işletme ruhsatı TDÇİ'ye ait 4 adet sahayı bünyesinde bulunduran TDÇİ, toplam 32 personeli ile tasfiye sürecini yaşamaktadır.

2.5 Ereğli Demir-Çelik İşletmeleri Genel Müdürlüğü AŞ (ERDEMİR)

Ereğli Demir Çelik Fabrikaları 1965 yılında öncelikle ülkemizin demir cevherini kullanmak amacı ile kurulmuştur. Bu tesisler uzun yıllar hammadde gereksinimlerini yurtiçinden karşılamasına rağmen, 80'li yıllarda yaşanan özelleştirme çalışmalarına paralel olarak, yerli kaynaklar ihmal edilmiş ve ERDEMİR yurt dışından getirdiği demir cevheri ile üretimini sürdürmüştür.

Üretimiyle çelik üreticisi 15 AB üyesi ülke arasında 8. sırada, dünyada 48. sırada yer alan, 2004 yılını rekor üretimle kapatan, köklü şirket kültürü, ileri teknolojik yapısı, dünya çapında ürün kalitesiyle, kârlılığı ve verimiyle göz kamaştıran ERDEMİR, önümüzdeki 3-5 yıl

içindeki yatırım hedefleriyle Avrupa'nın en üst sırasında yer almaya aday, Türk sanayisinin lokomotifini bir şirket pozisyonundadır.¹³

ERDEMİR, 2003-2004 yılları arasında personel sayısında % 3 azalma olmasına rağmen esas faaliyet kârı % 578, net dönem kârı % 119 artan verimli bir işletme olmuş, Kurum, özellikle yassı mamul üretimini artırarak Türk sanayinin önemli bir gereksinimine daha geniş ölçüde katkıda bulunmuştur. 2007 yılında 7 milyon tonluk bir kapasiteye kavuşacak olan ERDEMİR, 2003 yılındaki 4.9 milyon tonluk üretim kapasitesi ile dünyanın sayılı büyük çelik üreticisi gruplarından biri konumuna erişmiştir.

Bu kadar parlak bir tablosu olan ERDEMİR, Hazineye ait %25.77 oranındaki hisse senedi Özelleştirme İdaresine devredilerek, Türkiye Kalkınma Bankası ve borsa dışındaki ERDEMİR hisseleri ÖİB'de toplanmış, bu hisseler daha önce Sümerbank bünyesindeyken Sümerbank'ın özelleştirilmesi aşamasında Hazineye devredilmiştir. Türkiye'nin en büyük yassı çelik üreticisi ERDEMİR'in % 46.12 hissesinin blok satışı için açılan ihalede en yüksek teklifi 2 milyar 770 milyon USD'la OYAK Grubu vermiştir. Böylece OYAK, günümüzde ERDEMİR, İSDEMİR, Divriği Madenleri gibi birçok Demir-Çelik tesisini elinde bulunduran bir yapıya ulaşmıştır.

2.6 İskenderun Demir-Çelik İşletmeleri Genel Müdürlüğü AŞ (İSDEMİR)

Demir Çelik sektöründe ve Türkiye'nin önde gelen kuruluşları arasında yer alan İSDEMİR, 1997 yılında, 2,2 milyon ton/yıl üretim kapasitesine sahip, fabrikanın 11.000.000 ton kapasiteli limanı, 17.000.000 m² alanı ve 11.300 çalışanı bulunmaktaydı. İSDEMİR, 2 Mart 1998 tarihinde ÖYK kararı ile Başbakanlık Özelleştirme İdaresi tarafından % 100 oranındaki İdare hissesi blok satış ve varlık satış ile özelleştirilmek üzere programa alınmıştır.

22.08.2000 tarihinde gerçekleşen ihaleye tek teklif ERDEMİR'den gelmiş, yatırım şartı, ihalenin cazibesini kısmi olarak düşürmüştür. ERDEMİR ile ÖİB arasında uzun süren pazarlıklardan sonra; İSDEMİR'in değişik kalemlerde 300 milyon USD olan borcunu ÖİB'nin üstlenmesine, ERDEMİR'in ÖYK'nun uygun göreceği bir rakam ödemesine, bu rakam daha sonra ödeme planı ile birlikte açıklanarak, 26.02.2001 günü yapılan açıklamada da "ilk iki yıl ödemesiz, 50 milyon dolarlık satış bedelinin 4 eşit taksitle ödenmesine, İSDEMİR hisseleri ERDEMİR'e devredildikten sonra, hisselerin % 10'luk kısmının İskenderun'da çalışanların kurduğu vakfa bedelsiz devredilmesine, ERDEMİR'in 750 milyon dolarlık bir yatırımla tesisi yassı mamul üretir hale çevirmesine ve 11.000'i aşkın işçinin çalıştığı tesiste 6.000 işçi için 5 yıllık istihdam garantisi getirilmiş olduğu açıklanmıştır.

Bu gelişmelerin ardında yapılan ihale sonucu İSDEMİR, 31.04.2002 tarihinde 50 milyon USD karşılığı ERDEMİR'e verilmiştir.

2.7 Karabük Demir-Çelik İşletmeleri Genel Müdürlüğü AŞ (KARDEMİR)

Türkiye Cumhuriyetinin ilk dönemlerinde demir cevheri üretimi, Karabük Demir ve Çelik Fabrikasının kurulması ile başlamıştır. Divriği demir yatakları MTA Enstitüsü tarafından 1937 yılında bulunmuş ve 1938 yılından itibaren üretime geçilmiş ve 1939 yılında da bu cevher KARDEMİR'de işlenerek ülke ekonomisine kazandırılmıştır.

Türkiye'deki ağır sanayinin ilk kuruluşlarından biri olan Karabük Demir Çelik Fabrikaları "Fabrika Yapan Fabrika" olarak adlandırılmıştır. Bu güzide kuruluş zarar ettiği gerekçesi ile Özelleştirme Yüksek Kurulunun 30.12.1994 tarih 94/16 sayılı kararı ile özelleştirme kapsam ve programına alınmıştır. Özelleştirmesi yılan hikayesine dönen kuruluş 30.03.1995 tarihinde dönemin Başbakanı Tansu Çiller tarafından 1 TL'lik ücretle, Karabük'de bulunan esnaf ve işadamları tarafından kurulmuş bir konsorsiyuma sembolik olarak satılmıştır.

¹³ TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, "Erdemir Gerçeği" Basın Açıklaması

Çizelge 5. KARDEMİR fabrikaları'nın kar/zarar rakamları.

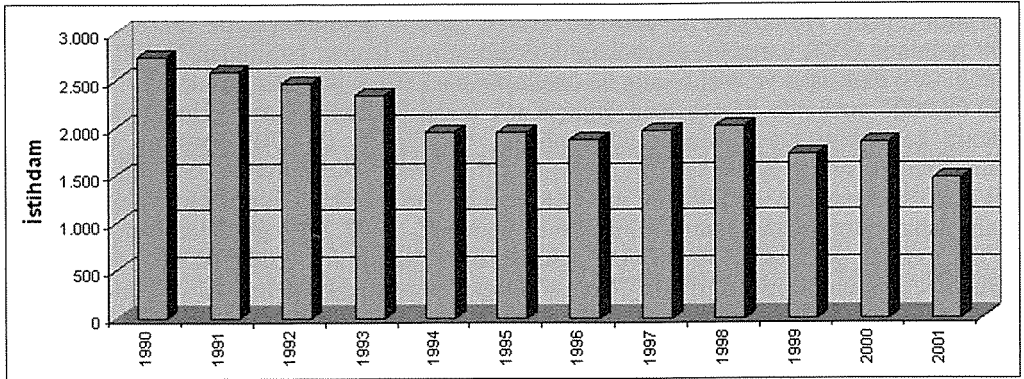
Milyar TL	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Kar-Zarar	-982	-1.714	-2.567	-6.885	285	2.189

Milyar TL	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Kar-Zarar	6.322	-1.404	-30.449	-39.514	-118.631	-121.916

Karabük Demir Çelik Fabrikaları daha sonra ülkemizde yaşanan birçok gelişmeden öncelikle etkilenmiş ve özelleştirildiği yıllardan itibaren Zaraları katlanarak artmıştır. Bu dönemde Uzak Doğu krizi demir-çelik sektörünü ağırlıklı olarak etkilemiş 1999 yılında Kardemir üç yüksek fırından ikisini belirli süre durdurmak zorunda kalmıştır. Özelleştirme işleminin yaşandığı 1995 yılında 5.417 çalışanı olan Kardemir, bu tarihten 4 yıl sonra 3.919 çalışana düşmüştür.

2.8 Divriği-Hekimhan Demir Madenleri Genel Müdürlüğü AŞ (DİVHAN)

Özelleştirme İdaresi Başkanlığı'nın 1.4.2004 tarih ve 3013 sayılı yazısı ile Divriği-Hekimhan Madenleri Sanayi ve Ticaret AŞ'de (DİVHAN) bulunan % 100 oranındaki kamu hissesinin "satış" yöntemiyle ve TDCİ'ye bağlı 14 maden sahasının işletme ruhsatlarının devri ile özelleştirilmesi planlanmıştır.



Şekil 10. Divriği Madenleri Genel Müdürlüğü'nde yıllara göre istihdam sayıları.

2003 yılında DİVHAN'daki % 100 oranındaki kamu hissesi 28,5 milyon USD bedelle en yüksek teklifi veren Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları AŞ'ne ihale şartnamesi çerçevesinde satılmıştır.

Böylece dünya üzerindeki tek demir maden sahası olmayan entegre demir-çelik fabrikası durumundaki ERDEMİR bir demir madenine sahip olmuştur. Bu gelişmelerin ardından Divriği'de hızlı bir şekilde personel tasfiyesine yönelinmiş ve yıllardan beri beklenen modernizasyon çalışmalarına başlanılarak cevher üretimi sürdürülmüştür.¹⁴

2.9 Sivas Demir-Çelik İşletmeleri Genel Müdürlüğü AŞ

Sivas Demir Çelik, 1987'de sünger demir üretimi yapmak amacıyla TDCİ'ye bağlı bir işletme olarak kurulmuştur. 400.000 ton/yıl haddehane kapasitesi olan Sivas Demir Çelik İşletmeleri % 99,9 oranındaki kamu payının özelleştirilmesi amacıyla programa alınmış, açılan ihalede 5

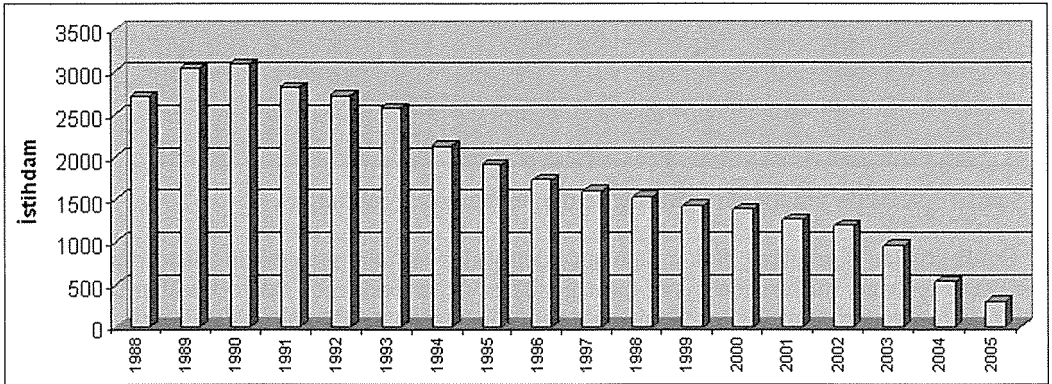
¹⁴ TMMOB 20. Yılında Türkiye'de Özelleştirme Gerçeği Sempozyumu, Madencilik Raporu, TMMOB Yayınları, 2005, Sayfa 297

Ocak 1998 tarihinde sona eren teklif verme süresi sonunda ÖİB'na Sivas Demir Çelik'i satın almak için 4 teklif verildiğini ve teklif verenler arasında bulunan Sivas Ortak Girişim Grubu fabrikayı satın aldığını bildirmiştir. Sivas Demir Çelik İşletmeleri, en yüksek teklifi verene satılmayarak özelleştirme konusunda ideolojik sıkıntıları aşmak ve özelleştirmenin tabana yayılması amacıyla İstanbul'da yerleşik Sivas'lı işadamları ile Sivas'taki odaların oluşturduğu SİVYAT AŞ'ne verilmiştir.

SİVYAT AŞ, fabrikada hiç üretim yapmayarak devir sözleşmesinde 3 yıl süre ile kesintisiz 500 personel istihdam edileceği garantisini vermesine karşın sadece 173 işçiye işbaşı yaptırmıştır. Bu işçilere de ücretlerinin ödenmesinde çeşitli problemler çıkartılmıştır. SİVYAT AŞ fabrikayı işletmeye çalışmış, ancak hiçbir denemesinde de başarılı olamamıştır. 2000 yılı Temmuz ayında "Kentbank'ın alacakları" nedeniyle fabrikayı satışa çıkarılmıştır.

2.10 KBİ Karadeniz Bakır İşletmeleri AŞ

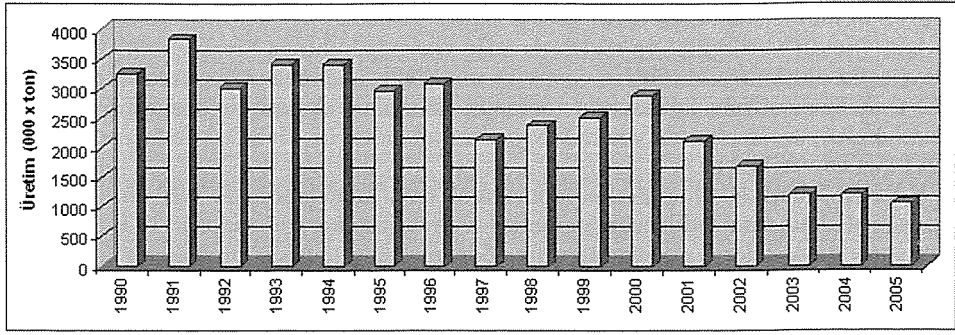
Karadeniz bölgesindeki bakır yataklarının işletilmesi ve değerlendirilmesi amacıyla kurulan Etibank'ın bağlı ortaklığı KBİ, 1968 yılında % 49 payı Etibank'a, % 51 payı da beş özel banka ile gerçek ve tüzel kişilere ait olmak üzere kurulmuş, zaman içinde kamu kesiminin sermayedeki payı %99.33'e 1983 yılında Etibank'a bağlı ortaklık haline getirilen kuruluş, Yüksek Planlama Kurulu'nun 25.11.1993 tarih ve 93/35 sayılı kararıyla özelleştirilmek üzere Başbakanlık Kamu Ortaklığı İdaresi'ne devredilmiştir.



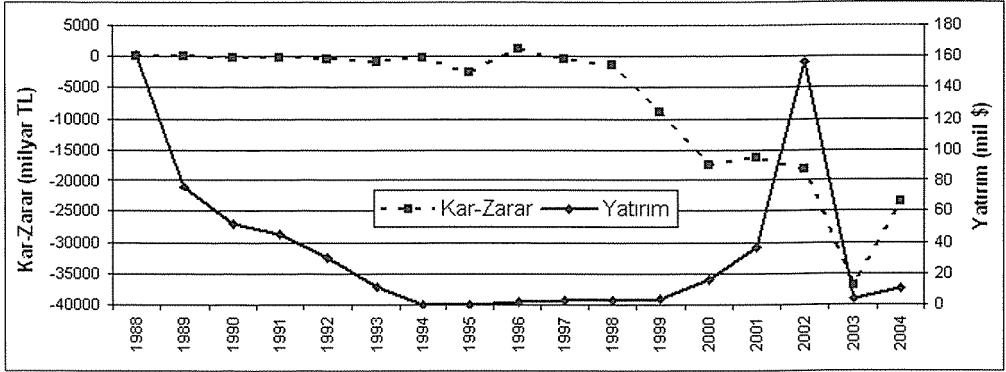
Şekil 11. KBİ'de Yıllar itibarı ile istihdam (2004 yılında özelleştirilmiştir).

Karadeniz Bakır İşletmeleri AŞ'ne ait maden sahaları, Murgul Bakır İşletmesi, Samsun ilinde mevcut arsalar ve Murgul Bakır İşletmesi bünyesinde yer alan Hidroelektrik Santrali, Özelleştirme İdaresi Başkanlığı'nın açtığı ihale sonucu, 37,6 milyon dolar bedel ile satılmıştır. Gerçekleştirilen bu özelleştirme işleminin de diğer özelleştirmelerde olduğu gibi, değerinin son derece altında özelleştirildiği iddiaları ilgili birimlerce yanıtız bırakılmıştır.

Bakır fiyatlarının son üç yılda % 450 arttığı ve fiyatların giderek artmakta olduğu dikkate alındığında, söz konusu özelleştirmenin akılcı ve karşılık olarak alınan bedelin de gerçekçi olmadığı gözükmektedir.



Şekil 12. KBİ'de yıllara göre üretim rakamları.



Şekil 13. KBİ'de yıllara göre yatırım ve dönem kar/zarar miktarları.

Özelleştirilen Karadeniz Bakır Samsun İşletmesi, flaş fırın sistemiyle blister bakır üreten bir izabe tesisine, bu tesisten çıkan baca gazlarını değerlendirmek üzere kurulan bir sülfürik asit tesisine ve ayrıca izabe tesisinin artıklarını oluşturan cüruflerdeki bakırı tekrar kazanmak amacıyla kurulmuş bir curuf flotasyon tesisine sahip bulunmaktadır. Söz konusu tesisler, 1973 yılında üretime başlamış ve 23 Nisan 2004 tarihine kadar da üretimlerini sürdürmüştür.

Ülkemizde tek blister bakır üreten Samsun İşletmesi, ülke ekonomisinde 30 yıla yakın yer almış ve katma değer yaratarak ülke sanayisinin gelişmesine ciddi katkılar sağlamıştır. Söz konusu işletme, yanlış siyasi tercihler sonucu yatırımsız bırakılmış, emsalleriyle rekabet edemez duruma düşürülmüştür. Gelineen noktada, bu tesisler, üzerinde bulunduğu arsa bedelinin de altında, belirsiz değer tespit yöntemleriyle elden çıkarılmıştır.

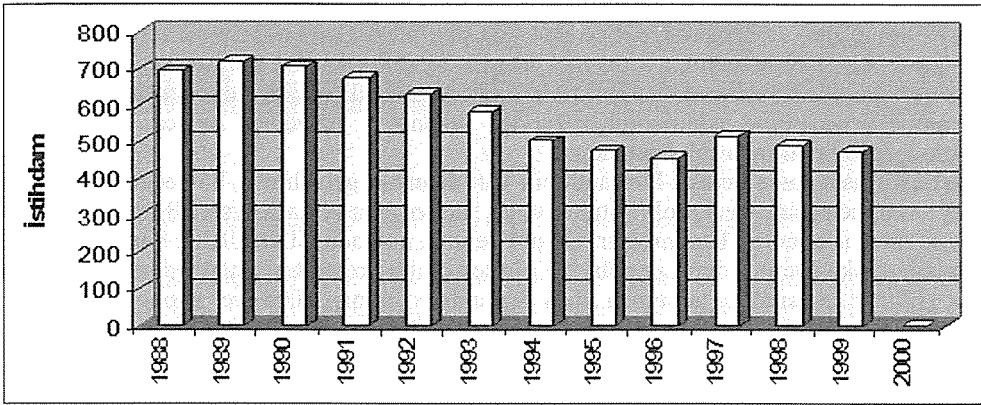
Tesislerin çalıştırılmaması durumunda, ülkemizde izabe tesislerinin hammaddesi olarak üretilen bakır konsantresi, yurt dışına ham olarak ihraç edilmek zorunda kalınacak, ülkemizdeki rafineri tesisleri ise işlemek üzere döviz ödeyerek dışarıdan blister ya da katot bakır alacaklardır.

2.11 Kayseri Çinko-Kurşun Metal AŞ (ÇİNKUR)

ÇİNKUR, 1968 yılında, karbonatlı maden cevherinin işlenerek metal çinkoya dönüştürülmesi amacıyla Kayseri'nin İncesu ilçesi yakınlarında kurulmuş, 1976'da da üretime geçmiştir. Proje kapasitesi, yılda 40 bin ton çinko, 6 bin ton kurşun, 125 ton kadmiyum ve 4,5 ton gümüş üretimidir. ÇİNKUR, uzun yıllar ülkemizdeki çinko yataklarını değerlendirmiş ve 1995 yılında özelleştirilmiştir. Devlet ve özel sektörün ortak olarak kurduğu bu kuruluşta, özel sektörün sermaye artırımına katılmaması nedeniyle, devletin hisseleri %99'a çıkmıştır. Bu

uygulamanın da istenilen sonuçlar elde edilememiş ve madencilik sektörünün riskli olması, uluslararası piyasalardaki fiyat dalgalanmaları sonucu, ÇİNKUR bazı yılları zararla kapatmıştır.

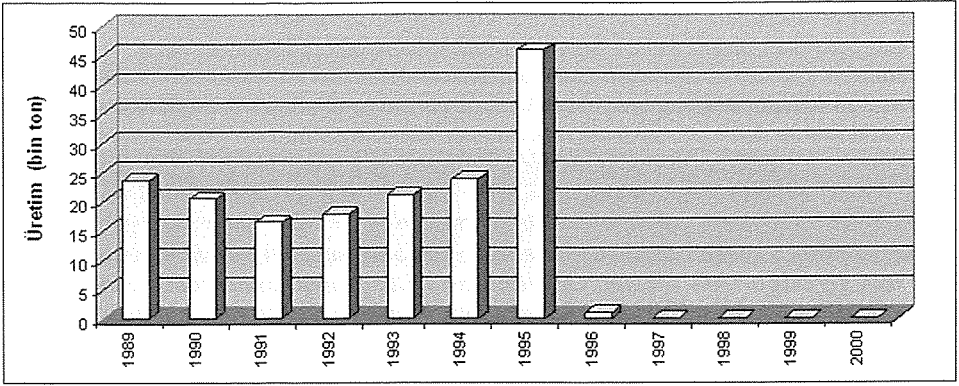
YPK'nın 25 Kasım 1993 tarih ve 93/35 sayılı kararı ile özelleştirilen ÇİNKUR'un % 98,41 olan devlet hissenin satışı gerçekleştirilmiştir. Bu özelleştirmenin ardından yaşananlar üzerine dönemin Özelleştirme İdaresi Başkanı, özelleştirmeye karşı çıkmanın Türkiye'nin geleceğine ipotek koymak anlamına geleceğini söylemiş, yaptığı açıklamanın ÇİNKUR'la ilgili olan bölümünde ise; *"Özelleştirmeye giren müteşebbisin parasını alın, ama onları kontrol edecek, onları denetleyecek mekanizmaları da kurun. Onların rekabet ortamında çok iyi hizmet vermesi için gerekli ortamı yaratın. Özelleştirme eşittir mafya. Müteşebbis eşittir mafya gibi şeylerle bu ülkenin müteşebbislerini karalamaya kimsenin hakkı yoktur. Bu ülkenin batmış ÇİNKUR'unu Londra Borsası'na taşıyan, Sümerbank'ın tekstil fabrikalarından Almanya'da veya şuralara buralara 100 milyonlarca dolar ihracat yapan, bu ülkenin batık bankalarını alıp pırıl pırıl hale getiren müteşebbislere kimsenin bunu yapmaya hakkı yok."*¹⁵



Şekil 14. ÇİNKUR'da yıllara göre istihdam (1996 yılında özelleştirilmiş, 1999 yılında kapanmıştır).

ÇİNKUR'un kamuya ait hisselerinin tamamı, 1 Haziran 1996 tarihinde 14 milyon USD bedelle satılmıştır. Özelleştirme sonrasında ÇİNKUR için gerekli konsantre yurt dışından getirilmiş, ancak hammadde yetersizliği ve borçlarından dolayı fabrikalar çalıştırılmamıştır. Bu dönemde, tesisi satın alan firmanın, fiyatı 100 dolar olan ve İran'dan getirilen hammaddeyi paravan şirketler kanalıyla 300 dolar fiyatla Türkiye'ye ithal ettiği ve bu suretle yaklaşık 38 milyon doların yurtdışına çıkardığı kamuoyuna yansımıştır. Şirket, zarar ettikleri gerekçesiyle önce üretime ara vermiş, 26 Kasım 1999'da üretim durdurulmuştur. Bu arada, işçilerin iş akitleri askıya alınarak hiçbir alacakları ödenmemiş ve işçilerin haklarının askıya alınması neticesinde başka bir yerde çalışmalarına izin verilmemiştir. Aynı yıl, alacaklı bir firmanın müracaatı ile icra yoluyla satışına karar verilmiş, İncesu İcra ve İflas Müdürlüğü tarafından 1999-2003 tarihleri arasında 9 ayrı ihale açılmasına rağmen ÇİNKUR ile ilgilenen olmamıştır.

¹⁵ Avşaroğlu N, Madencilik Sektörü ve Özelleştirme Raporu, KESK ESM, Yayınlanmamış Rapor, 2002, Sayfa 9



Şekil 15. ÇİNKUR'da yıllara göre üretim rakamları.

Türkiye'nin Çinko, Kurşun rezervleri (Metal Zn, Pb) sırasıyla, 2.290.000 ve 860.000 ton düzeyinde olup yeterince aranmamıştır. Ülkemizde çinko-kurşun üretimi halen özel sektöre yapılmaktadır. Bu sektörde de gerekli rezerv geliştirme çalışmaları ile teknolojik yatırımların yapılmaması nedeniyle işletilebilir rezervler tükenmek üzeredir. Ayrıca birçok işletme ekonomik tenörün altında çalışmaktadır.¹⁶

Özelleştirme sonucu gerekli konsantrenin yurt dışından getirilmesi, bölgedeki madencilerin cevher üretememesine neden olmuştur. Bunun sonucu olarak da Kayseri Bölgesinde kurşun-çinko cevheri işletmeleri kapanmıştır. Bugün gelinen noktada ÇİNKUR'un kendisi kapanmış, ülkemizde çinko üretimi durmuş, Türkiye'nin tek çinko üreten tesisi yok edilmiş, ülke sanayi çinko ihtiyacı açısından tamamen dışa bağımlı kılınmış, Türkiye ekonomisini her yıl milyonlarca dolar ithalat yüküyle karşı karşıya bırakılmıştır. ÇİNKUR'a ait olan çinko ruhsat sahaları yabancı madencilik şirketinin eline geçmiştir.

1996 yılında blok satış yöntemiyle özelleştirilen ÇİNKUR Çinko Kurşun Metal Sanayi AŞ'de özelleştirme öncesi yaklaşık % 50 olan kapasite kullanım oranı, özelleştirme sonrası bir ara % 58-94 arasında gerçekleşmiş, işçi ve çalışan personel sayısında azalma yaşanmış, işletme için yaklaşık 2,1 trilyon liralık yatırım yapılmış, ancak 1995 yılında 154 milyar lira olan şirket zararı, 1998 yılında 1.769 milyar liraya ulaşmış ve şirket faaliyetlerine Kasım/1999 tarihinde son verilmiştir.

2.12 Kütahya Manyezit İşletmeleri AŞ (KÜMAŞ)

1972 yılında Etibank öncülüğünde 1.4 milyon TL sermaye ve 54 girişimci ortak tarafından kurulmuştur. 72.000 ton/yıl sinter manyezit kapasiteli olarak kurulan şirket, 1976 yılında işletmeye alınmıştır. 1982 yılında sinter manyezit kapasitesi 144 bin ton/yıl'a çıkartılmıştır. KÜMAŞ, 1989 yılı sonunda harç üretimi de yapabilen yeni ve modern tuğla fabrikasını aynı arazi üzerinde işletmeye açmış ve 65 bin ton/yıl refrakter malzeme üretebilecek entegre tesis durumuna gelmiştir.¹⁷

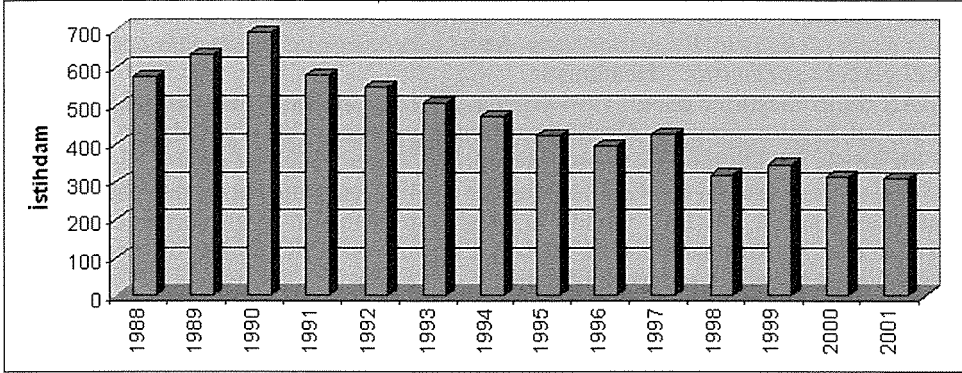
5 Eylül 1995 tarih ve 22395 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan 4 Eylül 1995 tarih ve 95/67 sayılı, KÜMAŞ'ın hisselerinin % 99.28inin satışı konusunda Özelleştirme Yüksek Kurulu kararı sonucu 108.100 US dolara, yarısı peşin, kalan yarısı birer yıllık iki eşit taksitte satılmıştır.

KÜMAŞ, 1994 yılında 835.497.084 lira kâr etmiş, yine 1994 yılında, alıcı fiyatlarıyla gayri safi milli hasılaya katkısı 840.133.000.000 lira olmuştur. Bu haliyle KÜMAŞ, İstanbul Sanayi

¹⁶ Avşaroğlu N, Madencilik Sektörü ve Özelleştirme Raporu, KESK ESM, Yayınlanmamış Rapor, 2002, Sayfa 4

¹⁷ Aytekin A, Madencilik Sektörü ve Küreselleşme, TODAİE, Uzmanlık Tezi, Ankara, 2001, Sayfa 87

Odası'nın 1994 yılı Türkiye'nin 500 büyük sanayi kuruluşu araştırmasında 273 üncü sırada yer almıştır. Şirkette üretim ve mali yapı bakımından olumlu gelişmeler gözlenmesine, bilançonun kâr ile kapanmasına rağmen, özelleştirme kapsamına alındığı 1992 yılından 1994 yılına kadar hiçbir yatırım yapılmamış; ancak, her nedense, özelleştirilmesinden bir yıl önce hızlı bir yatırım faaliyetine girilmiş ve Yüksek Planlama Kurulunun 3.6.1994 tarih ve 94/18 sayılı kararı gereğince şirkete 50 milyon ABD doları tutarında (sermaye artırımını nedeniyle) kaynak aktarılmıştır.



Şekil 16. KÜMAŞ'ta yıllara göre istihdam (1995 yılında özelleştirilmiştir).

Bu satışın ardından dönemin Kütahya Milletvekili Emin Kara ve 22 arkadaşının, Kütahya Manyezit İşletmeleri AŞ'nin (KÜMAŞ) özelleştirilmesi sırasında yapıldığı iddia edilen usulsüzlük ve yolsuzluk iddialarının araştırılarak meydana gelen devlet kayıplarını belirlemek amacıyla TBMM araştırması istemiştir.

Bu önergede belirtilen iddialara göre, KÜMAŞ'ın özelleştirilmesi aşamasında yapılan bazı işlemlerle devletin zarara uğratıldığı, hukuka aykırı uygulamalar yapıldığı yolunda ciddi bulguların bulunduğu belirtilmiştir. KÜMAŞ'ın özelleştirilmesinden önce yapılan değer tespitinde, tesislerin değeri, yine KÜMAŞ'a ait olan; fakat çoğu müteahhitler tarafından işletilen 12 madenin işletme hakları hariç, 99.531.000 USD olarak belirlenmiştir. Üstelik, değer tespiti yapan firma, tespit edilen değere dahil olmayan maden işletme haklarının ayrıca pazarlık konusu yapılması gerektiğini belirtmiştir. Oysa ihale, bu madenlerin işletme haklarını da kapsayacak biçimde ve belirtilen hususlar dikkate alınmadan 108 milyon dolara yapılarak devletin zarara uğratıldığı iddia edilmiştir.¹⁸

Çizelge 6. Yıllara göre üretim miktarları (ton)

	1991	1992	1993	1994	1995*	1996	1997
Sinter Manyezit	89.000	89.000	106.000	129.000	135.733	118.306	107.884
Tuğla	16.000	15.000	16.000	17.000	18.941	20.236	24.867
Harç	18.000	20.000	28.000	29.000	41.303	33.315	33.818

*28.09.1995 tarihinde özelleştirilmiştir.

3.7.1996 tarihinde TBMM Başkanlığına verilen ve altında devletin madencilikle ilgili en üst düzeyde görevlerinde bulunmuş Emin KARA, M.Cevdet SELVİ, Hikmet ULUĞBAY, Nami ÇAĞAN, Fevzi AYTEKİN, A. Ziya AKTAŞ, Necati ALBAY, Ahmet PİRİŞTİNA, Mehmet Tahir KÖSE, Şükrü Sina GÜREL ve Mustafa YILMAZ gibi isimlerin iddialarına göre;

¹⁸ Avaroğlu N, Madencilik Sektörü ve Özelleştirme Raporu, KESK ESM, Yayınlanmamış Rapor, 2002, Sayfa 4

“5.9.1995 tarihinde yapılan ihaleyi ESBANK'ın sahip olduğu Zeytinoğlu Grubu aldı ve KÜMAŞ 108 milyon dolara bu gruba satıldı. İhale şartnamesine göre, ihale bedelinin yarısı peşin diğer yarısı ise bir yıl sonra ödenecekti. Özelleştirildiği günlerde, KÜMAŞ'ın kamu bankalarında yaklaşık 40 milyon dolara yakın nakit parası vardı. Bu para, ihale bedelinin peşinatı olan 54 milyon doların Özelleştirme İdaresine ödeneceği, 28.9.1995'ten bir gün önce; yani, 27.9.1995 tarihinde KÜMAŞ Genel Müdürü Burhanettin Özdemir'in emriyle kamu bankalarından çekilerek, KÜMAŞ'ın yeni sahibi Zeytinoğlu Grubuna ait ESBANK'a yatırılıyor. Ertesi gün, ihale bedelinin ilk taksiti (54 milyon) dolar Zeytinoğlu Grubu tarafından Özelleştirme İdaresine ödeniyor. Burada açıkça görülüyor ki, KÜMAŞ devlet parasıyla özelleştirilmiştir. Bu şekilde, hem devlet zarara uğratılmış hem de açıkça bir görev suistimali gerçekleştirilmiştir.” Denilmiştir.

KÜMAŞ'da, özelleştirme öncesi 1994 yılında 129.162 ton sinter manyezit, 16.915 ton tuğla ve 29.298 ton harç üretilmiştir. Özelleştirmeden 7 yıl sonra 2001 yılında ise sadece tuğla üretimi bir artışla 34.326 ton seviyesine yükselirken, sinter manyezit üretimi %5,5'lik artışla 136.495 ton ve harç üretimi ise %33'lük düşüşle 19.498 ton olmuştur. Özelleştirme tarihinde 425 olan çalışan sayısı ise, 2001 yılında 313 kişiye gerilemiştir. Özelleştirmeden sonra 2001 yılına kadar olan yatırım harcamaları, toplam 13,2 milyon ABD Doları olmuştur. Bu tutar, toplam satın alma bedelinin sadece %12'sidir.¹⁹

2.13 Konya Krom Manyezit Tuğla Sanayi AŞ

Türkiye'de bazik karakterli mamul üretimi yapan Kurumun kuruluş çalışmalarına 1961 yılında başlanmış ve tesisler 20.10.1965 tarihinde bir Japon firmasına ihale edilerek 10.06.1968 tarihinde deneme üretimine başlamıştır. Kuruluş kapasitesi 15.000 ton/yıl tuğla ve 1.500 ton/yıl harç olmak üzere 16.500 ton/yıl'dır. 1972 yılından başlayıp 1975'te tamamlanan tevsi projesi ile kapasite 33.000 ton/yıl'a, II. tevzi projesi ile de 34.000 ton/yıl tuğla ve 9.000 ton/yıl harç olmak üzere toplam 43.000 ton/yıl'a çıkarılmıştır. 1986 yılında ise 37.680 ton/yıl tuğla ve 12.320 ton/yıl harç olmak üzere 50.000 ton/yıl kapasiteye ulaşmıştır.

Şirket, 1997 faaliyet dönemini 754.562 milyon lira faaliyet kârı, dönemi ise 508.032 milyon lira dönem kârı ile kapatmıştır. 1997 yılında şirketin alıcı fiyatlarıyla GSMH'ya katkısı 1.756.108 milyon TL.'dir. Özelleştirme İdaresi Başkanlığı yurt içi ve dışındaki çeşitli yayın organları ile bağlı ortaklıkların satışı için duyuru yapmış ve 25.04.1996 tarihindeki teklif değerlendirmelerinde fabrikaya en yüksek fiyat 47.850.000 USD olarak verilmiştir. Ancak alıcı firma fabrikayı almaktan vazgeçtiği için satış yapılamamıştır. 1996 yılında fabrikanın satışı için yeniden ihale yapılmış, 02.12.1996 tarihindeki ihalede yalnız bir firma tarafından 40.700.000 USD verilmiş, ancak satış için Özelleştirme Yüksek Kurulu'nun onayı çıkmamıştır.

Bu işlemlerin üzerinden bir yıl geçtikten sonra 24.02.1998 tarihinde 3. ihaleye çıkılmış ve Özelleştirme Yüksek Kurulu'nun 21.04.1998 tarih ve 98/35 sayılı kararı ile 40.700.000 USD bedelle satılması onaylanmıştır. Hisse satış sözleşmesine göre, satış bedelinin 10.175.000 US dolar peşin, % 75'lik kısmı 30.525.000 US dolar üç eşit taksitte % 10 faizleriyle birlikte ödenmesi planlanmıştır.

¹⁹ Tamzok N, Türkiye Madencilik Sektöründe Yapısal Dönüşüm ve Sonuçları, TMMOB Mad. Müh. Odası, Türkiye 19. Uluslar arası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET 2005, İzmir, Sayfa 13

Çizelge 7. Konya Krom Manyezit'e ait yatırım harcamaları.

Milyar TL	1997	1998*	1999	2000	2001	2002
Net Satışlar	3.378	4.768	6.070	9.840	21.650	26.043
Kar-Zarar	277	-1.727	-6.173	-6.023	-9.400	-3.032

*Konya Krom Manyezit Tuğla Sanayi AŞ 05.06.1998 tarihinde özelleştirilmiştir.²⁰

Yukarıdaki tablodan da görüleceği gibi özelleştirilme yapılmadan önceki dönemlerde kâr eden bir kuruluştur. Özelleştirilmesinin ardından geçen 4 yıl boyunca net satışlar birbirini katlayarak artmasına rağmen, bu dört yıl boyunca kurum hiç kâr etmemiştir.

Çizelge 8. Konya Krom Manyezit'e ait çalışan sayıları.

	1988	1989	1990	1991	1992	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Personel	881	885	844	757	717	196	135	132	154	386	451

Özelleştirme kapsamına alınmadan önce 700-800 arasında çalışanı olan kuruluş, özelleştirme işleminin gerçekleştirildiği 1998 yılından sonra yüzlerle ifade edilen personelle çalışmıştır. Ancak kurumu alan firma 2000'li yılların başında 1,1 milyon USD bir yatırım yapmış ve bunun sonucunda, Kurum gerek çalışan açısından gerekse üretim ve satışlar açısından bir атаğa kalkmışsa da halen faaliyet dönemlerini zararlı kapatmaktadır.

2.14 Bozüyük Seramik Sanayi ve Ticaret AŞ

Bozüyük Seramik Fabrikası, 1966 tarihinde Porselen ve Çini Fabrikaları Ltd. Şti. olarak hizmete açılmıştır. Tamamı kamuya ait Bozüyük Seramik Sanayi ve Ticaret AŞ, 1.10.1997 tarihinde 12 milyon ABD Doları bedelle satılmıştır.²¹

Özelleştirme İdaresi Başkanlığı'nın verilerine göre; işletmede özelleştirme öncesi karo fayans üretimi 2,3 milyon m² ve seramik üretimi ise 1,4 milyon m² seviyesindedir. Özelleştirme sonrasında ise, karo fayans üretimi 324 bin m²'ye düşmüş, daha sonra ise fayans üretimi tamamen durdurulmuştur. Seramik üretimi ise, 2002 yılına kadar olan özelleştirme sonrası beş yıllık dönemde 746 bin m² ile 977 bin m² arasında değişmiştir. Özelleştirme öncesinde gerek fayans gerekse seramik üretimi tam kapasitede yürütülürken, özelleştirme sonrası fayans üretiminden tamamen vazgeçilmiş, seramik üretimi ise %50-70 aralığında sürdürülebilmektedir.²²

Çizelge 9. Bozüyük Seramik'e ait çalışan sayıları.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Personel	360	212	176	111	114	118

Özelleştirme işlemi yaşandıktan sonra gerçekleşen üretim düşüşlerine paralel olarak şirket personel indirimine de gitmiş ve özelleştirme tarihinde 360 olan çalışan sayısı 2000 yılında % 69 azalarak 111 çalışana düşmüştür.

²⁰ www.oib.gov.tr

²¹ www.oib.gov.tr

²² Tanzok N, Türkiye Madencilik Sektöründe Yapısal Dönüşüm ve Sonuçları, TMMOB Mad. Müh. Odası, Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET 2005, İzmir, Sayfa 17

Çizelge 10. Bozüyük Seramik'e ait yatırım harcamaları.

Milyar TL	1997	1998*	1999	2000	2001
Net Satışlar	1.299	481	1.570	1.454	2.507
Kar-Zarar	-954	121	77	-315	374

*Bozüyük Seramik Sanayi ve Ticaret AŞ 01.10.1997 tarihinde özelleştirilmiştir.²³

Özelleştirme sonrası, alan firmanın net karı ise; 1998'de 121 milyar TL, 1999'da 77 milyar TL, 2001 yılında ise 374 milyar TL olarak gerçekleşmiştir. Firma, 2000 yılında ise, söz konusu tesisten 315 milyar TL zarar etmiştir. Bozüyük Seramik Fabrikası'na özelleştirildikten itibaren 2002 yılı sonuna kadar olan 3 yılı aşkın bir dönemde yapılan yatırım ise sadece 150 milyar TL düzeyinde olmuştur.²⁴

2.15 Kömür İşletmeleri AŞ (KİAŞ)

400 Milyar TL. sermaye ile kömür cevheri aramak, bulmak ve işletmek amacı ile kurulmuş KİAŞ, aralarında birçok kamu kuruluşunun da bulunduğu birçok işletme tarafından, ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla oluşturulmuş bir kurumdur. Yıllardır TKİ'nin bir yan kuruluşu gibi çalışan bu kurumda ÖİB (% 10.00), Kütahya Şeker Fabrikaları (% 2.78), Konya Şeker Fabrikaları (% 2.60), Polat Madencilik (% 0.80), Şekerbank (% 5.00), Yeni Çeltik AŞ (% 3.50), TKİ Kurumu (% 38.00), Pancar Ekicileri Koop. (% 33.80) ve 31 Adet Şahıs-Kuruluş (% 3.52) oranında hisseye sahiptir.

Yıllardır Gediz ve Karaman'da kömür üreten bu kuruluş 27.6.2003 tarihinde özelleştirme kapsamına alınmıştır. ÖİB tarafından satış yöntemi ile özelleştirileceği bildirilen KİAŞ'ın günümüzde özelleştirmeye hazırlık çalışmaları devam etmektedir.

2.16 Yeni Çeltik Kömür ve Madencilik AŞ

Yine KİAŞ benzeri olarak çeşitli kamu kuruluşu tarafından oluşturulan Yeni Çeltik Kömür ve Madencilik AŞ, KİAŞ ile birlikte 27.6.2003 tarihinde özelleştirme kapsamına alınmıştır. Amasya ve Merzifon Belediyelerinin de ortak olduğu Yeni Çeltik'in satış yöntemi ile özelleştirileceği bildirilmiş ve özelleştirmeye hazırlık çalışmaları devam etmektedir.

2.17 Çimento Fabrikaları (ÇİTOSAN)

Temel girdileri madencilik ürünleri olan çimento sanayi, madencilik sektörüyle tam entegrasyon içinde faaliyet göstermektedir. Çimento sanayinin varlığı tümüyle uygun hammaddenin yerel bazda varlığına ve madencilik faaliyetleriyle üretimine bağlıdır. Bu bakımdan, Çimento sanayinin, madencilik sektörünün doğal bir uzantısı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bugün, ülkemizde, 39 adet entegre tesis ve 17 adet öğütme-paketleme tesisi olmak üzere toplam 56 çimento fabrikası faaliyet göstermektedir ve tesislerin tamamı özel sektöre aittir. Bu fabrikaların 29 adedi 1990'lı yıllara kadar kamu elinde iken, 1989-1998 yılları arasında yapılan özelleştirmeler sonucu, devlet, çimento sektöründen tamamen çekilmiştir.

Özelleştirilen 29 çimento fabrikasının yaklaşık satış bedeli 1 milyar USD olmuştur. Özelleştirme İdaresi Başkanlığı verilerine göre, söz konusu 29 çimento fabrikasından halka arz yöntemiyle özelleştirilen Adana, Bolu, Konya, Mardin ve Ünye Çimento Fabrikaları dışında kalan 24 fabrikanın özelleştirme öncesi 12 milyon ton olan toplam üretim kapasiteleri özelleştirme sonrası 18,5 milyon ton düzeyine yükselmiştir.²⁵

²³ www.oib.gov.tr

²⁵ Tamzok N, Türkiye Madencilik Sektöründe Yapısal Dönüşüm ve Sonuçları, TMMOB Mad. Müh. Odası, Türkiye 19. Uluslar arası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET 2005, İzmir, Sayfa 18

Bununla beraber, kapasite kullanım oranı % 75'den % 54'e düşmüş ve özelleştirme öncesi yıllık 9 milyon ton olan toplam üretim miktarı özelleştirme sonrasında sadece % 10'luk bir artışla 10 milyon ton düzeyine ulaşabilmıştır. Bu fabrikalardan yapılan ihracat ise, 249 bin ton'dan 194 bin ton düzeyine, özelleştirme sonrası dönemde üretim kapasitesi % 50'den fazla arttığı halde çalışan sayısı yarı yarıya azaltılmış ve 6.737'den 3.226'ya düşmüştür. Personel sayısındaki çarpıcı gerilemeye karşın, fabrikaların karlılık durumlarında bir geriye gidiş gözlenmektedir. Özelleştirme İdaresi Başkanlığı'nın verilerine göre, özelleştirme öncesi 24 çimento fabrikasından 6 adedi zararda görünürken, özelleştirme sonrası zararda olan fabrika sayısı 10 adede yükselmiştir.²⁵

Türkiye, dünya çimento üretiminde, çimento sektöründe özelleştirmelerin tamamlandığı yıl olan 1998 yılında 38,2 milyon ton ile 7. sıradayken, 2003 yılını yaklaşık 35,1 milyon ton üretimle, 3 basamak gerilemeyle, ancak 10. sırada tamamlayabilmıştır.

3 SONUÇ

Madencilik sektörü, ilk yatırım maliyetlerinin çok yüksek, sermaye yoğun, kar oranı yüksek, riski ve geri dönüş süreci uzun olan bir sektördür. Yer altı kaynaklarının, rezervlerinin sabit olması, yenilenemeyen kaynaklar olması nedeniyle bir çok ülkede devlet eliyle işletilmesi, devletin bu alanda söz sahibi olmasını ya da devletin uzun erimli madencilik politikaları belirlemesi yoluyla yapılmaktadır. Türkiye'de madencilik sektöründe KİT payının % 76,4 (2003 rakamları ile) olması bunun bir göstergesidir.

Neoliberal politikaların uygulanması doğrultusunda, devlet müdahalesinin ön planda olduğu ithal ikameci sanayileşme modelinin yerine ihracata yönelik sanayileşme modelinin geçirilmesi, ana gövdesi devlet mülkiyetinde olan (taş kömürü, bakır, bor üretimlerinin tamamını, linyit üretiminin % 75'ini) bu sektörü doğrudan etkilemiştir. Ancak ülke ekonomisi içerisindeki yeri ve önemi açısından diğer üretim yada hizmet alanlarından daha küçük yer tutmasından dolayı ülke gündeminde gerektiği gibi yer almamıştır.²⁶

24 Ocak kararları ile dağıtılması hedeflenen KİT'lerin yerine, ilk önce özel sektöre ait olan kurşun, çinko, antimon, manyezit, ocakları kapanmaya başlamıştır. Ülkemizde, 30'lu yıllarda uygulamaya sokulan kalkınma planları doğrultusunda gerçekleştirilen madencilik yatırımlarının toplam yatırımlar içindeki payı % 40 iken, 2000'li yıllara gelindiğinde bu rakam, uygulanan politikalara uygun olarak % 1.4'ün altına gerilemiştir.

Madenler, sanayiinin temel girdilerini sağlayacak, kaynak yaratacak ve üzerlerine yeni sanayi tesisleri kurulacak yeraltı zenginlikleridir. Oysa yıllardır madenler dış ödeme açığını kapatacak ihraç kalemi olarak değerlendirilmiştir. Madenlerin mümkün olan en uç ürüne kadar işlenmesi ve en yüksek katma değer ülke içinde kalacak biçimde değerlendirilmesi gerekirken, bu ilke göz ardı edilerek, uygulanan üretim-yatırım politikaları sonucunda madencilüğümüz yıllardır ihracata çalışan bir sektör konumuna getirilmiştir.

Uygulanan politikalar sonucunda, madencilik sektörü yatırımları hızla düşmüştür. Kamu yatırımlarından vazgeçilmiştir. Toplam sabit sermaye yatırımları içerisinde kamunun payı 1981 yılında % 4,5 iken 2004 yılında % 0,74 olmuştur. Artacağı varsayılan özel sektör yatırımlarında ise ciddi sayılabilecek bir artış olmamıştır. Kamu kesimindeki düşüşün özel kesime doldurulmaması uygulanan politikaların yanlışlığını açık olarak göstermektedir.

Madencilik sektörünün ülke ekonomisine katkısı hızla düşmüştür. Madencilik sektörünün Gayri Safi Milli Hasılaya katkısı % 1,1'in altına gerilemiştir. 1980'li yıllardan itibaren, "ekonomi yönetiminde kamusal mekanizmaların yerine piyasa mekanizmalarının konulması gerektiği, verimlilik ve refahın bu yolla sağlanacağı" şeklindeki politikaların Türkiye madencilik sektörüne yansımaları, özellikle 1990'lardan itibaren hız kazanmıştır. Öncelikle

²⁶ AYTEKİN A, Madencilik Sektörü ve Küreselleşme, TODAİE, Uzmanlık Tezi, Ankara, 2001, Sayfa 73

madencilik sektörünün "olmazsa olmaz" kuralı "planlama" düşüncesinden vazgeçilmiş, madencilik sektörünün ülke sanayi sektörleri ile entegrasyonu gözardı edilmiştir.²⁷

Bu süreçte, madencilik sektöründe öne çıkan söylem "kamu madencilik kuruluşlarının özelleştirilmesi" olmuş, bu amaçla söz konusu kuruluşlarda gerekli olan yatırımlar yapılmamıştır. Türkiye madencilik sektöründe mülkiyet ve yönetim değişikliklerini gerçekleştirmeye yönelik olarak çeşitli kamu kurumlarında sektörel bölünme, ticarileştirme, şirketleştirme ve özelleştirmeye yönelik uygulamalar birbirini izlemiştir.

Sektörün liberalizasyonuna yönelik tüm bu uygulamaların sonucunda, gerek maden aramaları gerekse üretimler büyük ölçüde sektöre uğratılmış, kamu madencilik kuruluşları tek tek elden çıkarılırken yerlerine hiç bir şey konulamamıştır. Kamu kurumlarının yerini dolduracağı öngörülen özel kesim, madencilik sektörüne özgü riskleri göze alamamış, sektöre yatırım yapmamıştır.

Dünya madencilik endüstrisinde konsolidasyon ve tekelleşme artarak sürmektedir. Giderek güçlenen şirketler ulus devlet üzerinde daha fazla baskı unsuru olabilmektedir. Türkiye’de ise tersine sektör parçalanarak küçültülmektedir. Küçültülmüş madencilik şirketlerinin söz konusu dev şirketlerle rekabet edebilmeleri mümkün değildir.²⁸

Madencilik, tarih boyunca uygarlıkları şekillendiren temel sektörlerden biri olmuştur. Özellikle, insanlığın gelişim sürecinin son iki yüz yılındaki baş döndürücü ilerlemede kömür ve demirin önemini yadsımak mümkün değildir. İçinde bulunduğumuz yüzyılda da, bor, toryum, metal madenleri ya da enerji hammaddeleri gibi yeraltı kaynaklarının insan yaşamının sürdürülebilmesi bakımından belirleyici olmaları muhtemeldir. Bu bakımdan, madencilik sektörü, dün olduğu gibi bugün de, uluslar için vazgeçilmez konumunu sürdürmek durumundadır.

Bu bakımdan, öncelikle, insanı ve insan emeğini merkeze koyan, bir yandan madencilik faaliyetlerinde kamunun etkin gözetim ve denetimini sağlarken, diğer taraftan söz konusu faaliyetlerin çevre ve ekosistemlerin korunmasını da gözeten, temel olarak ekonomik kalkınmaya ve yoksulluğun azaltılarak gelir dağılımının düzeltilmesi hedeflerine yönlendirilen bir "ulusal madencilik politikası"nın oluşturulması, toplumun yararı bakımından son derece büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- 1- Anonim, 2005. TMMOB 20. Yılında Türkiye’de Özelleştirme Gerçeği Sempozyumu, Madencilik Raporu, TMMOB Yayınları
- 2- Anonim, 2000. Maden Sen ve Madencilik Sektörü, Ankara, 2000
- 3- Arıoğlu E, Yılmaz A.O, 1997. 1983-1996 Döneminde Madencilik Sektörümüzün İstatistiksel Değerlendirilmesi, TMMOB Mad. Müh. Odası İst. Şubesi Yayını No 5, İstanbul
- 4- Avşaroğlu, N., 2002 Madencilik Sektörü ve Özelleştirme Raporu, KESK ESM, (Yayınlanmamış Rapor)
- 5- Avşaroğlu, N., 2004. "Potada Eriyen Demir Madenciliğimiz", TMMOB Met. Müh. Odası Bülteni
- 6- Aytakin, A., 2001. Madencilik Sektörü ve Küreselleşme, TODAİE, Uzmanlık Tezi, Ankara
- 7- Tamzok, N., 2003. Liberal Reformlar ve Devlet Sempozyumu, KİGEM, Ankara
- 8- Tamzok, N., 2005. Türkiye Madencilik Sektöründe Yapısal Dönüşüm ve Sonuçları, TMMOB Mad. Müh. Odası, Türkiye 19. Uluslar arası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET 2005 İzmir
- 9- www.oib.gov.tr
- 10- TKİ Genel Müdürlüğü, 2006 Yılı Faaliyet, Raporu
- 11- TKİ Genel Müdürlüğü, 2003 Yılı Faaliyet, Raporu
- 12- Enerji Politikalarında Kömürün Yeri, TKİ Raporu, 2003
- 13- TTK Genel Müdürlüğü Özet Tanıtım Bilgileri, 2006
- 14- TTK Genel Müdürlüğü Özet Tanıtım Bilgileri, 2005
- 15- TTK Genel Müdürlüğü Yeniden Yapılanma Programı, 2006
- 16- Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2003 Yılı Faaliyet Raporu
- 17- KBİ AŞ 2004 Yılı Faaliyetleri ile İlgili Özet Rapor
- 18- DPT Dokuzuncu Kalkınma Planı Madencilik Raporu Taslağı

²⁷ Tamzok N, Liberal Reformlar ve Devlet Sempozyumu, KİGEM, Ankara, 2003, Sayfa 12

²⁸ Tamzok N, Liberal Reformlar ve Devlet Sempozyumu, KİGEM, Ankara, 2003, Sayfa 12

Yeraltı Madenciligi
Underground Mining

GLİ Kalın Kömür Damarında Ayak Arkası Kayıplarını Belirleme Çalışmaları

Studies on Determination of Coal Remaining in Gob at GLI Thick Coal Seam

M. K. Özfırat, F. Şimşir

Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET Türkiye birçok bölgede kalın kömür damarlarına sahiptir. Kalın kömür damarlarında üretim taban ayak yöntemi, dilimli yöntem veya hidrolik madencilik ile yapılmaktadır. Taban ayak yöntemi üretim organizasyonun kolay olmasına karşın ayak arkasından kömür alınması esnasında oluşan kömür kayıpları ve seyrelme göz önüne alınması gereken önemli bir durumdur. TKİ kurumuna bağlı işletmelerden kalın damara sahip GLİ işletmesi derin sahalara sahip olması nedeniyle ülkemiz açısından önemli bir kömür sahasıdır. Şu anda işletilen kömür sahaları bittikten sonra üretime daha derin sahalarda devam edilmesi düşünülmektedir. Dolayısıyla mevcut sistemde çalışılan taban ayak yönteminde tavan kömürünün fazla kayıp olmadan kazanılması, ülkemizin yeraltı kaynaklarının iyi şekilde değerlendirilmesi açısından önemlidir. Bu nedenle çalışmada ayak arkasında kalan kömür miktarı belirlenmeye çalışılmıştır. Böylece uygulanan yöntemin verimliliği belirlenerek ileride üretimin yapılacağı derin sahalarda uygulanacak yöntemin belirlenmesi açısından faydalı olacaktır.

ABSTRACT Turkey has thick coal seams in many different regions. Coal production in thick coal seams is carried out by either longwall top coal caving (LTCC), multislice longwall (MSL), or hydraulic mining methods. Production organization of LTCC method is practical. However, coal loss which arises behind the face and dilution of coal with dead rock are important concepts to be considered. GLİ thick coal seam mine, which belongs to Turkish Coal Administration, is an important mining region for our country since coal there lies in even deeper zones. It is desired to go on production in deeper fields when current coal reserves are mined out. For this reason, in order to make good benefit of our underground sources, coal loss occurring in LTCC method should be decreased. This study is devoted to figure out the coal loss behind the face in GLİ coal mine. By this way, the efficiency of the current method can be found which would lead to better decision making for production in deeper-lying coal fields.

1 GİRİŞ

Kalın kömür damarlarına sahip madenlerde üretim organizasyonunun kolay olması nedeni ile ayak arkasından göçertmeli taban ayak yönteminin kullanımı yaygındır. Bu yöntemin en olumsuz tarafı kalın damarda ayak üzerinde kalan kömürü ayak içine alarak kazanırken kayıpların meydana

gelmesidir. Ayak arkası kömür kayıpları üzerine Tunçbilek 6 nolu sahada daha önce çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada da kayıp çalışmaları aynı çalışma yöntemi izlenerek mekanize ayak için yapılmıştır.

Şenkal vd. (1988) tarafından klasik yöntemle çalışan yeraltı madeninde yapılan bu çalışmada kömür kaybı oranı %24,3

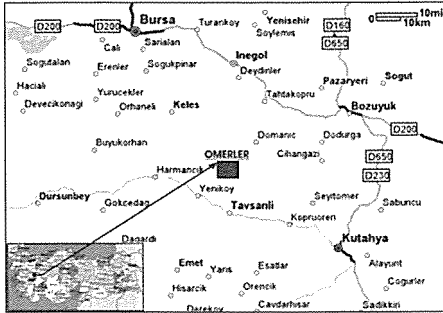
olarak bulunmuştur. Aynı çalışmada kömüre karışan yantaş miktarı da verilmiş ve yantaşın cevher hazırlama tesisine getirdiği ekstra maliyet vurgulanmıştır.

Bu çalışmada Tunçbilek Ömerler mekanize yeraltı ocağından farklı zamanlarda alınan numuneler DEÜ Maden Mühendisliği bölüm laboratuvarına getirilerek kül, yoğunluk, kızdırma kaybı analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda kömür kayıp miktarı % 16,64 bulunmuştur. Literatüre ve dünyada madencilğinde bu yöntemle çalışılan diğer bölgelere bakıldığında, bu oranın nispeten düşük olduğu görülmektedir.

2 ÇALIŞILAN BÖLGE BİLGİLERİ

2.1 Çalışılan Bölgenin Konumu

Kütahya-Tavşanlı arası 45 km., Tavşanlı ve Tunçbilek arası ise 15 km'dir. Yeraltı kömür işletmesi Ömerler'de olup, Tunçbilek'ten Ömerlerdeki madene ulaşımında kullanılabilecek stabilize yol mevcuttur.

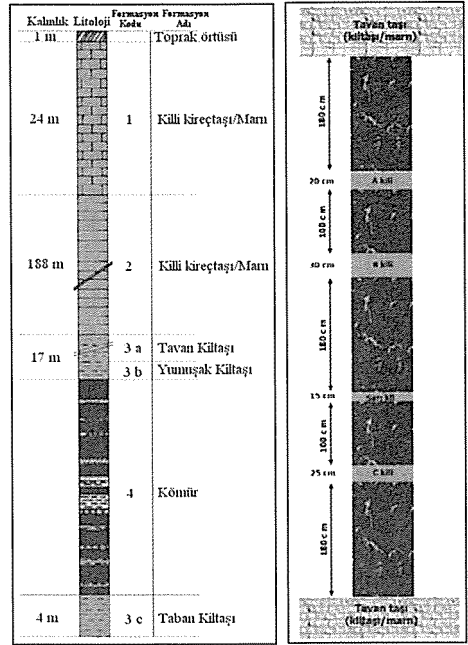


Şekil 1. Bölgenin konumu

2.2 Kömür Damarının Jeolojik Yapısı

Bölgede işletilmekte olan kömür damarı, genellikle orta sertlikte, siyah ve parlak linyit ihtiva eder. Damarın tavan ve taban kısımları daha temiz, orta kısımları ise daha karışıktır. Kömür damarının hemen üzerinde yer alan zayıf karakterli kiltası formasyonu "yumuşak kiltası" olarak adlandırılmıştır. İşletmede 30 ila 80 cm arasında değişen kalınlıklarda ana kömür damarının hemen üzerinde görülen siyahımsı koyu gri renkte olan bu formasyon 3b olarak tanımlanmıştır.

Yumuşak kil taşının hemen üzerinde yer alan marn formasyonu daha dayanımlı bir formasyon olup doğal nem içeriği bakımından da daha düşük neme sahiptir. "Tavan kiltası" olarak adlandırılan koyu gri renge sahip olan bu formasyonun tanım kodu 3a'dır. Ana kömür damarının altında bulunan "taban kiltası" diğer iki kiltası formasyonuna göre daha dayanımlıdır. Açık gri renge sahip olan bu formasyon 3c olarak tanımlanmıştır. Ana kömür damarı tanım kodu 4 olarak belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Kömür ve Kayaçlar (Çelik, 2005)

2.3 İşletmenin Üretim Şekli

Ömerler yeraltı ocağında işletilen kömür damarı, kalın kömür damarıdır. İşletme, kalın kömür damarı üretim yöntemlerinden olan taban ayak yöntemi ile çalışmaktadır.

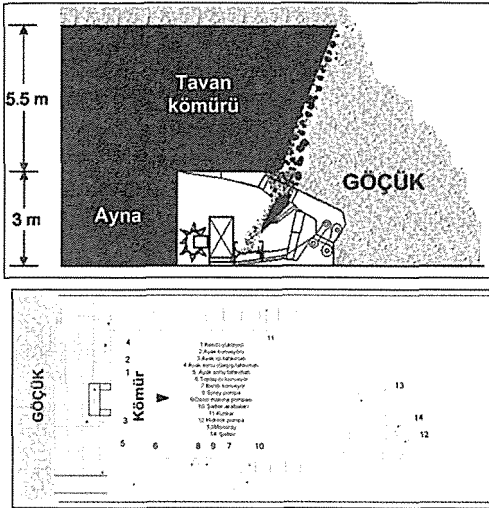
Bu yöntemde kömür damarının tabanında uzunayak ilerler ve üzerinde kalan kömür göçertilerek taban ayaktaki tahkimatın penceresinden alınır. Damarın kalınlığı tabakalanmaya bağlı olarak değişken olduğu için ortalama 8,5 m. dir. Bu 8,5 m'nin, 3 m'si kömür damarının tabanında çalışan uzunayak ile üretilirken üzerinde kalan 5,5

m'lik kömür göçer ve uzunayak tahkimatının penceresinden alınır.

Tavan kömürünün göçmediği durumlarda patlatılarak göçmesi sağlanır. Kömür ocağında uygulanan sisteme göre kesici makina iki kesim yapıp 1,20 m. ilerleme sağlandıktan sonra tahkimat aynaya ötelenip tavan kömürü pencereden çekilir.

Kalın kömür damarının tabanında üretimi çift tamburlu kesici-yükleyici sağlamaktadır. Üretilen kömür kesici-yükleyici tarafından zincirli konveyöre yüklenmekte ve uzunayağın tahkimat penceresi tip yürüyen tahkimat ile sağlanmaktadır (Destanoğlu, 2000).

Tahkimat bir taraftan tavan yükünü karşılarken diğer taraftan ayak arkası kömürün alınmasında da önemli rol oynar. Şekil 3'de işletmede çalışılan uzunayağın plan ve kesit görünüşü verilmektedir.



Şekil 3. İşletmede Ayak Kesiti ve Pano Şekli

2.4 Ayak Arkası Göçertmeli Yöntemin Dünyadaki Uygulamaları

Ayak arkasının göçertilerek üretimin gerçekleştirildiği taban ayak yöntemi kalın kömür damarlarına sahip olan Çin ve Avustralya'da da uygulanmaktadır.

Avustralya yeraltı kömür proje ekipleri göçertmeli uzunayak yöntemindeki gelişmenin önemli olduğunu ve Çin'de uygulamalarının giderek hızlandığını ve

yöntemin geliştiğini yaptıkları çalışmalarda belirtmektedirler (Xu, 1999).

Avusturalya ve Çin'de Türkiye'deki uygulamalardan farklı olarak pencere tip yürüyen tahkimat yerine ayak arkası konveyörlü tip tahkimatlar kullanılmaktadır. Tabandan yapılan üretim ayak konveyörü ile tavan kömürü kısmı ayak arkasındaki konveyör ile sağlanmaktadır (Özfirat vd, 2005).

Ayak arkası göçertmeli yöntem 5-9 m kalınlığa sahip kalın kömür damarlarında %75-80 kömür kazanma verimi ile çalışıldığına ekonomik olarak uygulanabilir bir yöntem olmaktadır (Hebblewhite vd, 2002).

Ayak arkası kayıpları ile ilgili olarak Çin'de yapılan çalışmalarda verilen rakamlar bulunmaktadır. Çin yeraltı kömür madenciliğinde günlük 15000 tondan 20000 ton'a kadar üretimle çalışan madenler 8 m ve üstü kalınlıktaki kömür damarlarında 3 m'lik kısmı damarın tabanında çalışarak %75 verimle yıllık 5 milyon ton kömür üretimi gerçekleştirmektedirler (Hebblewhite, 2005).

Çin'de yeni kurulan bir kömür madeninde ayak arkası göçertilerek yarı mekanize olarak çalışılmaktadır. Ayak uzunluğu 300 m olarak tasarlanmış ve yıllık en az 7 milyon ton üretim hedeflenmektedir.

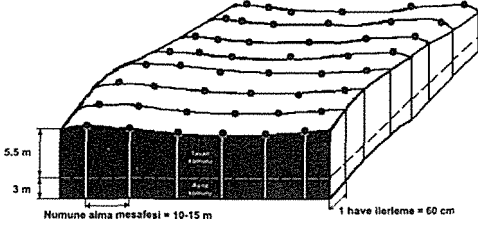
2.5 Kayıp Belirleme Çalışmaları

Kalın kömür damarı üretim yöntemlerinden çekme yönteminin (taban ayak yöntemi) en önemli olumsuzluğu tavan kömürünün göçertilerek tahkimat penceresinden alınırken kömür kayıplarının meydana gelmesidir.

Bu kayıpların belirlenmesi için üretimi bitmiş olan M4 panosundan ve daha sonra üretimi yapılmakta olan M5 panosundan farklı zamanlarda farklı ilerlemeler boyunca numuneler alınmıştır.

İşletmede ayakta üretim kesici-yükleyicinin bir kesiminde 60 cm (1 have) ilerlemesi ile sağlanmakta ve kesici-yükleyici iki kesim yaptıktan sonra, tavan kömürü tahkimatın penceresinden alınarak kalın damarın tümünün üretimi yapılmış olmaktadır.

Rezervin belirlenmesi için damar kalınlığını ve özelliğini saptamak amacı ile 8 have boyunca her havede, ayak boyunca 10-15 m aralıklarla ayna ve tavadan (arkadan) kömür numuneleri alınmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Numune Alma Temsili Şekli

Aynadan, ayağın tabanından tavanına kadar 30x3 cm kesitli oluk numuneleri alınmıştır (Şekil 5). Ayak içerisinde 10-15 m aralıklarla kesilen ayna yüksekliği ölçülmüş, taban ayakta kesit alınmış ve ortalama ayna yüksekliği 2,89 m olarak bulunmuştur. Ayrıca tavadan numune alınması sırasında da tavan kömürü kalınlık ortalaması 6,06 m olarak bulunmuştur (Çizelge 1). Tüm bu çalışmalar diğer dört seri çalışmada tekrarlanmıştır.

Çizelge 1. 1 No'lu çalışmada ayna ve tavan kömürü kalınlığı.

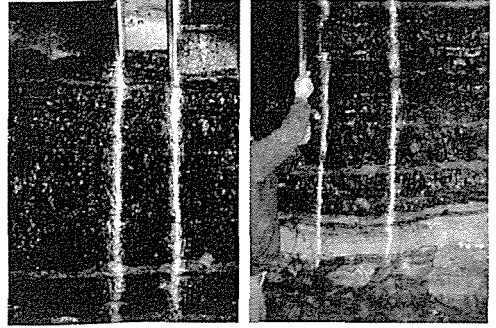
Tahkimat Sırası	Ayna Yüksekliği (m)	Tavan Kömürü Kalınlığı (m)
5-6	2,80	6,50
19-20	3,00	5,50
20-21	2,80	5,80
32-33	3,00	6,50
33-34	2,60	6,80
44-45	3,00	5,50
45-46	3,00	5,80
Ortalama:	2,89	6,06

Tavadan ise, aynanın alındığı yerden başlamak üzere ayağın tavanından, tavan taşına kadar helezonik burgularla delik delmek sureti ile numuneler alınmış ve tavan kömürünün kalınlığı farklı noktalarda tavana kadar ölçülen mesafelerin aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur.

Ocak çıkışındaki bantlı konveyörün döküldüğü nokta olan bant altı noktasından

bantlı konveyör (üretim) numunesi alınmıştır.

Bu numunelerin sırasıyla kül analiz sonuçları I, II, III, IV ve V. çalışmalar için sırasıyla %45,84 - %43,9 - %48,24 - %46,22 - %50,45 bulunmuştur.



Şekil 5. Numunelerin Ocaktan Alınması

İşletmede aynadan, tavadan ve banttan alınan kömür numuneleri kendi içlerinde birleştirilip dörtlendikten sonra 30-40 kg'a azaltılan ayna, tavan ve bantaltı numunesi DEÜ Maden Mühendisliği bölüm laboratuvarına getirilmiş ve bu numunelerin yoğunluk ve kül değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. 1 no'lu çalışmada bulunan kül ve yoğunluk değerleri.

Numunenin Alındığı Bölge	Kül Oranı (%)	Yoğunluk Değeri (gr/cm ³)
Ayna Kömürü	34,34	1,41
Tavan Kömürü	33,93	1,32
Banttand Alınan Kömür	45,84	-

Çizelge 2'de verilen sonuçlar I. çalışmada bulunan sonuçlardır. Diğer çalışma serilerinin sonuçları Çizelge 3'te ve içerisinde yer alan hesaplar kısmında bulunmaktadır.

Ayrıca tavan taşından numune alınmış ve kızdırma kaybına bakılmıştır. Tavan taşının(marn) kızdırma kaybı değerleri ise I., II, III, IV, V. çalışmalar için sırasıyla %20,75 - %20,75 - %19,85 - %19,85 - %20,18 olarak bulunmuştur.

Çizelge 3. Kömür kayıp hesaplamaları.

(I) Çalışılan Pano: M4 Çalışılan aralık:09-12/12/2003						
Ayak Uzunluğu (m)	İlerleme miktarı (m)	Kalınlık (m)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Rezerv (ton)	Kül (%)	
AK	86	4,8	2,89	1,41	1682,12	34,94
TK	93,2	4,8	6,06	1,32	3578,52	33,93
Toplam Rezerv =					5260,64	
Çalışma süresi: 4 gün (4,8 m)						
4 günlük tavan (arka) kömürü üretimi: 3715,88 t						
4 günlük ayna kömürü üretimi: 1682,12 t						
4 günlük toplam kömür üretimi: 5398 t						
Bantlı konveyör numunesi külü (üretim) = % 45,84						
Toplam Kül İçeriği formülünden						
$X_{TK} = \% 50,77$ bulunur. (tavan kül oranı üretim sonrası %33,93'ten %50,77'e çıkmıştır).						
$X_{TR} \cdot 33,93 + (1 - X_{TR}) \cdot 79,25 = 50,77$						
$X_{TR} = \% 62,84$ (Üretilen Tavan kömürünün %62,84'ü %33,93 küllü yerindeki tavan kömürüdür).						
Üretilen arka kömürü = $3715,88 \times 0,6284 = 2335,05$ t						
Arka kömüre karışan yantaş = $3715,88 - 2335,05 = 1380,83$ t						
Genel üretimdeki seyrelme = $(1380,83/5398) \times 100 = \%25,58$						
Tavan kömüründeki seyrelme						
$(1380,83/3578,52) \times 100 = \%38,59$						
Tavan kömüründeki üretim kaybı						
$= (3578,52 - 2335,05) / 3578,52 \times 100 = \%34,75$						
Toplam kömürdeki üretim kaybı						
$= (3578,52 - 2335,05) / 5260,64 \times 100 = \%23,64$						
(II) Çalışılan Pano: M4 Çalışılan aralık:17-20/05/2004						
AK	86	3,6	2,99	1,45	1342,27	35,52
TK	93,2	3,6	5,51	1,39	2569,71	34,14
Toplam Rezerv =					3911,98	
Çalışma süresi: 3 gün (3,6 m)						
3 günlük tavan (arka) kömürü üretimi: 3056,73 t						
3 günlük ayna kömürü üretimi: 1342,27 t						
3 günlük toplam kömür üretimi: 4399 t						
Bantlı konveyör külü (üretim) = % 43,90						
Toplam Kül İçeriği formülünden						
$X_{TK} = \% 47,58$ bulunur. (tavan kül oranı üretim sonrası % 34,14'ten % 47,58'e çıkmıştır).						
$X_{TR} \cdot 34,14 + (1 - X_{TR}) \cdot 79,25 = 47,58$						
$X_{TR} = \% 70,21$ (Üretilen Tavan kömürünün %70,21'i %34,14 küllü yerindeki tavan kömürüdür).						
Üretilen arka kömürü = $3056,73 \times 0,7021 = 2146,13$ t						
Arka kömüre karışan yantaş = $3056,73 - 2146,13 = 910,6$ t						
Genel üretimdeki seyrelme = $(910,6/4399) \times 100 = \%20,70$						
Tavan kömüründeki seyrelme = $(910,6/2569,71) = \%35,44$						
Tavan kömüründeki üretim kaybı						
$= (2569,71 - 2146,13) / 2569,71 = \%16,48$						
Toplam kömürdeki üretim kaybı						
$= (2569,71 - 2146,13) / 3911,98 \times 100 = \% 10,83$						
(III) Çalışılan Pano: M4 Çalışılan aralık:15-19/11/2004						
AK	86	6	2,9	1,42	2124,88	34,25
TK	93,2	6	5,2	1,48	4303,60	39,88
Toplam Rezerv =					6428,48	
Çalışma süresi: 5 gün (6 m)						
5 günlük tavan (arka) kömürü üretimi: 5085,4 t						
5 günlük ayna kömürü üretimi: 2124,88 t						
5 günlük toplam kömür üretimi: 7210,28 t						
Bantlı konveyör külü (üretim) = % 48,24						
Toplam Kül İçeriği formülünden						
$X_{TK} = \% 54,08$ bulunur. (tavan kül oranı üretim sonrası						

% 39,88'den % 54,08'e çıkmıştır).

$X_{TR} \cdot 39,88 + (1 - X_{TR}) \cdot 80,15 = 54,08$

$X_{TR} = \% 64,74$ (Üretilen Tavan kömürünün %64,74'ü %39,88 küllü yerindeki tavan kömürüdür).

Üretilen arka kömürü = $5085,4 \times 0,6474 = 3292,29$ t

Arka kömüre karışan yantaş = $5085,4 - 3292,29 = 1793,11$ t

Genel üretimdeki seyrelme

$= (1793,11/7210,28) \times 100 = \%24,87$

Tavan kömüründeki seyrelme

$= (1793,11/4303,60) = \% 41,67$

Tavan kömüründeki üretim kaybı

$= (4303,6 - 3292,29) / 4303,60 \times 100 = \% 23,49$

Toplam kömürdeki üretim kaybı

$= (4303,6 - 3292,29) / 6428,48 \times 100 = \% 15,73$

(IV) Çalışılan Pano: M4 Çalışılan aralık:26-30/09/2005						
AK	78	6	2,8	1,35	1769,04	33,17
TK	85,2	6	5,4	1,40	3864,67	37,12
Toplam Rezerv =					5633,71	

Çalışma süresi: 5 gün (6 m)

5 günlük tavan (arka) kömürü üretimi: 4450 t

5 günlük ayna kömürü üretimi: 1769,04 t

5 günlük toplam kömür üretimi: 6219,04 t

Bantlı konveyör külü (üretim) = % 46,22

Toplam Kül İçeriği formülünden

$X_{TK} = \% 51,41$ bulunur. (tavan kül oranı üretim sonrası % 37,12'den % 51,41'e çıkmıştır).

$X_{TR} \cdot 37,12 + (1 - X_{TR}) \cdot 80,15 = 51,41$

$X_{TR} = \% 66,79$ (Üretilen Tavan kömürünün %66,79'u %37,12 küllü yerindeki tavan kömürüdür).

Üretilen arka kömürü = $4450 \times 0,6679 = 2972,15$ t

Arka kömüre karışan yantaş = $4450 - 2972,15 = 1477,85$ t

Genel üretimdeki seyrelme

$= (1477,85/6219,04) \times 100 = \%23,76$

Tavan kömüründeki seyrelme

$= (1477,85/3864,67) \times 100 = \%38,24$

Tavan kömüründeki üretim kaybı

$= (3864,67 - 2972,15) / 3864,67 \times 100 = \% 23,09$

Toplam kömürdeki üretim kaybı

$= (3864,67 - 2972,15) / 5633,71 \times 100 = \% 15,84$

(V) Çalışılan Pano: M5 Çalışılan aralık:02-31/01/2006						
AK	78	24,88	3,00	1,42	8267,12	41,01
TK	85,2	24,88	5,50	1,36	16377,01	36,11
Toplam Rezerv =					24644,13	

Çalışma süresi: 30 gün (24,88 m)

30 günlük tavan (arka) kömürü üretimi: 20732,88 t

30 günlük ayna kömürü üretimi: 8267,12 t

30 günlük toplam kömür üretimi: 29000 t

Bantlı konveyör külü (üretim) = % 50,45

Toplam Kül İçeriği formülünden

$X_{TK} = \% 54,21$ bulunur. (tavan kül oranı üretim sonrası % 36,11'den % 54,21'e çıkmıştır).

$X_{TR} \cdot 36,11 + (1 - X_{TR}) \cdot 79,82 = 54,21$

$X_{TR} = \% 58,59$ (Üretilen Tavan kömürünün %58,59'u %36,11 küllü yerindeki tavan kömürüdür).

Üretilen arka kömürü = $20732,88 \times 0,5859 = 12147,39$ t

Arka kömüre karışan yantaş = $20732,88 - 12147,39 = 8585,49$ t

Genel üretimdeki seyrelme

$= (8585,49 / 29000) \times 100 = \%29,60$

Tavan kömüründeki seyrelme

$= (8585,49 / 16377,01) \times 100 = \%52,42$

Tavan kömüründeki üretim kaybı

$= (16377,01 - 12147,39) / 16377,01 \times 100 = \%25,83$

Toplam kömürdeki üretim kaybı

$= (16377,01 - 12147,39) / 24644,13 \times 100 = \% 17,16$

AK: Ayna kömürü, TK: Tavan kömürü,
 X_{TR} : Üretimden sonra tavan kömürü külü
 X_{TR} : Pencereden çekilen malzemede tavan kömürü oranı

3 SONUÇLAR

Ocakta yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlarda üretilen toplam kömürde ortalama %16,64'lük bir kayıp oranı bulunmuştur (Çizelge 4). Çalışmalara bakıldığında kayıplar ile birlikte seyrelme oranlarını da dikkate almak önemlidir. Kayıpları azaltmak için fazla miktarda malzemeyi pencereden çekmek kömürdeki seyrelme oranını arttıracaktır ki bu da istenen bir durum değildir. Bu nedenle tavan kömürünü çekme esnasında tahkimat operatörünün pencereyi açık tutma zamanını iyi belirlemesi ve üstteki malzemeyi optimum şekilde ayak içine alması yöntemin verimliliğini arttıracaktır.

Tablo 4. Seyrelme ve kayıp oranları.

Çalışma	Genel - Tavan Üretimi	Taşla Seyrelme (%)	Kömür Kaybı (%)
1	Toplam Damar	25,58	23,64
	Tavan Kömürü	38,59	34,75
2	Toplam Damar	20,70	10,83
	Tavan Kömürü	35,44	16,48
3	Toplam Damar	24,87	15,73
	Tavan Kömürü	41,67	23,49
4	Toplam Damar	23,76	15,84
	Tavan Kömürü	38,24	23,09
5	Toplam Damar	29,6	17,16
	Tavan Kömürü	52,42	25,83

Kömür damarının kil bantları içermesi tahkimat operatörünün üst kömürü tahkimat penceresinden kazanırken zorlanmasına sebep olabilir.

Avustralya ve Çin'deki uygulanan kalın kömür madenciliğinde taban ayak yöntemi oldukça fazla kullanılmaktadır. Uygulamalardaki farklılık üst kömürün kazanılmasında pencere tahkimat yerine ayak arkası konveyörlü tahkimat sistemlerinin kullanılmasıdır. Yapılan çalışmalarda verilen rakamlara bakıldığında ayak arkası konveyörlü sistemlerle yaptıkları üretimlerde %25 oranında genel üretim kaybı olduğu görülmektedir.

Ömerler madeninde kayıpların Çin ve Avustralya'ya göre düşük olması önemlidir. Yapılacak yeni yatırımlarla Ömerler mekanize madeninde yıllık üretim değerlerini arttırmak olasıdır. Aynı bölgedeki

derin sahalarda bulunan yeni rezervlerin üretiminde ayak arkası konveyörlü tahkimat sistemlerine geçilmesi durumu incelenmelidir.

Ocakta mekanize ayağın kuruluş aşamasında uygulanan üç ayna kesimi sonrasında tavan kömürünün çekilmesi yerine, iki kesim sonrasında tavan kömürünün çekildiği yöntem kayıpların azalması bakımından oldukça verimli olmuştur. Bu çalışma ritminin ve alternatiflerinin kömür kaybını nasıl etkileyeceği, mekanize panonun üretim çalışmalarının kesikli zaman benzetimi ve fiziksel modelinin kurulması ile tarafımızca laboratuvar ölçekte denenmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmanın yapılması esnasında hiçbir desteği esirgemeyen TKİ Tunçbilek Ömerler Mekanize yeraltı kömür madeni personeline teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Çelik, R., 2005. *GLİ Ömerler mekanize ocakta yürüten tahkimatin taşınmasının geliştirilmesi*, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Projesi, Eskişehir, s. 144.
- Destanoğlu, N. vd., 2000. *Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu GLİ Tunçbilek-Ömerler Yeraltı Mekanizasyon Uygulaması*, Ankara, 211 s.
- Hebblewhite, B.K., Simonis, A., Cai, Y., 2002. *Technology and feasibility of potential underground thick seam mining methods*. UNSW/CMTE ACARP Project C8009 final report UMRC 2/02, ISBN 0 7334 1945 3.
- Hebblewhite, B.K., 2005. *Status and prospects of underground thick coal seam mining methods*, International 19th mining congress and fair, June 9-12, İzmir, s.169-178.
- Özfirat, M.K., Şimşir, F., Gönen, A., 2005. *A brief comparison of longwall methods used at mining of thick coal seams*, International 19th mining congress and fair, June 9-12, İzmir, s.141-144.
- Şenkal, S., Köse, H., Ermişoğlu, N., 1988. *GLİ Tunçbilek Bölgesinde Uygulanmakta Olan Yeraltı Üretim Yönteminde Oluşan Kömür Kaybının ve Seyrelmesinin Etüd Edilmesi*, Madencilik, Aralık, Cilt XXVII, Sayı:4, s. 5-12.
- Xu, B., 2001. *The longwall top coal caving method for maximizing recovery at Dongtan mine*. 3rd international underground coal conference, UNSW, Sydney, Australia, 12-15 June, ISBN 0 7334 1812 0.

GLİ Ömerler Yeraltı Kömür Ocağında Tam Mekanize Uzunayak Teçhizatının Yeni Panoya Taşınması

Moving Procedures to new panel for Full Mechanized Longwall Equipment in GLI Ömerler Underground Coal Mine

H. Akdaş

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, MMF, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

R. Çelik

GLİ, Ömerler Yeraltı Ocağı, Tunçbilek / Kütahya

ÖZET Bu tebliğde, öncelikle, GLİ Ömerler Yeraltı Kömür Ocağında tam mekanize uzunayak teçhizatının yeni panoya taşınması işlemleri teknik anlamda açıklanmaktadır. Taşıma işlemleri, ön hazırlık faaliyetleri, teçhizatların söküm-çekim-taşınması ve yeni panoda montaj faaliyetleri olarak üç bölüm halinde incelenmiştir. Ayrıca, oldukça karmaşık yapılı bu teçhizatların taşınması sırasında karşılaşılan problemler incelenerek sebepleri ortaya konmaktadır. Mevcut yöntemde söküm-çekim işlemleri sulu ortamda ve zayıf tavan koşulları altında gerçekleştirilmektedir. Sonuç olarak, yukarıda kısaca değinilen sorunlar da dikkate alınarak, anılan ocakta ön hazırlık ve söküm-çekim işlemleri için yeni bir yöntemin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

ABSTRACT In this paper, firstly, the moving procedures of the full mechanized longwall equipment, in GLI Ömerler Underground Coal Mine, to a new panel are introduced. The moving procedures have been examined in three main steps, which are preparation activities, dismantling - withdrawal of the equipment, moving and mounting activities in the new panel. Also, technical problems encountered during the moving of such complicated equipment have been mentioned. The currently employed dismantling – withdrawal practice is being realized under poor roof conditions and in the presence of high water income, causing some technical problems. Finally, considering the problems briefly mentioned above, it is suggested that a new method for the preparation and a new dismantling – withdrawal should be employed.

1 GİRİŞ

Kömür üretiminde tam mekanize uzunayak teçhizatları kullanımının oldukça yararları olduğu gibi, uygulamada bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. Tam Mekanize sistemin kazı hızı üretim artışı, emniyet koşullarının iyileşmesi, randımanın artması, işçilik maliyetlerinin azalması gibi önemli temel faydaları işaret edilebilir. Fakat kazı makinesi, yürüyen tahkimat üniteleri nakliye üniteleri, güç üniteleri ve çok sayıda bağlantı donanımlarından oluşan karmaşık bir yapıya sahiptir. Tam Mekanize sistemi oluşturan donanımlarının birbirleriyle uyumlu

çalıştırılması üretimin sürekliliği açısından önemlidir. Ayrıca, oldukça maliyeti yüksek bir yatırım olan tam mekanize sistemin karmaşık yapıda olması sebebiyle arızaların ve duraksamaların meydana gelmesi de doğaldır. Arıza ve duraksamaların istatistiksel anlamda analizleri yapılabilmesi için sürekli kayıt altında tutulmasında fayda vardır.

Tam mekanize bir uzunayakta ekonomiklik açısından iki önemli noktanın daimi olarak göz önünde bulundurulması gerekir. Bunlardan birincisi tam mekanize sistemden üretim vardiyanları ve aşamalarında

yararlanma oranını yüksek tutmaya çalışmaktır. İkincisi ise, pano sonunda, tam mekanize sistemi oluşturan donanımların yeni panoya nakli için "söküm, çekim ve taşıma" süresinin mümkün olduğunca kısa tutulmasıdır (Eskikaya, 1979).

Tam mekanize ayaklarda arızalar ve duraksamalar dışında, zorunlu olarak üretimin uzun süre durdurulmasının bir nedeni de pano sonunda tüm donanımların sökülerek taşınması ve yeni panoda montajının yapılarak devreye alınmasıdır. Söküm-Çekim-Taşıma-Montaj (SÇTM) işlemlerinin belli bir plan ve düzen içinde yapılarak optimum bir süre içinde gerçekleştirilmesi gerekir. Çünkü SÇTM işlemlerinin üretim maliyetleri üzerine iki önemli etkisi bulunmaktadır. Birinci etkisi, SÇTM işlemleri başlı başına oldukça maliyeti yüksek operasyonlardır. İkinci etkisi ise SÇTM işlemleri süresi içinde üretim yapılamamasıdır.

Bu tebliğde, GLİ Ömerler Yeraltı Ocağında 1997 yılından beri çalışmakta olan tam mekanize uzunayak teçhizatının SÇTM işlemleri teknik anlamda açıklanmaktadır. İlave olarak dört defa yapılan SÇTM işlemleri esnasında yaşanan problemler analiz edilmektedir.

2 ÖMERLER YERALTI OCAĞI

Ömerler Yeraltı Ocağı, 1985 yılında üretime başlanmış olup, uygulanan yöntem klasik arkadan göçertmeli-geri dönümlü meyil yükselme yönünde uzunayak yöntemidir. Klasik uzunayaklarda hidrolik direk + çelik sarma tahkimat sistemi kullanılmaktadır.

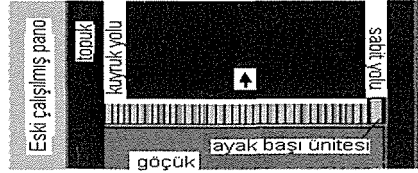
1997 yılından itibaren bir adet tam mekanize uzunayak devreye alınarak, 6 pano mekanize üretim için planlanmıştır. Bugüne kadar tam mekanize ayak 4 panoda üretimini tamamlayarak, beşinci panoda üretimine devam etmektedir (Şekil 1).

Tam mekanize panolarda damar kalınlığı 8-9 metre, ayak uzunlukları 90 metre, pano boyları 450-600 m arasında değişmektedir. Panolarda damar eğimi ise $8-10^0$ 'dir. Tam mekanize ayakta 8 metrelik kalınlığın taban taşından itibaren 2,8 metrelik kısmı çift tamburlu kesici yükleyici makine ile

kazılmakta, geriye kalan 5,2 metrelik kısmı ise tavan kömürü olarak adlandırılmakta olup, her bir yürüyen tahkimat ünitesinde bulunan pencerelerden akıtılarak üretilmektedir (Akdaş ve Reis, 2005).

Mekanize ayak teçhizatında toplam 61 adet ve farklı tiplerde yürüyen tahkimat ünitesi (YTÜ) bulunmaktadır. Ayaktan gelen üretimin nakledildiği yol (sabit yolu) üzerinde ilerleyen, yapısı çok farklı olan ayak başı (tip1) ünitesi bulunmaktadır. Bu ünite, bir adet olup, üç ana parçadan oluşmaktadır. Önemli görevleri arasında, zincirli oluk baş kısmı, tahrik üniteleri ve diğer yükleme üniteleri için geniş bir alanın emniyetli olarak tavan kontrolünü sağlamak sayılabilir.

Ayak başı ve ayak sonu tahkimatından sonra uzunayak giriş kısımlarına yerleştirilen geçiş tahkimatları toplam beş adettir. Ayak geçiş tahkimatlarının her biri 19 ton ağırlığında olup, üç tanesi kuyruk yolundan itibaren, diğer ikisi de sabit yolundan itibaren (ayak başı ünitesinden sonra) yerleştirilmektedir. Ayak içi tahkimatlarının sayısı 55 adet olup, bir ünitenin ağırlığı 16,2 tondur (Akdaş vd.2000, Destanoğlu vd.2000, Destanoğlu, 2006).



Şekil 1. Mekanize pano plan görünümü.

3 TAM MEKANİZE SİSTEMİN SÇTM İŞLEMLERİ

Ömerler Yeraltı Ocağında, mekanize panodaki ayak teçhizatlarının SÇTM işlemleri önceden ayrıntılı olarak hazırlanan SÇTM faaliyetleri, işçilik ve süreleri şeklinde planlanmaktadır. Çizelge 1'de tam mekanize sistemin SÇTM faaliyetleri ayrıntılarıyla verilmektedir.

Tam mekanize teçhizatın taşınması faaliyetlerini, genel olarak üç aşamada incelemek mümkündür. Bunlar, SÇTM faaliyetlerinden önce yapılması gerekli ön hazırlık faaliyetleri, ikinci aşamada ise teçhizatların sökülmesi, çekilmesi ve taşınması faaliyetleri, son aşamada ise yeni panoda yapılan faaliyetlerdir.

3.1 SÇTM Öncesi Yapılan Hazırlık Çalışmaları

3.1.1 Tavan kömürü almadan kazı yapılarak ilerleme

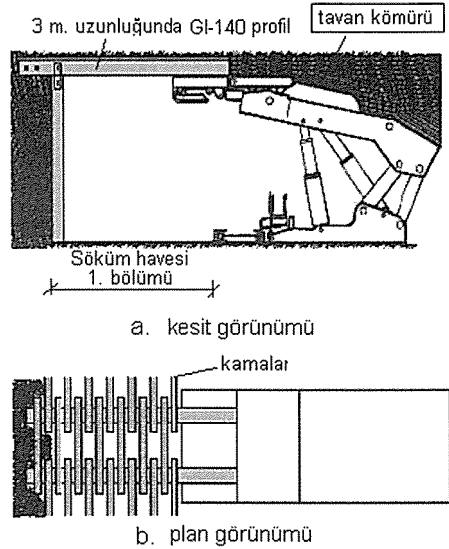
Ortalama 8 metrelik bir kalın damar üretimi söz konusu olduğundan, ayak arkasında tavan formasyonların düşey hareketi oldukça fazladır. Klasik kalınlıktaki üretim panolarında tavan tabakalarının düşey hareketleri daha sınırlıdır ve pano etrafındaki basınç dağılımlarının da etkisi daha azdır. Bu nedenle pano sınırına yatay olarak 20 metre mesafe kala tam mekanize sistem klasik kalınlıktaki gibi, sadece arın kazısı ile ilerletilmektedir, yani tavan kömürü alınmamaktadır. Vardiyada ortalama 1,8 metre ilerleme ile sürekli arın kazısı yapılarak ayak arkasında tavan tabakalarının oturtulması sağlanmaktadır. Bunun sebebi ise 20 metrelik arın kazısı sonunda ayak önünde açılacak olan sökülme havesi etrafında düşey basınç etkilerini minimum seviyelerde tutmaktır. Bu kazı sırasında, nakliyat ve malzeme yollarının ilgili kısımlarında da GI-140 çelik profillerle trapez tahkimat yapılmaktadır.

3.1.2 Söküm havesinin birinci bölümünün açılması

Pano sonunda 20 metre boyunca tavan kömürü almadan yapılan kazı işlemi tamamlandıktan sonra ayak ilerlemesi durdurularak, iki bölüm halinde sökülme havesi açılmaya başlanmaktadır. Söküm havesinin birinci bölümü, yürüyen tahkimat ünitelerinin (YTÜ) ve zincirli oluğun önünde, ayağın iki köşesinden başlanarak açılmaktadır. Dört kişiden oluşan iki işçi ekibi ile sökülme havesi birinci bölümünün kazısından elde edilen üretim, pasa makinesi ile ayak zincirli oluğuna yüklenmektedir. Bu

kazı sırasında 3 metre uzunluğa sahip GI-140 çelik profiller (çelik sarmalar) arına dik pozisyonda tavan kontrolü için kullanılmaktadır. Bu çelik sarmalarının bir ucu YTÜ'nin kayan sarmasının üzerine gelecek şekilde tutulmaktadır. Burada üç metrelik çelik sarma uzunluğunun yaklaşık bir metresi, YTÜ'nin kayan sarması ile desteklenecek şekilde yerleştirilmesine özen gösterilmektedir. Çelik sarmalarının arın tarafında kalan ucu ise aynı özellikli profilden bir direk ile desteklenerek pabuç ile bağlanmaktadır. Her YTÜ'ne aralarında 0,75 metre mesafe olacak şekilde iki adet çelik sarma yerleştirilmekte olup, çelik fırçalar ile kaynatılarak sabitlenmektedir. Tavana yerleştirilen çelik sarmalar arasından tavan kömürünün dökülmesini ya da akmasını önlemek amacıyla çelik hasır ya da ahşap kamalar kullanılmaktadır (Şekil 2 ve 3). Bir vardiyada dört adet tahkimat yapılmaktadır.

Söküm havesinin birinci bölümü tamamlandıktan sonra YTÜ'leri, arındaki çelik profilden oluşan direklere kadar ilerletilmektedir. Bu işlem sonucunda, tüm YTÜ'leri çelik sarmalarla kontrol altında tutulan tahkimatlı tavanın altına emniyetle girmesi sağlanır.



Şekil 2. Söküm havesi birinci bölümü ve çelik profillerin konumu.

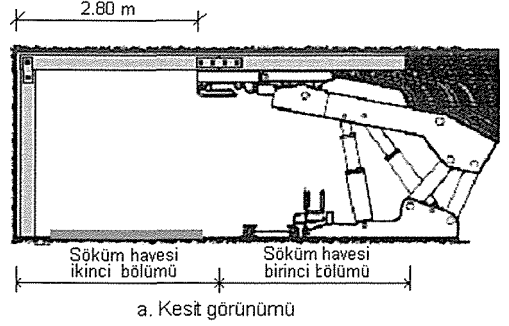


Şekil 3. Söküm havesinin birinci bölümünün açılmasından sonra uzunayağın görünümü.

3.1.3 Söküm havesinin ikinci bölümünün açılması

Söküm havesinin ikinci bölümünün kazısı, ayağın her iki köşesinden aynı kazı ekibi ile birinci bölümünkine benzer tarzda yapılmaktadır. Kazı ile birlikte GI-140 çelik profiller tavan sarması olarak birinci bölümdeki çelik tavan sarmalarının uç kısımlarından pabuçlarla bağlanmaktadır. Söküm havesinin birinci bölümündeki YTÜ'nin hemen önünde dikilen çelik profil direkler sırasıyla sökülüp, arının hemen önünde hazırlanan yeni yerlerine yerleştirilir ve yeni çelik sarmalar bu direklerle desteklenir. Bu işlem ile YTÜ'nin önü açık ve serbest hale getirilmektedir (Şekil 4 ve 5). Tavan kontrolünü sağlayan çelik profil sarmaların üzeri ve arındaki direklerin arkası çelik hasır yada kamalar ile takviye edilmektedir. Söküm havesinin ikinci bölümünün kazısından gelen üretim, pasa makinesi ile zincirli oluğa yüklenmektedir.

Son aşama olarak yürüyen tahkimat üniteleri arına 2.80 metre mesafeye kadar ilerletilip, söküm için son konumlarına hazır duruma getirilmektedir.



Şekil 4. Söküm havesi ikinci bölümü ve çelik sarmaların konumu.

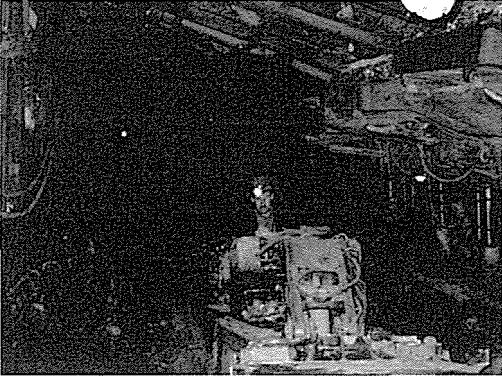


Şekil 5. Söküm havesi ikinci bölümünün açılması sırasında ayak içinden bir görünüm.

3.1.4 Diğer yapılan çalışmalar

Söküm havesinin ikinci bölümünün açılması ve YTÜ'nin son konumlarını almasını takiben, arın önündeki direklerin arasına en az bir metre derinliğinde çukurlar açılır. İki metre uzunluğa sahip iki adet GI-140 çelik profil bu çukurlara yerleştirilerek betonlanmaktadır. Üst tarafından da arındaki çelik direklere sabitlenmektedir. Bu çelik direkler YTÜ'nin söküm havesine çekilmesi için kullanılmaktadır.

Söküm havasının ikinci bölümünde taban temizliği ve tesviyesi yapılır (Şekil 6). Tesviyesi yapılan taban üzerine 50–60 cm aralıklarla ve 1,5 m uzunluklu traversler yerleştirilerek üzerleri kalaslanır. Bu esnada, ayak başına ya da sonuna (YTÜ'nin ayak içinden çıkarılış yönüne göre) vinç cebi açılarak vinç yerleştirilir. Ayak sonunda YTÜ'leri için yükleme platformu hazırlanır.



Şekil 6. Söküm havası ikinci bölümü ve taban tesviyesi çalışmaları.

3.2 Tam Mekanize Teçhizatın SÇTM İşlemleri

Ön hazırlık faaliyetlerinin tamamlanmasıyla birlikte, özet olarak aşağıdaki faaliyetler sırasıyla gerçekleştirilir;

- Çift tamburlu kesici-yükleyici makine sökülüp, ocak dışındaki atölyede kontrol ve bakıma alınır.
- Ayak içi ve tavan ya da taban yolundaki zincirli olukların sökülmesi ve kontrolden geçirilmesi yapılır. Arızasız olanlar yeni panoya, arızalı olanlar ise ocak dışına taşınmaktadır.
- YTÜ'nin basınçlı hortum bağlantıları birbirlerinden ayrılarak bağımsız hale getirilir.
- Ayak içine girişteki ana yol tahkimatı parçalara ayrılarak yeni panoya nakledilir ve montajı tamamlanır.
- Her bir YTÜ'si, arın önünde betonlanan çelik profillere bağlanarak ayak tabanına döşenen kalaslar üzerine sırayla ve birer birer çekilir. Ünite 90° döndürülür, vinç yardımıyla yükleme

platformuna çekilerek nakliye yolundaki trikoya yüklenir. Arızalı YTÜ'leri bakım için ocak dışındaki atölyeye, diğerleri ise yeni panoya nakledilir.

Üretimi tamamlanan panoda SÇTM faaliyetleri öncesinde yapılan hazırlık aşamaları sırasında, yeni panoda da montaj için hazırlık faaliyetleri yapılmaktadır. Bu faaliyetler olarak kulikar ve monorayın montajı, ayak içine YTÜ'nin yerleşimini sağlayacak hazırlık çalışmaları, indirme platformunu ve vinç yerinin yapılması, yeni pano yollarında toplayıcı konveyör, kırıcı ve nakliye bantlarının montajı gibi alt yapı çalışmalarıdır.

4 SÇTM İŞLEMLERİNDE YAŞANAN PROBLEMLER

Mekanize üretimin başladığı yıldan bu yana dört panonun üretimi tamamlanmıştır. Dolayısıyla 10 yıl içinde tam Mekanize sistem dört kere yeni panolara taşınması yapılmıştır. Yapılan planlamalara göre SÇTM esnasında istenmeyen aksaklıklarla ve gecikmelerle karşılaşmıştır (Çelik, 2005).

4.1 Zamana Bağlı Olarak Gelişen Problemler

Tam Mekanize panolarda, meyil yükselme yönünde geri dönümlü üretim metodu uygulanmaktadır. Ayak üretimi uzun süreli durdurulduğunda göçükte biriken su ayak içine kadar ulaşmaktadır. Ayak içine gelen su taban tabakasının gevşemesine yol açarak ayak teçhizatının, YTÜ'lerin duraylılığını bozmakta ve çalışma şartlarını zorlaştırmaktadır. YTÜ'leri, suyun etkisiyle gevşeyen taban tabakasına batmaktadır (Akdaş ve Reis, 2005, Çelik 2005). Arzu edilen tavan kontrolü sağlanamadığından tavan konverjansının etkisi ve şiddeti artmaktadır. Ayak içinde fazla gelişen tavan konverjansı nedeniyle GI-140 profillerde kalıcı deformasyonlar görülmektedir.

Pano üretiminin tamamlanmasından itibaren ayaktaki son tahkimatın çıkarılmasına kadar geçen süre altmış beş gündür. Ocakta edinilen deneyimlerden bu

süre içinde göçükte yangın başlama olasılığı oldukça yüksektir. Bu nedenle, çalışma ortamında yangın meydana gelmesi, hem mekanize sistem hem de iş ve işçi güvenliği açısından büyük risk oluşturmaktadır.

4.2 Söküm Havesi Açılması Sırasında Oluşan Problemler

İki bölüm halinde açılan söküm havesi ve yapılan tahkimat ile ilgili olarak oluşan problemler aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Söküm havesinde GI-140 çelik profillerden yapılan direk ve boyunduruklar, komşu konumdaki profiller ile birbirine kaynak ile bağlanmaktadır. Çalışma koşullarının zorluğu ve yoğunluğu nedeniyle, tahkimatların yapımında ve yerleştirilmesinde istenen ölçüler ve düzgünlük elde edilememektedir.
- Söküm havesi içinde tavan basıncının artması ile tavan kömürü kırılarak, parçalı ve akıcı hale gelmektedir. Bu durum, tavan koşullarının zayıflamasına ve yerçekimi etkisi ile profillerin aralarından tavan kömürünün boşalmasına neden olmaktadır. Zaman içinde tahkimatta bozulmalar, özellikle tavanı tutan profiller, kalıcı deformasyonlara maruz kalmaktadır. Sık sık tahkimat kontrolü, tamiri ve iyileştirilmesi gerekmektedir.
- Yoğun ve hızlı çalışmalardan kaynaklanan işçilik hataları sonucunda, iş ve işçi güvenliği riski artmaktadır.
- Söküm havesi açılmasıyla birlikte tahkimat bağları komşu bağlara kaynak ile tutturulmaktadır. Söküm havesi ya da ayak içinde, kaynak işleri sırasında çok yoğun hava kirliliği yaşanmaktadır.

4.3 YTÜ'lerinin Sökümü ve Çekimi Sırasında Oluşan Problemler

YTÜ'leri önceden planlanan sırası ile birer birer yerinden sökülerek ve çekilerek ayak dışına çıkarılmaktadır. Söküm ve çekim işlemi için tahkimat ünitesi öncelikle minimum seviyesine kadar indirilmekte sonra söküm havesine çekilerek ve 90°

döndürülüp, ayağa paralel konuma getirilmektedir. Ayak başındaki vinç ile tavan yoluna kadar çekilip, yükleme platformundan külikara (raylı nakliyat) yüklenmektedir. Her bir YTÜ için yapılan bu işlemler esnasında bazı problemlerle karşılaşmakta ve söküm – çekim süresi uzamaktadır. Bu problemler;

- Her bir YTÜ'nin alçaltılması ile birlikte parçalanmış tavan kömürünün ayak içine akması ve temizliğinin gerektirmesidir.
- Sulu ortamda YTÜ'nin çekilmesi esnasında, ortamda bulunan çamur ve şlam sürüklenmektedir. Sürüklenerek gelen çamur ve şlam, çekim yolları, yükleme platformu ve kulikar yollarında problemler yaratmaktadır.
- YTÜ'leri söküm havesi içinde tabana döşenmiş ve sabitlenmiş kalaslar üzerinden kaydırılarak çekilmektedir. Ortamdaki suyun etkisi ile tabana döşenen kalaslar gevşemektedir. Dolayısıyla tamir, tarama ve düzeltme gerektirmektedir.
- Gevşeyen taban nedeniyle ve YTÜ'lerinin kendi ağırlıklarının da etkisiyle, çekim sırasında tabana batmaktadır.
- Yine gevşeyen taban nedeniyle, YTÜ'si çektirme profilleri yerinden çıkmaktadır.

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Kalın damarlarda tam mekanize teçhizatın SÇTM işlemleri, damarın kendisinden olan tavan tabakası altında yapılması zorunluluğu vardır. Yani, kömür damarı olan tavan tabakası, yan kayaçlara göre daha gevrek ve kırılabilir bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, klasik kalınlıktaki damarlardaki gibi nispeten sağlam tavan koşulları altında değil, oldukça zayıf tavan koşulları altında SÇTM işleri yapılmaktadır. Ayak etrafında oluşan yüksek tavan basıncının etkisiyle zaman ilerledikçe tavan koşulları daha da kötüleşmektedir. Zayıf tavan koşulları altında teçhizatın SÇTM işlemlerini yerine getirilmesinde beklenmeyen problemler meydana gelerek,

çok sık tamir, tarama ve düzenleme işlerine gerek duyulmaktadır.

Zayıf tavan koşulları altında yapılan yoğun çalışmalar nedeniyle, iş ve işçi güvenliği açısından tehlikeli durumların oluşabileceği gözlenmiş ve daha da tehlikeli olabilecek durumlar olası görülmektedir. Ayrıca, fazla miktarda malzeme kullanımı ve yoğun işçilik gereksinimi ortaya çıkmaktadır.

Zayıf tavan koşullarına ilaveten ayak içine gelen su, taban tabakasının gevşemesine yol açarak, SÇTM işlemlerinin aşamalarında olumsuz sonuçlar yaratmaktadır. Çoğu problemlerinin ana kaynağı, ayak içine gelen su oluşturmaktadır. Bu sebeple, hem panoların üretimi hem de SÇTM işlemlerinin susuz ortamlarda yapılması için ileriye dönük olarak yeraltı su seviyesini düşürmek amacıyla sondajlar ile drenaj yapılmaktadır.

Bu belirtilen problemler nedeniyle SÇTM işlemleri, planlanan süre içinde yeni panoya transferi yapılamamakta, daha uzun sürmekte ve üretim maliyetleri artmaktadır.

Tam mekanize sistemin pahalı bir yatırım olması ve SÇTM işlemleri sırasında da üretimde kullanılmadığından en kısa süre içinde yeni panoya nakledilerek, üretim için devreye alınmalıdır. Bunun için yeni bir yöntem olarak, uzunayağa paralel konumda özel tahkimatlı ve uygun boyutlu bir sökülme galerisi açmak olabilir. Bu sökülme galerisi pano sonunda mekanize sistem gelmeden çok önce açılarak hazır hale getirilebilir. Dolayısıyla iki kademedeki açılan sökülme galerisi çalışmaları yapılmamış olacağından, çok önemli zaman tasarrufu elde etmek mümkündür. Mekanize sistem pano sonuna geldiğinde bekletilmeden doğrudan bu sökülme galerisine alınarak, daha kısa sürede yeni panoya transferi gerçekleştirilebilir. Ayak pano sonuna gelmeden önce açılacak bu sökülme galerisi üzerine mutlaka ayrıntılı proje yapılması ve planlandırılması gereklidir.

KAYNAKLAR

- Eskikaya, Ş., 1979. Tam mekanize ayaklarda yürüyen tahkimatın sökülme-çekim-taşıma işleri, *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı*, s.2/1-2/11, Ankara.
- Akdaş, H. ve Reis, K., 2005. GLİ Ömerler Yeraltı Ocağında tam mekanize sistemin uygulamasında karşılaşılan problemler, *IMCET 2005, Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı Bildiriler Kitabı*, s.163-175, İzmir.
- Akdaş, H., Destanoğlu, İ., N., Öğretmen, S. ve Yavuz, M., 2000. Ömerler mekanize ayakta yürüyen tahkimatlardaki basınçların izlenmesi ve incelenmesi, *V. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, s.122-133, İsparta.
- Çelik, R., 2005. GLİ Ömerler mekanize ayakta yürüyen tahkimatın taşınmasının geliştirilmesi, OGÜ, FBE, Doktora tezi, s. 22-36.
- Destanoğlu, İ., N., Taşkın, F., B., Taştepe, M. ve Öğretmen, S. 2000. GLİ, Tunçbilek-Ömerler Yeraltı Mekanizasyon Uygulaması, TKİ yayını, s.165, Ankara.
- Destanoğlu, İ., N., 2006. GLİ, Ömerler yeraltı mekanize ayak performans değerlendirilmesi, Türkiye 15. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, s.85-99, Zonguldak.

Çözelti Madenciliği Yeraltı Depolama Açıklıklarında Duraylılık Çözümlemeleri

Stability Analyses of Solution Mining Underground Storage Openings

A. Özarıslan, M. Geniş, M.E. Bilir

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

İ. Özkan

Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya

ÖZET Yeraltı açıklıkları, işlevleriyle uyumlu bir duraylılığı kendilerinden beklenen hizmet süreleri boyunca gösterebilmelidir. Çözelti madenciliği yöntemiyle oluşturulacak yeraltı açıklıkların tasarımı için, planlanan kullanım amacı (tuz üretimi, gaz ve petrol depolama vb.) ve işletme koşullarını göz önünde bulunduran, duraylılık çözümlemelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Tuz çözme açıklıklarının tasarımında göz önünde bulundurulması gereken en önemli parametreler; derinlik, birincil gerilmeler, açıklık geometrisi, içsel basınç koşulları, kaya tuzunun mekanik (dayanım, deformasyon ve reolojik) özellikleridir. Depolama amaçlı tuz çözme açıklıklarında içsel basınç, açıklığı çevreleyen kaya kütleğinde geçirgenliği artıracak olan yenilme ve çatlakların oluşmasını önleyecek değerlerde tutulması gerekmektedir. Ayrıca, kaya tuzunun zamana bağımlı sünme davranışı, tuz çözme açıklıklarının tasarımı ve işletme parametrelerinin belirlenmesinde, göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmada, modellenen petrol depolama amaçlı tuz çözme açıklıkları çevresinde farklı işletme koşullarında oluşacak dilatasyon ve yenilme bölgelerinin kestirimi için sayısal çözümlemeler yapılmıştır. Çözümlemeler için sonlu farklar FLAC^{2D} yazılımı kullanılmıştır.

ABSTRACT Underground openings should meet the stability requirements conforming with their function during their service life. The design of underground salt caverns requires the analysis of stability of cavern over the planned use (e.g. salt extraction, storage of gas and oil) and operating conditions. The most important parameters to be taken into consideration in the design of a salt cavern are; depth, in situ stresses, cavern geometry, internal pressure conditions, mechanical (strength, deformation and rheological) properties of rock salt. In salt caverns for storage purposes, the internal cavern pressure has to be set at a value such that failure and fracturing of the surrounding rock, which increases the permeability, can be avoided. Also, the time dependent creep behavior of rock salt must be given consideration when determining the design and operation parameters of salt caverns. In the study, numerical analyses has been performed for determination of dilation and failure zones occurring around modelled oil storage caverns with regard to different operating conditions. Finite difference FLAC^{2D} software has been used for the analyses.

1 GİRİŞ

Evaporitik tuz yataklarında (kaya tuzu vb.) çözelti madenciliği yöntemiyle oluşturulan yeraltı açıklıkları genel anlamda tuzun su ile

çözündürülmesi sonucunda yaratılan geniş hacimli açıklıklardır. Önceden sadece tuz üretme amacıyla yaratılan yeraltı açıklıklarından son yıllarda, çeşitli akışkan

hidrokarbonların (doğal gaz, ham petrol ve ürünleri vb.) depolanması uygulamalarında, artan bir şekilde yararlanılmaktadır (Thoms and Gehle, 2000; IGU, 2006). Bu yeraltı çözelti açıklıklarının oluşturulması, işletilmesi ve kapatılması aşamalarında duraylılık sorunları ile karşılaşılabilir. Yeraltı açıklıkları, işlevleriyle uyumlu bir duraylılığı kendilerinden beklenen hizmet süreleri boyunca gösterebilmelidir.

Uygun özelliklere sahip kaya tuzu yataklarında çözme yöntemiyle 500 bin m³ den daha fazla boşluk hacmi kapasitelerine sahip yeraltı açıklıkları yaratılabilmektedir. Genel olarak, kaya tuzu birimlerinin gaz ve sıvılara karşı geçirimsiz ve belirli sınırlar içerisinde ince çatlaklara karşı zamanla kendiliğinden iyileşme özelliklerine sahip oldukları kabul edilmektedir. Buna ilaveten, içsel akışkan basıncı etkisindeki uygun boyutlandırılmış yeraltı açıklıkları, yapay tahkimat olmaksızın, duraylılıklarını uzun süreler boyunca muhafaza edebilmektedir.

Depolama amaçlı tuz çözme açıklıklarının duraylılığının değerlendirilmesinde göz önünde bulundurulması gereken bazı önemli değişirgeler:

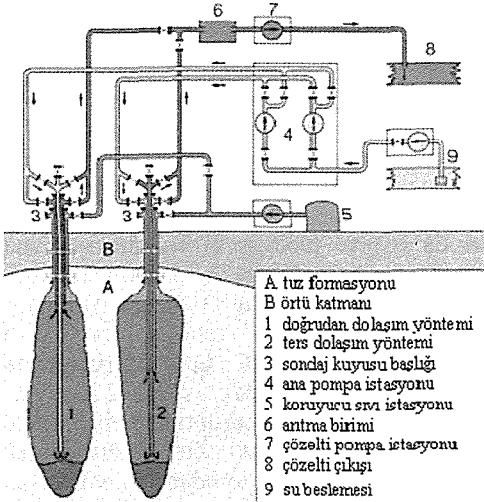
- Açıklığın konumu ve derinliği
- Depolama ortamında etkili olan birincil gerilmeler
- Açıklık geometrisi (şekil, yükseklik, genişlik, hacim)
- Kaya tuzunun mekanik özellikleri
- Kaya tuzunun zamana bağımlı sünme (creep) malzeme davranışı
- İçsel akışkan basıncı
- Yeraltı açıklıkları arasında olası etkileşimler ve güvenlik amacıyla bırakılan topuk genişlikleri
- Olası deprem etkileri vb.

2 DEPOLAMA AMAÇLI ÇÖZELTİ MADENCİLİĞİ AÇIKLIKLARI

Çözelti madenciliği yönteminin esası, yeraltına sondaj kuyusu içerisine yerleştirilen boru vasıtasıyla gönderilen tatlı suyun, evaporitik tuz yataklarındaki (kaya tuzu, trona vb.) katı tuz mineralleri ile temas etmesi sonucunda, tuzun çözündürülmesine

dayanmaktadır. Bu yöntem özellikle yeterli kalınlık ve yayılıma sahip kaya tuzu yataklarında yıllardır başarıyla uygulanmaktadır.

Yöntemde, muhafaza boruları ile korunan sondaj kuyusu içerisine, farklı çaplar ile değişken uzunluklara sahip, iç içe geçmiş ikili boru düzeneği indirilmektedir. Bir boru aracılığıyla tuzun çözündürülmesi için gerekli olan tatlı su beslemesi sağlanırken, diğer boru aracılığıyla da üretilen tuz çözeltisi yerüstüne çekilmektedir. Birbiriyle dengeli bir şekilde gerçekleştirilen tatlı su beslenme ile çözelti çekme işlemleri ile aşamalı olarak çözelti açıklığının boyutları ve şekli yönlendirilebilmektedir. Yöntemin doğrudan ve ters çözelti dolaşımı olmak üzere başlıca iki farklı teknolojik uygulama şekli vardır. Doğrudan çözme yönteminde, tatlı su, açıklık tabanına yakın bir konumda yer alan boru aracılığıyla beslenmekte ve tuz çözelti sıvısı, açıklık tavanına yakın iç ile dış boru arasında yer alan aralık aracılığıyla, yerüstüne iletilmektedir. Bu yöntem ile özellikle açıklık tabanına yakın kısımların daha hızlı genişlemesi sağlanmaktadır. Ters dolaşım yönteminde ise, tatlı su, iç ile dış boru arasındaki (açıklık tavanına yakın) bir aralıktan beslenmekte ve tuz çözelti sıvısı açıklık tabanına yakın bir konumda bulunan iç boru aracılığıyla yerüstüne iletilmektedir. Bu yöntem ile özellikle açıklık tavanına yakın kısımların daha hızlı genişlemesi sağlanmaktadır. Aynı çözelti kuyusu bünyesinde, istenen açıklık şeklinin kontrollü olarak oluşturulabilmesi için, iki yöntem farklı aralıklarla bir arada uygulanabilmektedir. Açıklık duvarlarında yer alabilen çözünmeyen ince kısımlar (kil, anhidrit vb.) ise açıklık tabanında çökelmektedir. Çözelti açıklığının tavanının kontrolsüz genişlemesini engellemek için de, muhafaza borusu ile dış boru arasında yer alan aralıktan beslenen, tuzlu çözeltiden daha hafif olan ve bunlarla tepkimeye girmeyen koruyucu sıvılar kullanılmaktadır (KBB 1988, Özarlan ve Gerçek 2002). Şekil 1'de yeraltı tuz çözme açıklıklarının oluşturulma yöntemleri ve yerüstü tesis birimleri şematik olarak verilmiştir.

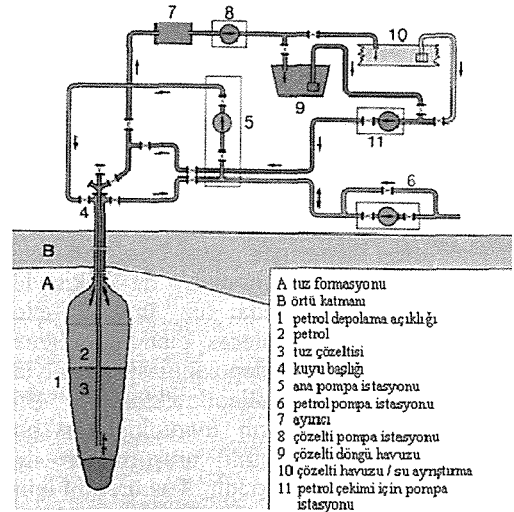


Şekil 1. Yeraltı tuz çözme açıklıklarının oluşturulma yöntemleri ve yerüstü tesis birimleri (KBB 1988).

Tuz çözme açıklıklarında doğal gaz depolama en yaygın uygulama alanını teşkil etmektedir (Thoms and Gehle 2000, IGU 2006). Çözelti açıklıklarının istenen boşluk hacmine ve şekline ulaşmasından sonra, tuz çözeltisi üretimine benzer olarak, açıklığa yüksek basınçlı doğal gaz beslenmekte ve çözelti sıvısı içteki boru aracılığıyla yerüstüne tahliye edilmektedir. Doğal gazın çözelti açıklığını tamamen doldurmasından sonra, sondaj kuyusu başındaki vanalar kapatılmakta ve depo, mevsimsel ve kısa süreli doğal gaz talep artışlarını karşılayabilecek şekilde, hazır halde denetim altında bekletilmektedir. Genelde doğal gaz depolama açıklıkları talebin az olduğu yaz aylarında doldurulmakta ve tüketimin fazla olduğu kış aylarında, geçici yüksek seviyeli talep artışlarını karşılamak üzere, tesisten gaz çekilmektedir. Yeraltı açıklığında bulunan gaz miktarlarındaki değişimlere bağlı olarak da çözelti açıklığı içerisinde etkili olan içsel gaz basıncı da değişkenlik göstermektedir (Özarıslan ve Gerçek 2002). Tuz çözme açıklıklarında doğal gaz depolama uygulamalarında pratik bir ölçüt olarak minimum gaz basıncının ortamda etkili olan düşey birincil gerilmenin %30 seviyesinde ve maksimum gaz basıncının %80-85

seviyelerinde tutulması yaygın bir tasarım parametresi olarak kullanılmaktadır (Özarıslan vd. 2006).

Çözelti madenciliği yöntemi ile tuz yataklarında oluşturulan geniş hacimli yeraltı açıklıkları ham petrol ve/veya rafine petrol ürünlerinin stratejik amaçlı depolanması için de kullanılabilir. Petrolün tuz çözme açıklıklarına doldurulması veya çekilmesi işlemleri çözeltinin bir döngü içinde yer değiştirmesi ile sağlanabilmektedir. Petrol ve tuz çözeltisinin farklı yoğunluklara sahip olması nedeniyle daha hafif olan petrol çözeltinin üstünde bulunmaktadır (Şek. 2).



Şekil 2. Yeraltı tuz çözme açıklıklarında işletilen bir petrol depolama tesisine ait birimler (KBB 1988).

Bu yöntemde çözeltinin açıklıktan alınması ve tekrar verilmesi işlemleri iç boru aracılığıyla gerçekleşmektedir. Açıklığa petrol ilave edilmesi durumunda yer değiştiren çözelti iç boru aracılığıyla çekilip yerüstüne döngü havuzuna aktarılmaktadır. Açıklıktan petrol çekilebilmesi için de yeraltına ilave çözelti verilmektedir. Açıklıkta çözelti miktarının artması ile yukarı yönde yer değiştiren petrol pompalar aracılığıyla yerüstü tesisinde boru hattına aktarılmaktadır (KBB 1988). Günümüzde ABD, Almanya, Fransa ve Rusya gibi ülkelerde çözelti madenciliği yöntemi ile tuz

yataklarında oluşturulan yeraltı açıklıklarında stratejik amaçlı petrol ve ürünlerinin depolanması uygulamaları gerçekleştirilmektedir.

Ülkemizde Tuz Gölü ve Tarsus Havzaları dışında Çankırı, Nevşehir-Gülşehir, Yozgat Yerköy-Sekili gibi bölgelerde önemli kaya tuzu yatakları oluşumları vardır. Tuz gölü Sultanhanı beldesi civarındaki çok kalın tuz domu şeklindeki kaya tuzu oluşumuna kıyasla Tarsus, Çankırı gibi bölgelerdeki kaya tuzu oluşumları daha ziyade tabakalı yapıya sahiptir. Tuz domlarından farklı olarak bu kaya tuzu yatakları genelde daha az kalınlığa sahip olup kaya tuzu dışında ince tabakalar şeklinde kaya birimleri (şeyl, kiltaş, anhidrit vb.) içerebilmektedir (Özarlan vd., 2006). Bu durum bu tür kaya yataklarında oluşturulacak depolama açıklıklarında duraylılık üzerinde etkisi bulunan derinlik, açıklık şekli, açıklık hacmi ve işletme basıncı gibi etkenleri sınırlandırabilmektedir (De Vries, 2006).

Gelecekte ülkemizde petrol boru hatlarına olan avantajlı konumunun da etkisiyle Tarsus-Mersin arasında tuz üretimi için işletilen ve/veya işletilecek olan tuz çözme açıklıklarının petrol depolanması amacıyla kullanılması düşünülebilmektedir. Bu durumda ise koşulların uygunluğunun bu amaca yönelik ayrıntılı araştırmalar ile kanıtlanması gerekmektedir. Tuz üretimi için kullanılan ve doğal gaz depolama olanakları da incelenen tuz yatağının temel özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Tarsus tuz yataklarının bazı özellikleri (Tozlu 2005).

Konum	Tarsus-Mersin arası
Depolama ortamı	Kaya tuzu yatağı (tabakalı)
Tuz alanı	15 km ²
Örtü kayaç kalınlığı	636-794 m
Tuz yatağı kalınlığı	210-320 m
Bir açıklığın fiziksel hacmi	350 bin m ³

3 DEPOLAMA AMAÇLI ÇÖZELTİ AÇIKLIKLARININ DURAYLILIĞI

3.1 Ortam ve İşletme Koşulları

Birincil gerilmelerin yeraltı açıklıklarının duraylılığı üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Çalışmada, kaya tuzu kütlesinde düşey birincil gerilmenin (P_v); derinlik (h) ve jeolojik birimlerin ortalama yoğunluklarına (ρ_{ort}) bağlı olarak yerçekimi etkisi (g) ile oluştuğu kabul edilmiştir ($P_v = \rho_{ort} \cdot h \cdot g$). Tuz yataklarında örtü katmanları ve kaya tuzu birimlerinin yoğunlukları genelde 2.1-2.5 gr/cm³ aralığında değişim göstermektedir. Örtü katmanı ve kaya tuzu bir bütün olarak değerlendirildiğinde ortalama yoğunluk 2.3 gr/cm³ olarak kabul edilebilmektedir. Kalın homojen ve derin tuz yataklarında, kaya tuzunun düktıl malzeme davranışının da etkisiyle, düşey birincil gerilmeler (P_v) ile yatay birincil gerilmelerin (P_{h1} , P_{h2}) genelde birbirine eşit olduğu kabul edilmektedir. Bu durumda ortamda hidrostatik gerilme durumunun etkili olduğu varsayılmaktadır ($P_v = P_{h1} = P_{h2}$).

Depolama açıklığında etkili olan içsel basınç (P_i), yerçekimi etkisi ile oluşan sıvı (çözelti, petrol vb.) basıncı ve kuyu başında uygulanan basınçtan oluşmaktadır.

$$P_i = P_{sıvı} + P_{kuyu} \quad (1)$$

Depo içerisinde etkili olan sıvı basıncı çözelti veya petrolün yoğunluğuna bağlıdır. Çözümlemeler için tuz çözelti yoğunluğunun 1.2 gr/cm³ ($\rho_{çözelti}$) ve petrol yoğunluğunun 0.8 gr/cm³ (ρ_{petrol}) alınması önerilmektedir. Petrol depolama uygulamalarında genelde 2.5-7.5 MPa aralığında değişim gösteren kuyu başı basıncı değerleri uygulanmaktadır (Dreyer 1984, Lux 1984).

Pratik bir işletme unsuru olarak doğal gaz depolama amaçlı yeraltı açıklığında etkili olan en büyük gaz işletme basıncının, depolama ortamında etkili olan düşey birincil gerilme değerinden daima düşük tutulması önerilmektedir (CEN 1998, TSE 2001). Yeraltı doğal gaz depolarında en büyük ve en küçük işletme içsel basınçları geniş bir aralıkta değişkenlik gösterebilmektedir. Deponun duraylılığı ve çevre kaya tuzu

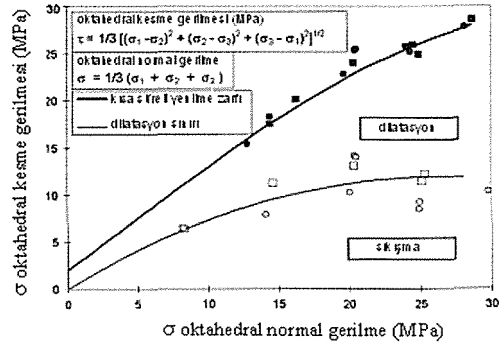
birimin geçirimsizlik özelliğini koruması en önemli tasarım kısıtlamalarıdır. Tasarım aşamasında sayısal çözümler kullanılarak, ön görülen işletme koşulları altında, uygun malzeme modelleri ile yeraltı açıklığı çevresinde oluşacak gerilmeler ve deformasyonlar tahmin edilerek kısa ve uzun süreli depo duraylıkları incelenmektedir.

3.2 Kaya Tuzu için Yenilme ve Dilatasyon Davranışı

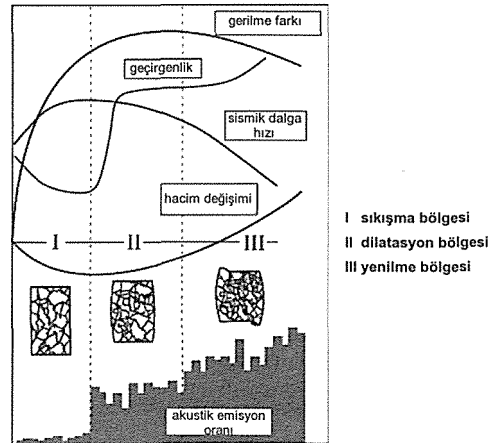
Kaya tuzu için yenilme, dilatasyon davranışı, hacimsel sıkışma ve iyileşme hakkındaki bilgiler tuz birimlerinde oluşturulan depoların (atık, gaz vb.) güvenlik analizleri için önemlidir. Kısa ve uzun süreli deneyler pratik olarak tüm kayalar için gerilmeler uzayında dilatasyon ve sıkışma arasında bir sınırın varlığını göstermektedir. Bu dilatasyon sınırı kaya tuzu için de geçerlidir. Dilatasyon davranışı ve sınırı laboratuvar ortamında bu amaca yönelik üç eksenli dayanım ve deformasyon deneyleri ile saptanabilmektedir (Christescu and Hunsche 1998, BGR 2005). Farklı gerilme durumlarının etkisindeki kaya tuzunda malzeme davranışı; dilatasyon bölgesi, sıkışma bölgesi ve yenilme sınırı şeklinde ayrılmaktadır. Bölgeler dilatasyon sınırı diye ifade edilen gerilmeye dayalı bir sınır ile ikiye ayrılmaktadır. Farklı araştırmacılar tarafından da benzer bulgular elde edilmiştir (Hunsche and Hampel 1999, Schulze et al. 2001, Lux et al. 2001, De Vries 2003). Kaya tuzu için deneysel çalışmalar ile tespit edilen dilatasyon ve yenilme sınırları oktahedral gerilmeler cinsinden Şekil 3’de verilmiştir.

Dilatasyon sınırı bir çizgiden ziyade bir band aralığıdır. Bu aralıkta hacim pratik olarak zamanla değişmemektedir. Dilatasyon sınırının altında sıkışma bölgesinde mevcut mikroçatlakların kapanmasıyla hacim zamanla azalmaktadır, bu sınırın üstünde dilatasyon bölgesinde hacim zamanla artmaktadır. Deneyimler dilatasyon bölgesinden yenilme sınırına yaklaşıldıkça, belirli bir zaman veya deformasyon sonrasında, sünme yenilmesinin oluşacağını göstermektedir. Bu durum kaya tuzunun geçirgenliğinde bir artışa yol açmaktadır.

Buna ilaveten ölçümler dilatasyon sınırının üstünde mikro akustik emisyon oranında dikkate değer artış olduğunu, sismik dalga hızlarında azalma olduğunu göstermektedir (Şek. 4). Dilatasyon sınırı olgusunun kaya tuzu için önemli bir uzun süreli güvenlik sınırı olduğu ifade edilmektedir. Mevcut bilgiler ışığında bu sınırın üstündeki gerilme koşullarında sünme yenilmesi ve artan geçirgenlik önlenememesine karşın bu sınırın altında bu durum oluşmamaktadır (Schulze et al. 2001).



Şekil 3. Oktahedral gerilmeler cinsinden kaya tuzu için dilatasyon ve yenilme bölgeleri (Schulze et al., 2001).



Şekil 4. Deformasyon sırasında kaya tuzunda bazı özelliklerde gözlenen değişimler (Schulze et al., 2001).

Son yıllarda tuz yataklarında işletilen doğal gaz depolarının verimliliğinin artırılması konusunda gerçekleştirilen araştırmalarda kaya tuzunda dilatasyon davranışı ve sınırının önemi vurgulanmaktadır (Lux et al. 2001, DeVries 2003, Wieczorek et al. 2005). Araştırmalardan düşük içsel basınç koşulları altında kaya tuzunda sınırlı süreler için bir miktar dilatasyon oluşumuna izin verilebileceği belirtilmektedir. Bu koşullar altında kaya tuzunda açıklık çevresinde oluşacak sınırlı miktarlardaki hasar (mikroçatlakların açılması), içsel basıncın yükseltilmesi ile oluşacak yüksek ortalama gerilme koşulları, deviatorik gerilmeler farkının azalması ve hidrostatik gerilme durumuna yaklaşılmasının etkisiyle, tekrar iyileşme göstereceği (mikroçatlakların kapanması) belirtilmektedir.

3.2.1 Kaya Tuzu İçin Yenilme Ölçütü

Açıklık duraylılığı üzerinde şekil etkisinin (açıklık şekli ve boyutları) ve içsel basınç etkisinin birlikte incelenebilmesi için kaya tuzunun malzeme davranışı elastoplastik kabul edilerek çözümlenmeler gerçekleştirilmiştir. Yenilme ölçütü olarak Drucker-Prager ölçütü kullanılmıştır. Bu ölçütün kaya tuzu için diğer yaygın bilinen yenilme ölçütlerinden (Mohr-Coulomb, Hoek-Brown vb.) özellikle üç eksenli gerilme durumu ve maksimum asal gerilme (σ_1) ile minimum asal gerilmenin (σ_3) yanında ortanca gerilmeyi (σ_2) de kullanması nedeniyle daha uygun olduğu belirtilmektedir (ITASCA 2005). Drucker-Prager yenilme ölçütünde, saptırıcı gerilme gereyinin (tansör) ikinci değişiminin (J_2) belirli bir limite ulaşması sonucu malzemenin yenileceği kabul edilmektedir. Geliştirilmiş von Mises olarak da açıklanan bu ölçüte göre kayanın yenilmesi ile ilgili bağıntı,

$$\sqrt{J_2} = A \cdot I_1 + B \quad (2)$$

şeklinde verilmektedir (Pariseau 2006). Burada; J_2 , saptırıcı gerilme gereyinin ikinci değişimi; A ve B ise malzeme dayanımına bağlı sabitlerdir. I_1 , gerilme gereyinin birinci değişimi olup,

$$I_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \quad (3)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. I_1 yerine ortalama normal gerilme σ_m de kullanılabilir.

$$\sigma_m = I_1/3 = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / 3 \quad (4)$$

Kayaya etkiyen gerilmelerin oluşturduğu J_2 değeri,

$$J_2 = [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] / 6 \quad (5)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

Yenilme ölçütünün üç eksenli basınç dayanımı deney verilerine uyarlanması durumunda ($\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$)

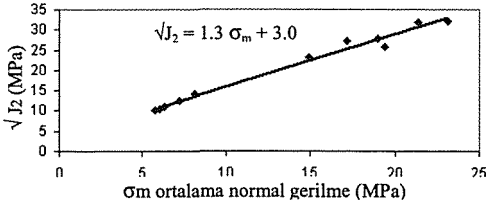
$$\sqrt{J_2} = (1/\sqrt{3})(\sigma_1 - \sigma_3) \quad (6)$$

şekline dönüşmektedir (Pariseau, 2006). Tek ve üç eksenli kaya mekaniği basınç dayanımı deney verilerinden yararlanılarak yenilme ölçütü için gerekli olan malzeme parametreleri hesaplanabilmektedir.

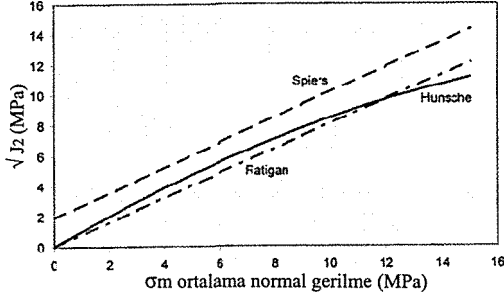
Zonguldak Karaelmas ile Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümleri ortak devam etmekte olan araştırmalar kapsamında Çankırı ve Nevşehir-Gülşehir kaya tuzu madenlerinden alınmış örnekler üzerinde kaya mekaniği deneyleri gerçekleştirmiştir (Özkan ve Düzyol 2004, Özkan vd. 2006). Çankırı kaya tuzu madeninden alınan örnekler üzerinde yapılan tek eksenli ve üç eksenli basınç dayanımı deney verilerinden faydalanılarak Drucker-Prager yenilme ölçütüne uygun dayanım zarfı ve malzeme parametreleri elde edilmiştir (Şek. 5). Bu veriler bir tabakalı kaya tuzu yatağı için örnek teşkil etmek üzere FLAC^{2D} programında elastoplastik çözümlenmelerde kullanılmıştır. Elde edilen yenilme zarfı FLAC^{2D} programında mevcut olan Drucker-Prager yenilme ölçütüne uyarlanmıştır.

3.2.2 Kaya Tuzu İçin Dilatasyon Ölçütü

Kaya tuzu için dilatasyon sınırının tahmin edilebilmesi için çeşitli araştırmacılar farklı bağıntılar önermişlerdir. Şekil 6'da kaya tuzu için önerilen çeşitli dilatasyon ölçütleri verilmiştir. Ölçüt saptırıcı (deviatorik) gerilme gereyinin ikinci değişimi $\sqrt{J_2}$ ve ortalama normal gerilme σ_m şeklinde verilmektedir ($\sigma_m = I_1/3$).



Şekil 5. Çankırı kaya tuzu için Drucker-Prager yenilme zarfı ve malzeme parametreleri.



Şekil 6. Çeşitli araştırmacılar tarafından kaya tuzu için önerilen dilatasyon ölçütleri (Wieczorek et al. 2005).

Kaya tuzu için dilatasyon olarak Spiers tarafından önerilen ölçüt kullanılmıştır (Eşitlik 7).

$$\sqrt{J_2} \geq 0.83 \sigma_m + 1.9 \quad (7)$$

3.3 Kaya Tuzu için Zamana Bağımlı Sünme Davranışı

Gerçekte kaya tuzu düşük gerilme seviyeleri dışında kırılığandan ziyade elastik ve doğrusal olmayan duktıl malzeme davranışı göstermektedir. Kaya tuzunda depolama amaçlı yeraltı açıklıklarının tasarım aşamasında, depo tesisinin uzun süreli duraylılığı ve işletme güvenliğinin değerlendirilebilmesi için, kaya tuzunun zamana bağlı viskoelastik ve/veya viskoplastik malzeme davranışı göz önünde bulundurulmalıdır. Kaya tuzu, ortam koşulları altında, etkili gerilmelere, sıcaklığa ve zamana bağlı doğrusal olmayan deformasyon davranışı göstermektedir. Sünme, genel anlamda katı malzemelerin sabit gerilme altında zamana bağlı olarak deformasyona uğraması şeklinde açıklan-

maktadır. Ortam koşullarının uygun olması durumunda (asal ikincil gerilmelerin farkı, sıcaklık vb.) yeraltı açıklığı çevresindeki kaya tuzu birimlerinde sünme davranışı başlamaktadır. Kaya tuzunun gerilmeler etkisinde gösterdiği zamana bağımlı sünme davranışı, başlıca üç aşamada incelenmektedir. Bu aşamalar birincil, ikincil ve üçüncül sünme olarak adlandırılmaktadır. Sünme hızının sabit bir değere yaklaşmasıyla ikincil aşama başlamaktadır. Bu aşamada birim deformasyon sertleşmesi ile yumuşaması dinamik denge halindedir ve sabit gerilme altında sünme hızının yaklaşık olarak sabit bir değer aldığı kabul edilmektedir. Kaya tuzları ile ilgili deneysel laboratuvar çalışmaları ve yeraltında gerçek ortam koşulları altındaki yerinde araştırma çalışmalarından faydalanılarak, sünme davranışı matematiksel bağıntılar ile açıklanmaya çalışılmaktadır. Bu kapsamda çalışmaların önemli bir kısmı uzun süreli aşamayı temsil eden, ikincil aşama üzerinde yoğunlaşmaktadır. Geliştirilen matematiksel bağıntılar ile ikincil sünme hızı ($\dot{\epsilon}_s$), genelde etkili gerilmeler farkı ($\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$), ortam sıcaklığı (T) ve malzeme parametrelerine bağlı olarak açıklanmaktadır (DGGT 1994, Hunsche und Schulze 1994, Berest and Brouard 1998, Özarslan ve Gerçek 2002, Özarslan 2002).

Kaya tuzu ortamında bir yeraltı açıklığı oluşturulduğunda nispeten homojen olan hidrostatik gerilme durumu açıklığın yakın çevresinde heterojen bir gerilme durumuna dönüşmektedir. Açıklık çevresinde genelde yüksek teğetsel gerilmeler ($\sigma_\theta = \sigma_1 = \sigma_{\max}$) ve daha düşük radyal gerilmeler ($\sigma_r = \sigma_3 = \sigma_{\min}$) oluşmaktadır. Teğetsel gerilmelerden radyal gerilmelerin çıkarılmasıyla açıklık çevresinde oluşan gerilmeler farkı (deviatorik gerilmeler) elde edilmektedir ($\Delta\sigma = \sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$).

Açıklık çevresinde oluşan ikincil gerilme dağılımı başlıca; açıklık şekli, etkili birincil gerilme durumu, etkili içsel basınç ve kaya malzeme davranışına (elastik, plastik, viskoz vb.) bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Kaya tuzunun gösterdiği viskoz sünme malzeme davranışına (viskoelastik, viskoplastik vb.) uygun olarak açıklık

çevresinde oluşan gerilmeler farkı ($\Delta\sigma=\sigma_d=\sigma_1-\sigma_3$) zamanla azalmaktadır (Wieczorek et al. 2005). Sünme davranışının etkisiyle oluşan zamana bağımlı deformasyon aynı zamanda açıklık kesitinde ve hacminde azalmalara yol açmaktadır.

Gerilmeler farkının kaya tuzu için belirlenen sınır koşulları aşması durumunda ise dilatasyon veya yenilme oluşabilmektedir. Çalışmada, elastoplastik çözümlerinde, kaya tuzunun zamana bağımlı sünme davranışı etkisi göz önünde bulundurulmamıştır.

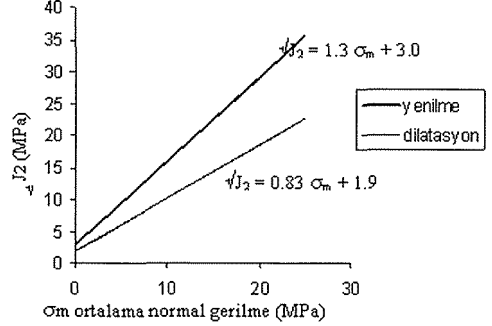
4 DURAYLILIK ÇÖZÜMLEMELERİ

Ortalama 600 m derinliğe sahip olduğu kabul edilen temsili petrol depolama ortamında kaya tuzu ile örtü katmanlarının ortalama yoğunlukları 2.3 gr/cm^3 alınmıştır. Bu derinliklerde, kaya tuzunun duktıl malzeme davranışı özelliğinin de göz önünde bulundurulmasıyla, hidrostatik birincil gerilme durumunun etkili olduğu kabul edilmiştir. Bu ortam koşulları altında etkili olan düşey birincil gerilme (P_v) 13.5 MPa olmaktadır. Çözümlerinde kaya tuzu için elastisite modülü (E) 31 GPa ve Poisson oranı (ν) 0.25 olarak kabul edilmiştir (ITASCA 2005).

Duraylılık çözümlerinde doğrusal Drucker-Prager yenilme zarfı için Çankırı kaya tuzu malzeme parametreleri kullanılmıştır. Dilatasyon ölçütü olarak da Spiers tarafından kaya tuzu için önerilen doğrusal dilatasyon ölçütünden yararlanılmıştır (Şek. 7). Çözümlerinde malzeme davranışı elastoplastik kabul edilerek kaya tuzunun zamana bağımlı viskoz sünme davranışı göz önünde bulundurulmamıştır. Gerçekte üç boyutlu olan açıklıklar idealleştirilerek iki boyutlu düzlem birim şekil değiştirme problemi olarak modellenmiştir.

600 m derinlikte bulunduğu varsayılan depolama açıklığında tuz çözeltisinden kaynaklı içsel basınç (P_i çözelti) yaklaşık 7.0 MPa olarak belirlenmiştir. Petrol depolandıktan sonra yerçekimi etkisi ile oluşan içsel basınç ($P_{i \text{ petrol}}$) ise 4.7 MPa olarak hesaplanmıştır. Çözümlerinde

incelenen işletme durumları Çizelge 2’de özetlenmiştir. Açıklık çevresinde oluşan dilatasyon ve yenilme bölgeleri içsel basıncın sıfır olduğu ($P_i=0$) durum ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 7. Çözümlerde kullanılan yenilme ve dilatasyon ölçütü.

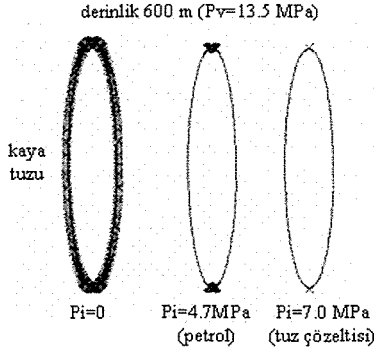
Çizelge 2. Birincil gerilme ve içsel basınç durumları.

Derinlik	P_v	P_i çözelti	P_i petrol
600 m	13.5 MPa	7.0 MPa	4.7 MPa

Çözümlerinde petrol depolama açıklıklarının genişlik/yükseklik (W/H) oranları 0.2 olan elips kesitli açıklık ve 3.0 olan kemer tavanlı açıklık olarak seçilmiştir. Sonlu farklar ağının oluşturulmasında Gerçek (1993, 1997) tarafından önerilen eşitliklerin tanımlandığı “fish” yazılımları kullanılmıştır (Geniş 2002). Kalın kaya tuzu oluşumlarının bulunduğu tuz domlarında tasarlanan depolarda açıklık genişliğinin yüksekliğe oranı genelde sınırlı kalmaktadır. Açıklık boyutları 300 m yükseklik ve 60 m genişlik ($W/H=0.2$) olabilmektedir. Tabakalı kaya tuzu yataklarında oluşturulan depoların geometrileri genişlikleri yüksekliklere göre genellikle daha fazladır. Çözümler ile varsayılan açıklık geometrileri ve işletme koşulları için petrol depolama amaçlı tuz çözme açıklıkları çevresinde oluşan dilatasyon ve yenilme bölgeleri incelenmiştir.

Farklı içsel basınç koşulları etkisindeki elips kesitli yeraltı petrol depolama açıklıkları çevresinde oluşan dilatasyon bölgeleri incelenmiştir. İçsel basıncın sıfır

olduğu açıklık çevresinde dilatasyon oluşmasına karşın, petrol veya tuz çözelti ile dolu bulunan açıklıkta sadece eğrilik yarıçapının küçük olduğu bölgelerde kaya tuzunda dilatasyon oluşmaktadır. Beklendiği üzere içsel basıncın 4.7 MPa'dan 7.0 MPa'a artması ile dilatasyon bölgesi azalmaktadır (Şekil 8).

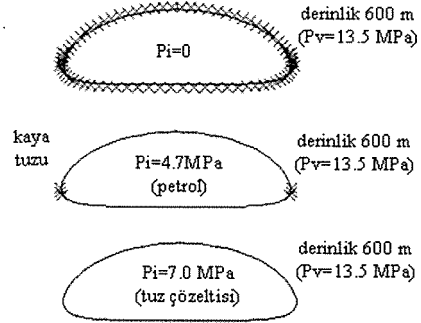


Şekil 8. Farklı içsel basınç koşullarında elips kesitli açıklık ($W/H=0.2$) çevresinde oluşan dilatasyon bölgesi.

Farklı içsel basınç koşulları etkisindeki kemer tavan kesitli yeraltı petrol depolama açıklıkları çevresinde oluşan dilatasyon bölgeleri incelenmiştir. Yine içsel basınç etkisi olmayan açıklık çevresinde dilatasyon oluşmasına karşın, petrol veya tuz çözelti ile dolu bulunan açıklıkta sadece eğrilik yarıçapının küçük olduğu bölgelerde kaya tuzunda dilatasyon oluşmaktadır. Açıklığın tavan ve tabanında eğrilik yarıçapının daha büyük olması nedeniyle dilatasyon tepe ve taban yerine köşe bölgelerinde oluşmaktadır. Bu açıklık kesitinde içsel basıncın 4.7 MPa'dan 7.0 MPa'a artması ile dilatasyon ve dolayısıyla kaya tuzunda geçirgenliği artmış bölge önlenmektedir. Bu durum petrol depolama uygulamasında işletme sırasında uygun bir kuyu başı basıncı ile sağlanabilmektedir (Şekil 9).

Çözümlemelerde kullanılan kaya tuzu malzeme parametreleri, ortam ve işletme koşulları altında ve Şekil 5'te verilen yenilme ölçütü kullanılarak incelenen durumlarda açıklık çevresinde yenilme bölgesi oluşmamıştır. Bu durum kısmen doğrusal olarak kabul edilen elastoplastik

malzeme davranışı ile kaya tuzunun gerçekçi olarak modellenmesinde oluşan sorunlardan kaynaklanmaktadır.



Şekil 9. Farklı içsel basınç koşullarında kemer tavanlı açıklık ($W/H=3.0$) çevresinde oluşan dilatasyon bölgesi.

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada, petrol depolama amaçlı tuz çözme açıklıkları çevresinde farklı işletme koşullarında oluşacak dilatasyon ve yenilme bölgelerinin kestirimi için sayısal çözümlemeler yapılmıştır. Çalışmadan, depolama açıklığı içerisinde etkili olan içsel basıncın açıklık çevresinde dilatasyon ve yenilme bölgesinin oluşumu ve büyüklüğü üzerinde önemli etkisi bulunduğu ortaya konmuştur. Kuyu başı basıncı uygun değerlerde tutularak işletme süresince depolama açıklıklarının duraylılığı güvenli olarak sağlanabilmektedir.

Kaya tuzunda depolama amaçlı yeraltı açıklıklarının tasarım aşamasında, depo tesisinin uzun süreli duraylılığı ve işletme güvenliğinin değerlendirilebilmesi için, kaya tuzunun zamana bağlı viskoelastik ve/veya viskoplastik malzeme davranışını göz önünde bulunduran gelişmiş sayısal çözümleme yöntemleri ve sünme malzeme modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yine kaya tuzu için dilatasyon davranışının gerçekçi olarak incelenebilmesi için, özellikle yüksek ortalama normal gerilme (σ_m) koşulları altında, doğrusal olmayan ölçütlerin kullanılması önerilmektedir. Buna karşın, elastik ve elastoplastik çözümlemeler bu tür depoların ön tasarımı için önemli bilgiler sağlayabilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 104M132 nolu TÜBİTAK Bilimsel Araştırma Projesi tarafından desteklenmektedir. Yazarlar, sağlanan katkı için TÜBİTAK'a teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Berest, P. and Brouard, B., 1998. A tentative classification of salts according to their creep properties. *Solution Mining Research Institute Spring 98 Meeting*, 21pp., Los Angeles.
- BGR 2005. Salzmechanik für Fortgeschrittene, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, <http://www.bgr.bund.de>
- CEN 1998. Gas supply systems-underground gas storage-Part 3: Functional recommendations for storage in solution-mined cavities. European Committee for Standardization EN-1918-3, Brussel.
- Christescu, N.D. and Hunsche, U., 1998. *Time Effects in Rock Mechanics*, John Wiley & Sons., Chicester, 342p.
- DeVries, K.L., 2003. Improved modeling increases salt cavern storage working gas, *GasTIPS Journal*, pp.33-36.
- DeVries, K.L., 2006. Improved modeling bedded salt cavern stability, *GasTIPS Journal*, pp.15-17.
- DGGT 1994. Ein- und dreiaxiale Kriechversuche an Gesteinsproben, *Bautechnik*, Vol.71, pp.500-505.
- Dreyer, W.E., 1984. Crude oil storage in a system of salt caverns, *Proc. of the first Conf. Mechanical Behavior of Salt*, pp.629-660, Clausthal.
- Geniş, M., 2002. Geometrik tasarım değişikliklerinin derin yeraltı açıklıklarında yenilme bölgesinin boyutlarına etkilerinin statik ve dinamik koşullarda araştırılması. Doktora Tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Müh. Anabilim Dalı. 352s., Zonguldak.
- Gerçek, H., 1993. Qualitative prediction of failures around non-circular openings, *Proc. Int. Symp. on Assessment and Prevention of Failure Phenomena in Rock Engineering*, pp.727-732, Rotterdam.
- Gerçek, H., 1997. An elastic solution for stresses around tunnels with conventional shapes, *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci.*, Vol. 34, No. 3-4, Paper No. 096, 10p.
- Hunsche, U. and Hampel, A., 1999. Rock salt-the mechanical properties of the host rock material for a radioactive waste repository, *Engineering Geology*, Vol.52, pp.271-291.
- Hunsche, U. und Schulze, O., 1994. Das Kriechverhalten von Steinsalz, *Kali und Steinsalz*, Vol.11, pp.238-255.
- IGU 2006. Underground Storage of Gas, International Gas Union, Report of Working Committee 2, Amsterdam, 123p.
- ITASCA 2005. Optional Features Manual. Creep material models. FLAC^{2D}-Fast Lagrangian Analysis of Continua (Version 5.0), Itasca Consulting Group, Minnesota.
- KBB 1988. Untertagespeicher. Firmenbroschüre, Kavernen Bau- und Betriebs GmbH, Hannover, 24s.
- Lux, K.H., 1984. Gebirgsmechanischer Entwurf und Felderfahrungen im Salzkavernenbau. Enke Verlag, Stuttgart.
- Lux, K.H., Düsterloh, U. and Hou, Z., 2001. Increasing the profitability of storage cavities by improvement of the dimensioning concept including CDM, *Solution Mining Research Institute Fall 2001 Meeting*, 33p., Albuquerque.
- Özarlan, A. ve Gerçek, H., 2002. Doğal gaz depolama amaçlı tuz çözelti açıklıklarının tasarımında bazı önemli hususlar, *VI. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu*, s.267-274, Konya.
- Özarlan, A., 2002. Yeraltı tuz madenleri için endüstriyel atık depolama ölçütlerinin geliştirilmesi, Doktora Tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Müh. ABD. 352s., Zonguldak.
- Özarlan, A., Geniş, M. ve Bilir, M.E., 2006. Tübitak Araştırma Projesi 3. Bilimsel Gelişme Raporu (yayımlanmamış), 19s.
- Özkan, İ. ve Düzyol, S., 2004. Kaya tuzu üzerinde bazı mühendislik tasarım parametrelerinin belirlenmesi, *VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu*, s.67-76, Sivas.
- Özkan, İ., Güneş, H., Özarlan, A. ve Geniş, M., 2006. Nevşehir-Gülşehir kaya tuz madeninde kaya tuzuna ait mühendislik özelliklerinin belirlenmesi, *VIII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu*, s.329-339, İstanbul.
- Pariseau, W.G. (2006) Fitting failure criteria to laboratory strength tests, *Int. Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 10p. (in Press).
- Schulze, O., Popp, T. and Kern, H., 2001. Development of damage and permeability in deforming rock salt, *Engineering Geology*, Vol. 61, pp.163-180.
- Thoms, R.L. and Gehle, R.M., 2000. A brief history of salt cavern use, *Solution Mining Research Institute*, <http://www.solutionmining.org>
- Tozlu, E., 2005. Doğal gaz yeraltı depolama ve BOTAŞ'ın yeraltı depolama projeleri, *Ulusal Konya Doğalgaz Sempozyumu ve Sergisi*, s.77-87, Konya.
- TSE 2001 Gaz İkmal Sistemleri-Yeraltında Gaz Depolama-Bölüm 3: Tuz Yataklarında Çözme Suretiyle Oluşturulan Boşluklarda Depolama için Fonksiyonel Kurallar. Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 1918-3, Ankara.
- Wieczorek, K., Schwarzieneck, P. and Rothfuchs, T., 2005. Self-healing of excavation disturbed rocks in the nearfield of underground cavities, Internal Report, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS).

Cevher Hazırlama
Mineral Processing

Kömür Yıkama Tesisleri İçin Örnek Otomasyon Tasarımı

A Model Automation Design for Coal Washing Plants

A. Gitmez, N. Güralp

G.L.İ., Ömerler Lavvarı, Tunçbilek, Kütahya

ÖZET Otomasyon sistemleri ile işletmeciliği yapılan tesislerdeki verimlilik ve kâr artışları günümüz dünyasında bilinen bir gerçektir. Son yıllarda gerek çevre bilincinin artması, gerekse Avrupa Birliği standartlarının getirdiği zorunluluklar, ülkemizde kömür yıkama tesislerinin sayısının hızla artmasını da beraberinde getirmektedir. Ayrıca, kömürlerimizin yıkanmasının teknik ve ekonomik gerekçeleri ile sanayi, termik santral ve ısınma amaçlı kullanım açısından sağlayacağı faydalar bilinmektedir.

Bu çalışmada, bir kömür yıkama tesisi için, tek operatör tarafından çalıştırılan ve hem tesisin hem de yıkama sonucu elde edilen ürünlerin niteliklerinin kontrolünün sağlandığı, tesis yıkama randımanının, kapasitesinin ve verimliliğinin artırılmasına, yıkama maliyetlerinin düşürülmesine yardımcı olacak bir otomasyon tasarımı öngörülmüştür.

ABSTRACT It is a common fact in today's world that the industrial plants and/or facilities operated with Automation Systems have efficiency and profit increases. As a result of the increasing environmental consciousness and the obligatory regulations of the European Union standards, the number of coal-washing plants has been rapidly increasing in our country in the recent years. Besides the technical and economical motives of coal-washing, its benefits to industrial, thermal power plants and residential usage is also a known fact.

In this study an automation was proposed to increase performance, capacity and efficiency and to reduce the operational costs of a coal-washing plant where it can be operated by a single operator and at the same time monitoring the quality of the plant and the products.

1 GİRİŞ

Bütün cevher hazırlama tesislerinde olduğu gibi kömür yıkama tesislerinde de en önemli işletmecilik misyonu, hedeflenen ve istenilen kalitede ve teorik olarak mümkün olan maksimum oranda satılabilir ürün eldesine olanak sağlayan değerlere ulaşacak proses kontrolü çalışma yöntemlerini kurgulayarak hayata geçirmektir. Bu asli görevin yerine getirilebilmesinin yanında tesislerde verimlilik artışı sağlamanın dolayısı ile maliyetlerin düşürülmesinin de temel yollarından biri otomasyon sisteminin kullanılmasıdır. Kömür yıkama tesislerinde

otomasyonun kullanılması; istenilen kalitede ürün eldesinin kontrolü, tesisin tam kapasite ile çalıştırılması, tesisin kademeli olarak devreye alınması, durdurulması, ekipmanların sırasına uygun çalıştırılması, devrelerin kontrolü, gereksiz boşa çalışma sürelerinin üretimde değerlendirilebilmesi, ekipmanların yüklenme oranlarının kontrolü, ilk çalıştırma hataları ile çalışmaya başlangıç ve durdurma kayıplarının ortadan kaldırılması gibi birçok açıdan gereklidir. Bu çalışmada, örnek olarak seçilen bir kömür yıkama tesisi için otomasyon tasarımı yapılmıştır.

2 AMAÇ VE YÖNTEM

Otomasyon sistemleri günümüzde birçok sektörde kullanılmaktadır. Ülkemiz madencilik sektöründe linyit yıkama tesisleri içerisinde bütün proses ve tesis verilerinin izlenebildiği tam otomasyonla ve bilgisayar programı ile çalıştırılan tek tesis 1993 yılında devreye alınan Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi Ömerler Lavvarıdır. Bu çalışma, kömür yıkama tesislerinde otomasyonun avantajlarının kullanılması ve yaygınlaşmasının teminine katkıda bulunabilmek amacı ile Maden Yüksek Mühendisi ve Elektrik-Elektronik Mühendisi olan yazarların 14 yıllık lavvar proses, otomasyon ve işletmecilik bilgi, tecrübe ve birikimlerini değerlendirerek hazırladıkları bir çalışmadır.

Bunun için öncelikle otomasyon tasarımı yapılacak bir örnek tesis belirlenmiştir. Örnek otomasyon tasarımı, belirlenen tesis için yapılmıştır. Otomasyon tasarımı içerisinde bilgisayar programları, motor kontrol merkezi, kontrol, sinyalizasyon ve haberleşme ile tesis otomasyonunda kullanılan algılayıcı ve diğer haberleşme araçlarına dair örnekler verilmiştir.

Daha sonra örnek tesisin belirlenen proses içerisinde çalıştırılma senaryosu sunulmuştur. Bu senaryo için PLC ve SCADA programları kullanılarak tesisin gerçek anlamda çalıştırılmasına yönelik yazılımlar tamamlanmıştır.

3 ÖRNEK TESİS EKİPMAN LİSTESİ

Seyitömer Bölgesi B-3 damarı kömürü için öngörülen, 300 t/h kapasiteli kömür yıkama tesisine ait ekipman listesi Çizelge 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'de ise tesis akım şeması, blok diyagram olarak verilmiştir.

4 BİLGİSAYAR VE PLC

Kömür yıkama tesisi bilgisayar ile kontrol edilecektir. Tesis ekipmanlarına yerleştirilen algılayıcı (detektör) ve anahtarlar, PLC (Programmable Logic Control) sistemine ON/OFF veya 4-20 mA DC. sinyal gönderecektir. Bu gelen sinyaller bilgisayarlarda yüklü olan yazılımlar

sayesinde değerlendirilip simülatif olarak ekranda görülebilecektir.

Bilgisayar ile PLC sisteminin bağlantısı, klavye aracılığı ile sağlanacaktır. Son yıllarda PLC'lerle haberleşen, sisteme izlenebilirlik, bir merkezden kumanda ve kontrol etme, rapor alma gibi özellikler kazandıran, endüstriyel sistemlere yönelik yazılımlar geliştirilmiştir. Endüstriyel otomasyonda izleme ve kontrol işlemlerinin bilgisayarlarla yapılmasını sağlayan bu yazılımlara, SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition – Denetimsel Kontrol ve Veri Toplama) adı verilmiştir.

Bu program sayesinde tesis PLC üzerinden izlenebilir ve tesise PLC üzerinden komutlar gönderilebilir. Günümüzde SCADA yazılımları, Windows işletim sisteminde çalışabildiğinden grafik ortamda göze hoş gelen bir görünüme sahiptir. Windows ortamında hazırlanmış olan çizimler, pencereler ve açıklamalı menüler ile program kullanımı son derece kolaydır. SCADA yazılımı programlanırken kontrolü yapılacak tesisin ana resimleri ile bunların yardımcı resimleri çizilir ve bu resimlerde uygun yerlere göstergeler (indikatörler) ve düğmeler (butonlar) yerleştirilir. Göstergeler sahadaki bilgileri (motor durumları, motor akımları, seviye durumları, analog bilgiler v.s.) göstermek, düğmeler ise sahaya komut göndermek için kullanılır. Bunlar sayesinde, kontrol işlemleri tek bir merkezden, rahat ve verimli bir şekilde gerçekleştirilir.

İzleme ve kumanda dışında, gelişmiş bir SCADA yazılımında rapor, stok takibi, gelişmiş alarm, şifre koruma, birçok PLC ile haberleşme imkânı gibi özellikler de bulunmaktadır. PLC ve SCADA, tam uyumlu çalışmaktadır. PLC ile SCADA arasındaki tepki süresi, 0,5-1 sn aralığındadır. Yani SCADA programı, animasyon çizimleri sayesinde, tesis durumunu 0,5-1 sn gecikme ile bilgisayar ekranında göstermektedir. Operatör, sisteme ait tüm arızaları (mekanik veya elektrik), bilgisayardan on-line takip edebilmektedir. Arıza ile ilgili açıklayıcı bilgiler (oluştugu zaman, yer, operatör, giderildiği zaman, açıklama) operatöre sunulmakta ve yetkili mühendisin sonradan inceleyebilmesi ve

yaıcıdan kâğıda dökülebilmesi için sabit diske kaydedilmektedir ve kapsamlı raporlar alınmaktadır. Raporlara ek olarak, üretimdeki hedef değer, gerçek değer karşılaştırması yapılmakta ve tesisin performansı ortaya çıkarılmaktadır. Ürün giriş-çıkışları, ürün cinsi ve miktarları sabit

diske kaydedilmektedir. Bu bilgiler ile ilgili raporlar, her zaman alınabilmektedir. Kullanıcı talepleri üzerine, yeni raporlar tasarlanabilmekte ya da mevcut raporlarda modifikasyonlar yapılabilmektedir. Ayrıca, geçmiş tarihlerdeki raporlar yeniden alınabilmektedir.

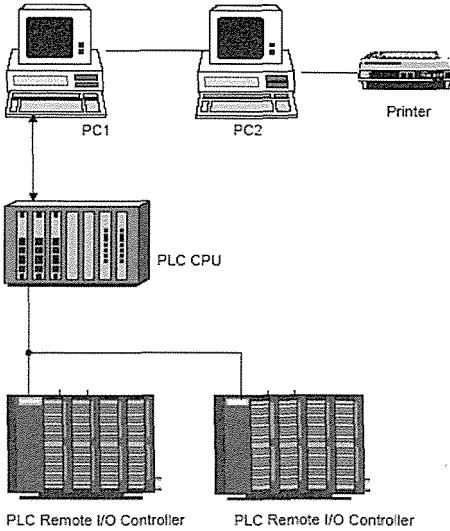
Çizelge 1. Seyitömer bölgesi B-3 damarı kömürü için 300 t/sa kapasiteli kömür yıkama tesisi ekipman listesi (Gitmez, 2005).

Ek. No	Ekipman İsmi	Adet	Kapasitesi	Boyutları	Motor gücü
1	Tüvenan Bunkeri	1	100 ton	5 m x 3 m x 7,5 m	—
2	Titreşimli Izgaralı Besleyici	1	375 t/h	0,91 m x 2,44 m	20 kW
3	Çift merdaneli İnci	1	77 t/h	51 cm x 46 cm	7,5 HP
4	Tüvenan Stok Bandı	1	375 t/h	914 mm	18 kW
5	Hazır Tüvenan Siloları	3	100 ton	5 m x 3 m x 7,5 m	—
6	Titreşimli Tesis Besleyicileri	3	350 t/h	0,91 x 1,83 m	7,5 HP
7	Tesis Besleme Bandı	1	375 t/h	914 mm	18 kW
8	Tüvenan Sınıflandırma Eleği	1	350 t/h	2,44 m x 4,88 m	30 HP
9	Ağır Ortam Tamburu	1	140-250 t/h	3,6 m x 3,6 m	—
10	Ağır Ortam Tamburu Tankı	1	24 m ³	(ϕ 4,25 x 3,7, h) m	—
11	Ağır Ortam Tamburu Pompası	1	403 m ³ /h	200/150 F	45 kW
12	+18 Temiz Kömür Susuzlandırıcı Sabit Yatay Elek	1	206 m ³ /h	0,5 m x 1,25 m	—
13	+18 mm Temiz Kömür Yıkama Eleği, İki katlı	1	170 t/h	1,82 m x 4,88 m	20 HP
14	+18 mm Temiz Kömür Bandı	1	170 t/h	762 mm	12 kW
15	+18 Atık Susuzlandırıcı Sabit Yatay Elek	1	53 m ³ /h	0,2 m x 1,25 m	—
16	+18 Atık Yıkama Eleği	1	40 t/h	1,82 m x 4,88 m	15 HP
17	Tesis Atık Bandı	1	86-476 t/h	762 mm	17 kW
18	AOT Manyetik Separatörü	1	225 m ³ /h	(ϕ 610 x 1771) mm	1,5 kW
19	Şlam Ayırma Eleği Sieve Bendi	2	180 m ³ /h	1,55 m x 1,06 m	—
20	Şlam Ayırma Eleği	2	180 t/h	1,82 m x 4,88 m	15 HP
21	Ağır Ortam Siklon Tankı	1	24 m ³	(ϕ 4,25 x 3,7, h) m	—
22	Ağır Ortam Siklon Pompası	1	188 m ³ /h	150/100E	20 kW
23	Ağır Ortam Siklonları	2	165 m ³ /h	(ϕ 510) mm	—
24	+0,5-18 Temiz Kömür Eleği Sieve Bendi	1	115 m ³ /h	1,55 m x 1,06 m	—
25	+0,5-18 Temiz Kömür Yıkama Eleği, İki katlı	1	45 t/h	1,82 m x 4,88 m	20 HP
26	Santrifüj Kurutucu	1	80-200 t/h	(En x Yüksek x Boy) m. 1,50 x 1,83 x 2,43	Drive - Eccentric 30 HP -5 HP
27	Toz Bandı	1	134 t/h	610 mm	5,6 kW
28	+0,5-18 Atık Eleği Sieve Bendi	1	115 m ³ /h	1,55 m x 1,06 m	—
29	+0,5-18 Atık Yıkama Eleği	1	45 t/h	1,82 m x 4,88 m	15 HP
30	AOS Manyetik Separatörü	1	225 m ³ /h	(ϕ 610 x 1771) mm	1,5 kW
31	Şlam Siklon Tankı	1	24 m ³	(ϕ 4,25 x 3,7, h) m	—
32	Şlam Siklon Pompası	1	378 m ³ /h	200/150 F	45 kW
33	Şlam Siklonları	3	139 m ³ /h	(ϕ 356) mm	—
34	Spiral Korumucu Sieve Bend	1	t/h	1,25 m x 1,0 m	—
35	Spiral	16	50 m ³ /h	3,25 dönüştü Merkez kolon ϕ 160 mm	—
36	+0,1-0,5 mm Kömür Susuzlandırıcı Sieve Bend	1	65 m ³ /h	1,55 m x 1,06 m	—
37	+0,1-0,5 mm Kömür Susuzlandırma Eleği	1	15 t/h	1,82 m x 3,66 m	10 HP
38	+0,1-0,5 mm Atık Susuzlandırma Eleği	1	10 t/h	1,82 m x 3,66 m	10 HP
39	Tikiner	1	359 t/h	(Çap x Yükseklik) m. 12 x 3,5	—
40	Atık Pompası	1	110 m ³ /h	150/100E	160 kW
41	Temizlenmiş Su Tankı	1	44 m ³	(En x Yüksek x Boy) m. 3 x 3,7 x 4	—
42	Temizlenmiş Su Pompası	1	350 m ³ /h	150/100E	132 kW
43	Taze Su Sağlama Pompası	1	110 m ³ /h	75/50C	55 kW
44	Taze Su Tankı	1	22 m ³	(En x Yüksek x Boy) m. 3 x 2,5 x 3	—
45	Salmastra Su Pompası				
46	Tesis Kompresörü				

web altyapısının içerdiği riskler göz önüne alınmalıdır (virüs, trojan v.b.). İnternet ortamının içerdiği riskler, öncelikli olarak SCADA yazılımlarını hedef almasa da PC altyapısında oluşurması olası problemler, sisteme dolayısıyla da SCADA'ya zarar verebilir. O nedenle SCADA'nın kurulu olduğu PC'ye internetten erişim düşünülmemiştir.

5 MOTOR KONTROL MERKEZİ

Tesisin kurulu gücüne uygun trafo merkezi sağlanacaktır. Tesisteki bütün ekipmanların motorları ile PLC sisteminin bağlantısını sağlayan motor kontrol merkezi (MCC) bulunacaktır. Motor kontrol merkezi, çekmeceli tip olacak ve her ekipman için bir çekmece bulunacaktır. Şekil 2'de Operatör-PLC-MCC-Ekipmanlar arasındaki bağlantı gösterilmiştir.



Şekil 2. Operatör-PLC-MCC-Ekipmanlar arasındaki bağlantı.

6 KONTROL, SİNYALİZASYON ve HABERLEŞME

Kömür yıkama tesisinde kullanılan makinelerin emniyetli ve verimli çalışmalarını sağlamak için aşağıda belirtilen

özellikleri içeren sinyalizasyon ve kontrol sistemleri kullanılacaktır. Bu kontrol sistemlerinin tasarımında ihtiyaç duyulan endüstriyel cihazların seçimi, kaynaklar bölümünde belirtilen internet web sayfalarındaki ürünlerden yapılmıştır.

6.1 Çalıştırıcı Sağlıklı Sinyali

Tesis ekipmanlarının yol verme teçhizatının hata içermediğini bildiren sinyaldir. Elektriksel kumanda elemanlarından olan manyetik açtırmalı devre kesici ile termal rölenin konumunu bildirir. Bu sinyal gelmediği sürece PLC üzerinden ekipmana başlat verme engellenir. Aynı zamanda bu sinyal gelmiyorsa SCADA'ya ekipman ile ilgili bir çalışma engeli olduğu bildirilir. Bu engel bilgisi kullanıcının kolay bir şekilde sinyalleri fark etmesini sağlamak için renk ve yazı ile şekillendirilecektir.

6.2 Tesis Sağlıklı Sinyali

Bu sinyal ekipman kumanda devresinde bulunan durdurma (stop) düğmesi üzerinden alınacaktır. Tesis içinde bulunan her ekipmanın elle çalıştırılabilmesi için ekipman yanında kilitlemesiz başlat (start) / durdur (stop) düğmeleri bulunacaktır. Kilitlemesiz olduğu için başlat düğmesine basıldığı müddetçe ekipman çalışmakta, bırakıldığında durmaktadır. Dolayısıyla ekipmanın herhangi bir arızasının olup olmadığı gözle kontrol edilebilir. Ekipman üzerinde herhangi bir tamir-bakım söz konusu olduğu zaman durdur düğmesi mekanik olarak kilitlenir ve ekipman hiçbir yerden (bilgisayar, MCC ve elle) çalışamaz hale getirilir. Bu kilidin takılması sonucunda PLC'de çalışma engeli mesajı üretilir ve normalde gelmekte olan tesis sağlıklı sinyali gelmeyerek bilgisayar ekranında bu durum gözlenecektir.

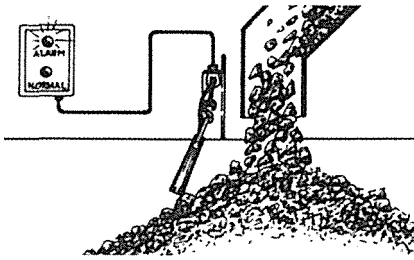
6.3 Sıfır Hız Sinyali

Bu sinyal bantlardan ve pompalardan alınacaktır. Bant ve pompa motorlarından sonraki aktarma ekipmanlarında oluşan arızaların tespiti için kullanılacaktır. Motor çalıştığı halde aktarma organı V kayışları

koparsa bandın ve pompanın çalışmaması bu sinyal aracılığı ile tespit edilebilecektir. Bant tambur kenarına ve pompa kasnak karşlarına yerleştirilen yaklaşıma anahtarı (endüktif proximity switch), kasnak ya da tambur çevresinde yerleştirilen demir çıkıntılarında elektriksel darbe (puls) olarak PLC'ye aktaracaktır. Burada klasik devir bekçisi maliyet açısından tercih edilmemiştir. Mevcut PLC yeteneklerinden istifade edilerek program içerisinde devir bekçileri tasarlanacaktır. Bunlar ise alarma dönüştürülüp operatörün bilgileneceği ya da ilgili ekipmanın ve dolayısıyla geriye dönük ekipmanların durması sağlanacaktır.

6.4 Tıkanmış Oluk Sinyali

Tesis içinde bulunan bantların döküş yerlerinde, siloların üzerinde herhangi bir tıkanmaya veya siloların aşırı dolmasına karşı kullanılan bir algılayıcıdır. Burada 15° eğimli normalde kapalı eğim anahtarı (tilt switch probu) kullanılacaktır. Kontrol edilmesi istenen malzemede (kömür, şist, mikst) istenmeyen bir yığın oluşursa veya silo aşırı şekilde dolarsa malzeme bu algılayıcıyı eğmeye başlayacak ve algılayıcının eğimi belli bir açıyı geçince tıkanmış oluk sinyali gelecektir. Şekil 3'te eğim anahtarının montajı ve çalışma şekli gösterilmiştir.



Şekil 3. Tıkanmış oluk anahtarının çalışma şekli.

6.5 Kayma Sinyali

Tesiste kullanılan bantlardaki kaymaların tespiti için kullanılacaktır. Bantların kenarlarına, bantların sağa veya sola doğru olan kayma hareketleriyle açılıp kapanan

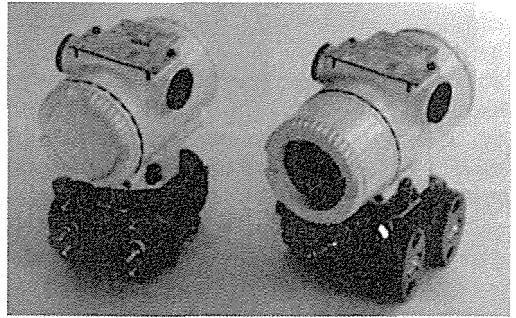
anahtarlar konulacaktır. Bu anahtarların açılıp kapanmasıyla da bu kayma sinyali gelmektedir. Şekil 4'de bant kayma anahtarlarına yerleştirilmiş bant kayma anahtarlarının bandın kayması durumunda çalışma şekline örnek verilmiştir.



Şekil 4. Bant kayma anahtarının çalışması.

6.6 Seviye Ölçme Algılayıcısı

Tesis içindeki tankların seviyelerini ölçmek için kullanılacaktır. Sıvı tankları üzerindeki nem oranı değişken ve bu değişkenliğin elimine edilemez bir yapıda seyretmesi olasıdır. Ayrıca tesis içerisindeki gürültü ve nemle oluşabilecek kararsızlık durumları da göz önüne alınarak ultrasonik seviye ölçeri yerine tankın tabanına yerleştirilen basınç algılayıcısı tercih edilmiştir. Bu cihaz, basınç algılayıcıları aracılığı ile basınç-seviye çevrimi esasına dayalı bir ölçme tekniği kullanacaktır. Tankın gövdesinde bulunan algılayıcı, üzerine uygulanan basıncı algılayıp tankın seviyesini tespit ederek analog bir sinyal üretecektir. Bu sinyal akışkanın yoğunluğu ve tankın yüksekliği ile doğru orantılıdır. Şekil 5'de seviye ölçme cihazlarına bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 5. Seviye ölçme cihazları.

6.7 Yoğunluk Ölçme Algılayıcısı

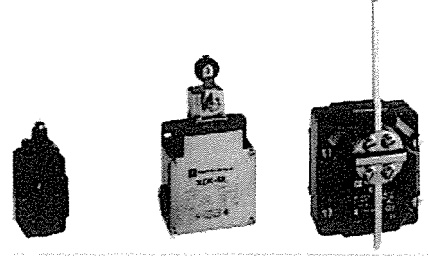
Tesis içindeki tankların içinde bulunan sıvıların yoğunluklarını ölçmek için kullanılacaktır. Algılayıcı, proses sıvısının aktığı boru üzerinde ölçme için şartlandırılmış bir noktada konumlandırılacaktır. Çevresel faktörler minimuma indirgenerek hassas bir ölçüm elde edilecektir. Yoğunluk ölçmede kullanılacak olan algılayıcı kullanım avantajlarından dolayı radyometrik yapıda olacaktır. Düşük radyasyon seviyesi ile çalışanlar için risk oluşturmayacak ve yarılanma ömrünün uzunluğu ile de (Cs 137) uzun müddet kullanım avantajı elde edilecektir. Algılayıcı, yaptığı ölçümü analog bir sinyal ile PLC'ye aktaracaktır. Böylelikle proses yoğunluğunu operatörlerin bilgisayar ekranından sürekli olarak izleyebilmesini temin edecektir. Şekil 6.da nükleer yoğunluk ölçerin, nükleer çekirdeğin ve kalibrasyon cihazının bir fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 6. Nükleer yoğunluk ölçer, nükleer çekirdeği ve kalibrasyon cihazı.

6.8 Açık-Kapalı Anahtarları

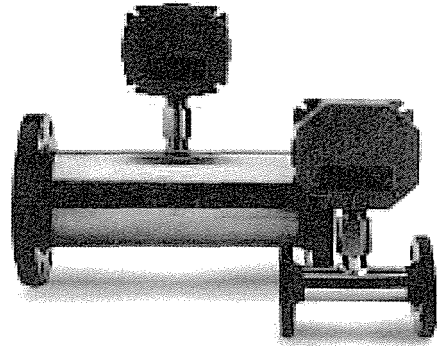
Tesis içindeki pnömomatik olarak otomatik çalışan vanalarda kullanılacaktır. Hava basıncı ile çalışan vanaların iki tarafına konulan limit anahtarları sayesinde vanaların açılmasının veya kapanmasının bilgisayardan izlenebilmesi, bu sinyal sayesinde mümkün olmaktadır. Şekil 7'de açık-kapalı anahtarlarına örnek fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 7. Açık-kapalı anahtarları.

6.9 Akış Ölçer

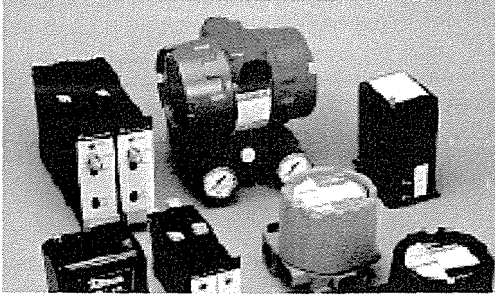
Tesise basılan temiz su ile tikiner tarafından temizlenen suyun miktarlarını belirlemek için kullanılacaktır. Bir sayaç ve pervaneden oluşan sistem, suyun geçtiği boru üzerine monte edilir ve suyun akış miktarına göre bu sinyali göndermektedir. Şekil 8'de akış ölçerlere örnek fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 8. Akış ölçer.

6.10 Basınç Algılayıcısı

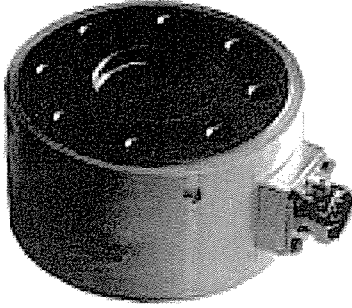
Ağır ortam ve sınıflandırma siklonlarındaki basma basıncını ölçmek için kullanılacaktır. Siklon üzerine yerleştirilen algılayıcı sayesinde bu basınç algılanmakta ve bir sinyal olarak gönderilmektedir. Basınçta herhangi bir düşme meydana gelirse bundan siklonunda veya pompada bir sorun olduğu sonucuna varılmaktadır. Şekil 9'da basınç algılayıcısına örnek fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 9. Basınç ölçer.

6.11 Tork Ölçer

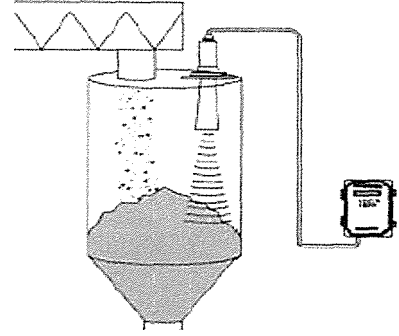
Tikiner içinde bulunan algılayıcı meydana gelen torku ölçerek bir sinyal olarak göndermektedir. Çalışma prensibi ise tikiner içinde dönmekte olan tarağın zorlanmasına dayanmaktadır. Şekil 10'da bir tork ölçer gösterilmiştir.



Şekil 10. Bir tork ölçer.

6.12 Silo Seviye Ölçeri

Siloların doluluk miktarlarını göstermek için kullanılacaktır. Silolarda kullanılacak seviye ölçerleri ultrasonik olacaktır. Böylelikle hem yüzey temassız bir ölçme hem de dökülen katı cisimler nedeniyle oluşan konik yapının da ölçüme dahil edilmesi sağlanmış olacaktır. Bu cihazlar yaptıkları ölçümleri analog bir sinyal ile PLC'ye aktaracaktır. Böylece operatörler silo seviyelerini sürekli izleyebilecektir. Şekil 11'de silo seviyesinin ölçülmesi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 11. Silo seviyesinin ölçülmesinin şematik gösterimi.

6.13 Besleme Tonajı Kontrol Devresi

Hazır tüvenan silolarının altında bulunan 3 adet besleyicinin (feeder) çalıştırılması frekans çeviricisi (konvertörü) ile temin edilecektir. Böylelikle operatör tarafından belirlenecek bir set değeri girişi ile konvertöre analog sinyal girişi sağlanacaktır. Bununla da konvertörler, operatör kontrolünde besleme miktarını artırıp azaltabilecektir. Bilgisayardan önce besleyici seçilir ve çıkışı 0-100 arasında bir değere ayarlanarak besleme miktarı belirlenir. Bu işlem her besleyici için ayrı ayrı yapılabilir. Şekil 12'de bir konvertörün fotoğrafı verilmiştir.

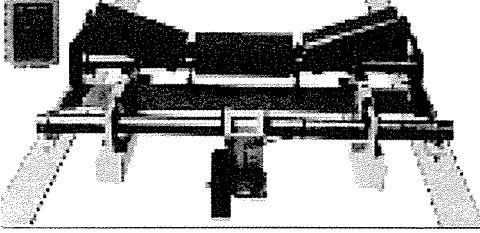


Şekil 12. Bir konvertörün fotoğrafı.

6.14 Bant Kantarları

Miktarını ölçeceği malzemeyi taşıyan bandın altına yerleştirilecektir. Üzerinden geçen malzemeyi ton/saat olarak bilgisayardan gösterecektir. Çalıştırma öncesi uyarı

sinyalleri kullanılarak bantların çalışmaya başlayacağını bildiren sesli bir ikaz sistemi de bulunacaktır. Ayrıca kontrol ve sinyal aparatları üzerindeki düğmeleri ve/veya çekme-tel mekanizması tarafından çalıştırılan ve bantları acil olarak durduran kontrol devreleri de kullanılacaktır. Şekil 13'e bir bant kantarına ait görüntü verilmiştir.



Şekil 13. Bir bant kantarı fotoğrafı.

7 TESİS ÇALIŞTIRMA SENARYOSU

Tesis tüm kumanda, devreye alma, kontrol ve bilgi edinme konusunda merkezi kontrollü olarak tasarlanmıştır. Buna bağlı olarak kontrol noktasında görev yapacak operatörün işlemlerini kolaylaştırmak ve mümkün olduğunca kapalı çevrim otomasyonun kendi kendine işlerliğini sağlamak önemlidir. Böylelikle operatör sistemi izleme durumunda bulunacak ve gerektiğinde müdahale edecektir. Oluşan alarm durumlarında sistemi en kısa sürede

toparlamak için ihtiyaç duyulan noktalara müdahale edecektir. Buradan hareketle tesisin devreye alınması ve durdurulması bir sıralama mantığı ile tek işlemde yapılabilecektir. Tamamıyla tek işlem pratikte mümkün değildir. Ancak bant, elek, besleyici gibi geriye dönük seri iletimin bulunduğu üniteler, otomatik başlat ve otomatik durdur işletimi içerisinde yer alacaktır. Bunun haricinde her bir ünite ayrı ayrı başlat ve durdur işlemi ile de devreye alınabilecektir. PLC programında her bir ekipmanın çalışabilmesi için gereken şartlar, programal olarak işletilecektir. Operatör tarafından by-pass edilmiş ekipmanlar, kapalı çevrim çalışma ortamında program içerisinde de by-pass edilecektir. Ayrıca sistemde yer alan analog cihazlar, operatör tarafından belirlenen set değerlerine göre ihtiyacı olan

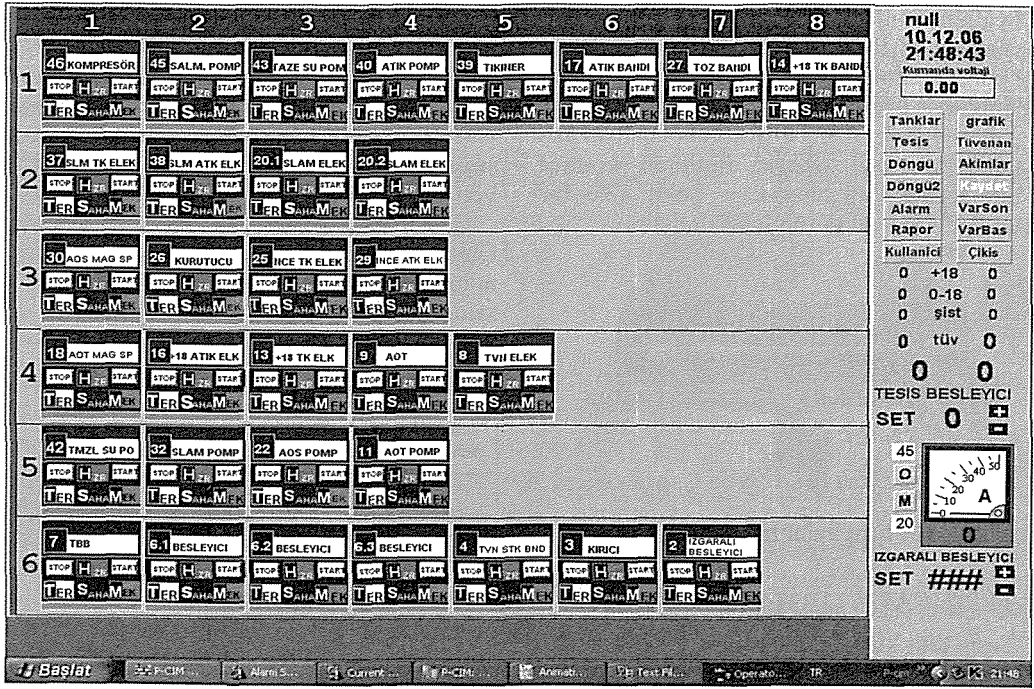
girişleri PLC'den temin edecektir. Örnek olarak ele alınan 300 t/h kapasiteli tasarlanmış kömür yıkama tesisi için hazırlanan PLC programında düzenlenecek şekliyle çalıştırma-durdurma ile kilitleme sırası ve çalıştırma grupları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Kömür yıkama tesisinin ekipman numaralarına göre çalıştırma - durdurma / kilitleme sırası ve çalıştırma grupları.

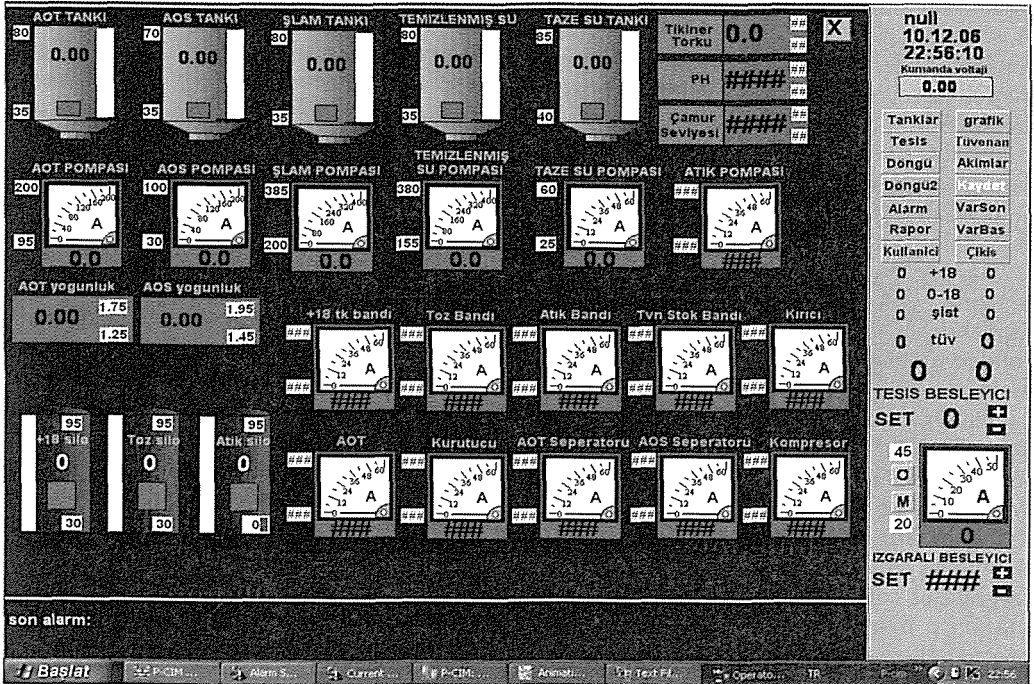
TESİS EKİPMAN NUMARALARINA GÖRE ÇALIŞTIRILMA SIRASI						
Çalıştırma- Durdurma / Kilitleme Sırası	DEVRELER ve EKİPMAN NUMARALARI					
	Şlam temiz kömür devresi	Şlam atık devresi	İnce temiz kömür devresi	İnce atık devresi	İri temiz kömür devresi	İri atık devresi
1.	27	17	27	17	14	17
2.	37	38	26	29	18	18
3.	32	32	25	30	13	16
4.	20.1., 20.2.	20.1., 20.2.	30	22	9	9
5.	8	8	22	20.1., 20.2.	11	11
6.	7	7	20.1., 20.2.	8	20.1., 20.2.	20.1., 20.2.
7.	6.1., 6.2., 6.3.	6.1., 6.2., 6.3.	8	7	8	8
8.	4	4	7	6.1., 6.2., 6.3.	7	7
9.	3	3	6.1., 6.2., 6.3.	4	6.1., 6.2., 6.3.	6.1., 6.2., 6.3.
10.	2	2	4	3	4	4
11.			3	2	3	3
12.			2		2	2

ÇALIŞTIRMA GRUPLARI	AÇIKLAMA	EKİPMAN NUMARALARI							
		46	45	43	40	39	17	27	14
1. GRUP	Kompresör, Su pompaları, tikiner ve bantlar								
2. GRUP	Şlam devresi	37	38	20.1.	20.2.				
3. GRUP	AOS devresi	30	26	25	29				
4. GRUP	AOT devresi	18	16	13	9	8			
5. GRUP	Pompalar	42	32	22	11				
6. GRUP	Tüvenan	7	6.1.	6.2.	6.3.	4	3	2	

Tüm işletim 2 adet PC'de kurulu SCADA yazılımı ile simüle edilecek ve raporlar üretilecektir. PC'lerden birisi kumandaya, diğeri ise izlemeye dönük menülerle tasarlanmıştır. Her iki PC'de tüm SCADA yazılımları ortak olmakla birlikte işletim sırasında operatörce çağrılan menüler farklıdır. Tesisin çalıştırma menüsü PC1 monitöründe görünecek SCADA menüsü olarak Şekil 14.te verilmiştir. PC2 olarak hazırlanan SCADA izleme menüsü ise Şekil 15.te gösterilmiştir. Her iki PC diğerinden bağımsız olarak PLC ile haberleşecektir. Böylelikle oluşabilecek herhangi bir PC arızasında, sistemin geçici olarak tek PC üzerinden kontrolü sağlanabilecektir.

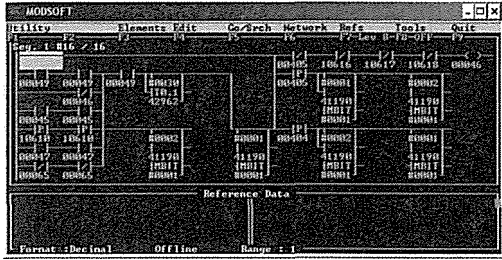


Şekil 14. Tesis SCADA çalıştırma menüsü.



Şekil 15. Tesis SCADA izleme menüsü.

Örnek olarak ele alınan 300 t/h kapasiteli tasarlanmış kömür yıkama tesisinin Çizelge 2'de verilen çalıştırma-durdurma ile kilitleme sırası ve çalıştırma grupları için hazırlanan PLC programının bir görünümü Şekil 16'da gösterilmiştir.



Şekil 16. PLC programından bir görünüş.

Kumanda işlemlerinin yapılacağı monitör üzerinde tesisteki bütün ekipmanlara ait kumanda bilgileri yer almaktadır. Her bir ekipmanın çalışmaya hazır olması için çalıştırıcı sağlıklı sinyali veya tesis sağlıklı sinyali gelmelidir. Ayrıca sistem, çalışma senaryosu şartlarını da gözetir ve ancak bu andan itibaren başlat düğmesi yanarak çalışmaya hazır olduğunu gösterir. Ünite ile ilgili herhangi bir alarm durumu yok ise boş zemin gözlemlenecektir. Bu alarmlar renk ve ifade olarak da gösterilerek rahat farkedilmeleri temin edilmiştir.

İzlemeye dayalı ikinci monitörde de herbir ekipman için normal çalışma alt-üst limit değerleri kullanıcı tarafından girilecektir. Belirlenen limit aralığındaki renk uyarıcısı gözü yormayacak şekilde yeşil, alt ve üst limitlerin aşımında da kırmızı, siyah, mavi ve sarı gibi uyarıcı renkler tercih edilmiştir. Herbir kullanıcı kendi hesabı ile oturum açacak ve işletimi boyunca ihtiyaç duyulan trendler kaydedilecektir. Vardiya bazında raporlar alınabilecektir.

Pencere üzerinde son alarm hanesi bulunacaktır. Onaylanan her alarm sonrası geriye dönük son 10 alarm hızlı erişim imkanı olacaktır. Ayrıca işletim süresince oluşan tüm alarmlar kayıt altına alınabilecektir. İsteğe bağlı olarak alarmlarda sesli uyarı sistemi kullanılabilir.

8 SONUÇ

Kömür yıkama tesisi, seri halde birbirleriyle bağımlı olarak sıralı çalışan ve sıralı duran birçok ekipmandan oluşmaktadır. Bu tür tesislerde devamlı bir kömür akışının olması nedeniyle herhangi bir aksama istenmemektedir. Yukarıda anlatılan sistem ve ekipmanlar tam olarak çalıştırıldığında;

1. En önemli avantajı tesisin proses dengesinin sürekli izlenerek ideal değerlerde çalıştırılmasının sağlanabilmesidir. Proseste ortaya çıkan aksamalar anlık olarak izlenebildiği için anında düzeltme işlemleri yapılabilmektedir. Bu avantajı sayesinde, ocaktan büyük emek ve maliyetlerle çıkarılan tüvenan kömür içerisindeki, satılabilir ürünlerin maksimum oranda kazanılabilmesi imkânı sağlanırken sadece değerlendirilemeyen atık ürünler sistemden uzaklaştırılmaktadır. Bu ise atığa verilmeden kazanılan her ton satılabilir ürün miktarı kadar satılabilir fiyat üzerinden üreticinin cirosunun artması anlamına gelmektedir. Hem milli ekonomiye katkıda bulunulmakta hem de milli servet olan kömürler üretildikten sonra nihai noktada kaybedilmeden satılabilir ürün olarak kazanılmaktadır.

2. Sıralı durdurma ve çalıştırma aracılığı ile ilk çalıştırma ve durdurma esnasında oluşan zaman kayıpları minimuma inmektedir.

3. Ekipmanların bağlantılı olarak belli bir kilitleme şeması içerisinde çalıştırılması sayesinde herhangi bir ekipmanın bir şekilde durmasından kaynaklanan tıkanmalar, taşmalar oluşmayacağı veya çok az oluşacağı için bu tıkanma ve taşmaların giderilmesi için zaman harcanmayacak ve gereksiz duruş süreleri ortaya çıkmayacaktır.

4. Kömür yıkama tesisindeki makine ve ekipmanlar proses otomasyonu sayesinde daha emniyetli ve verimli bir şekilde çalışmaktadır. Bunun sonucu olarak hem çalışanların hem de makinelerin güvenliği arttığı için iş sağlığı ve güvenliği açısından çok daha emniyetli çalışma ortamları oluşturulmaktadır.

5. Otomasyonun getirdiği diğer önemli bir avantaj ise çalışan işçi ihtiyacı azalmaktadır. Çalışan işçiler sadece gözlemeleme işlemi yaptığı için hem işçi sayısı azalmakta hem de işçilerden kaynaklanacak hatalı işlemler ortadan kalkmaktadır. Dolayısı ile insan faktörü minimuma indiğinden buradan kaynaklanacak hatalar da minimuma indirilmiş olmaktadır. Aynı zamanda giderlerde önemli bir kalemi oluşturan işçilik maliyetleri de düşürülmektedir.

6. Makine ve ekipmanlarda oluşacak arızalar anında izlenip bulunabilmekte ve hızlı bir şekilde tamir-bakım grupları harekete geçirilmektedir.

7. Elle veya otomatik olarak çalıştırılan bütün ekipmanlar ana kontrol odasından sürekli olarak izlenebilmektedir. Bu, özellikle uyarı ve alarm mesajları sayesinde gerekli tedbirlerin alınması, makine ve ekipmanlardaki duruş nedenleri ve sürelerinin tespiti açısından önemlidir. Rapor editörleri yardımı ile elde edilecek istatistik bilgiler; çalışma performansını artırma, arıza analizleri, maliyet analizleri gibi daha pek çok konularda fikirler üretilmesine katkıda bulunabilecektir.

8. Yukarıda bahsedilenlerin tamamının ekonomik olarak sağladığı ortak avantaj, daha düşük maliyetlerle daha fazla miktarlarda ve daha kaliteli satılabilir ürün elde edilerek değişen piyasa koşullarında rekabet edebilme imkânının sağlanmasıdır.

9. Otomasyon sayesinde değişen piyasa taleplerine uygun üretime geçebilmek daha kısa zamanda ve daha kolay gerçekleştirilebilmektedir.

10. Otomasyon kullanılarak çalıştırılan kömür yıkama tesislerinin çoğalması, Türkiye'nin enerji ihtiyacının karşılanmasına yikanmış, kaliteli linyit üretimi ile katkıda bulunacaktır.

KAYNAKLAR

- Gitmez, A., 2005, Seyitömer ve Soma Linyit Kömürleri için Zenginleştirme Tesis Tasarımı, OGU Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
www.abb.com
www.afcon-inc.com
www.plcprogramlama.com
www.telemecanique.com
www.thermoramsey.com

Jameson Flotasyon Hücresi İle Zonguldak Toz Kömürünün Zenginleştirilmesi

Benefication of the Zonguldak Fine Coal by Using the Jameson Flotation Cell

H. Hacıfazlıoğlu, İ. Toroğlu

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak

ÖZET Bu çalışmada, pilot ölçekli bir Jameson flotasyon hücresi ile Zonguldak kömür tozunun zenginleştirilmesi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, yalnızca süpürme kademesinin uygulanmasıyla %46.70 kül içeren kömür tozlarından %12.60 küllü temiz kömür %77.61 yanabilir verimle kazanılmıştır. Ayrıca, Jameson flotasyon hücresinde etkili olan tasarım ve çalışma parametreleri kömür flotasyonu için optimize edilmiştir. Bu parametreler; nozul yüksekliği (jet uzunluğu), düşey boru (downcomer) daldırma derinliği, köpürtücü miktarı, toplayıcı miktarı, pülpte katı oranı ve yıkama suyu debisidir.

ABSTRACT In this study, the enrichment of the Zonguldak fine coal by using a homemade pilot-scale Jameson flotation cell was investigated. In the result of the experimental studies, a clean coal product ash 12.60% was produced from the 46.70% ash feed with a 77.61% combustible recovery by applying only scavenger stage. Besides, Jameson flotation cell design and operating parameters were optimized for coal flotation. These parameters were the nozzle height (jet length), the immersion depth of the downcomer, the collector amount, the frother amount, the percentage of solids and the rate of wash water.

1 GİRİŞ

Jameson flotasyon hücresi, 1980'lerin sonlarına doğru geliştirilmiş olan yeni teknoloji bir flotasyon hücresidir. Bu hücre, Avustralya Newcastle Üniversitesi'nden Profesör Greame Jameson tarafından tasarlanmış ve 1989 yılında "Jameson Flotasyon Hücresi" adı altında patent almıştır. İlk endüstriyel uygulaması 1989 yılında MIM Şirketinin Queensland, Avustralya'daki tesislerinde bakır flotasyonu için konvansiyonel kolon flotasyonuna alternatif olarak kullanılmıştır. Bu uygulama sonucu elde edilen olumlu sonuçlar kömürle ilgili çalışmaları başlatmıştır. Endüstriyel ölçekte toz kömür zenginleştirme için ilk kez 1990 yılında Avustralya Newsland Kömür

Yıkama Tesisinde kullanılmıştır. Günümüzde 90'dan fazlası Avustralya da olmak üzere, Dünya üzerinde toplam 250 kurulu Jameson hücresi bulunmakta ve çoğu toz kömür zenginleştirme amacına yönelik olarak kullanılmaktadır (Cowburn vd. 2005, Xstrata Technology, 2005).

Sistemin basitliği, kapasitesinin yüksek olması ve selektif konsantre üretmesi bakımından özellikle tercih edilen Jameson hücresinde, pülp herhangi bir karıştırma işlemine tabi tutulmaksızın yüksek basınçla bir nozuldan geçirilerek enerji ile yüklenmekte ve bu esnada atmosferden emilen hava ile birlikte karışarak düşey boru (downcomer) içerisinden ayırma hücresine geçmektedir. Ayırma hücresinde, taneciklerle (hidrofoblar) yüklenmiş olan

kabarcıklar hücre yüzeyine doğru, kabarcıklara yapışmayan taneler (hidrofil) ise hücrenin dibine doğru hareket ederek ayırım gerçekleştirilmektedir (Jameson ve Manlapig 1991, Atkinson vd. 1993a,b, Evans vd. 1995). Diğer sistemlere oranla kabarcık çapı oldukça küçük (ortalama 0.3 mm) ve sayı olarak da fazladır. Bu da flotasyon süresinin çok kısılmasına ve kalma süresinin azalmasına yol açmaktadır.

Xstrata Technology tarafından 4.5, 5, 6.5 ve 7.2 m çaplarında Jameson hücreleri ticari olarak üretilmektedir. Üretilen J7200/10 (7.2 m çapında ve 10 düşey borulu hücre) ile saatte 3000 m³'lük pülp (kömür+su+reaktif) beslemesi yapılabilmektedir.

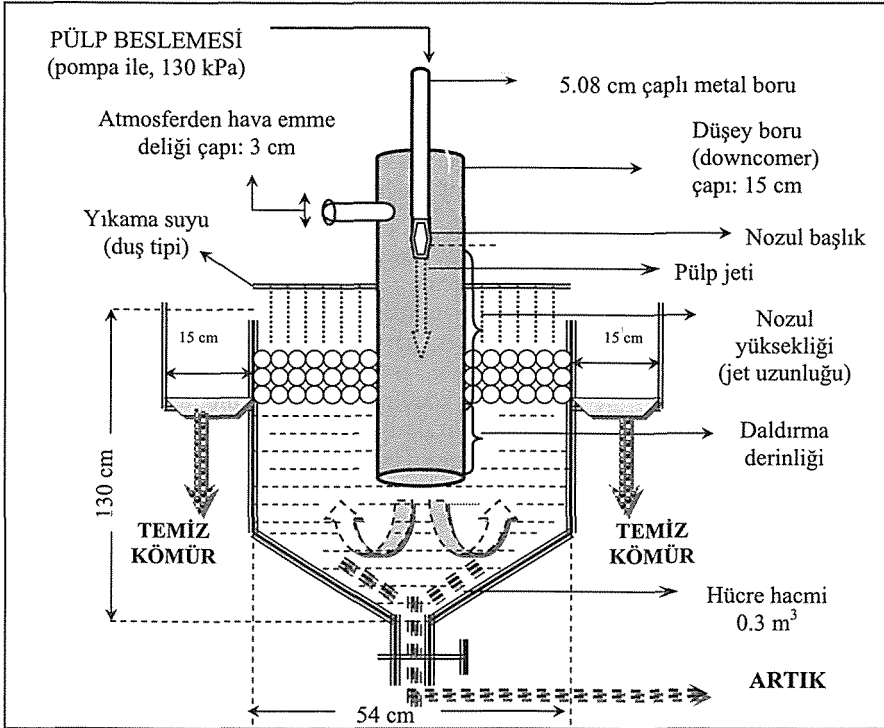
Bu çalışmada, yüksek küllü Zonguldak bitümlü kömür tozlarının yerel imkanlarla kurulmuş olan pilot ölçekli bir Jameson flotasyon hücresi ile zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Ayrıca, Jameson hücresinde

flotasyon verimliliği üzerinde etkili olan parametreler optimize edilmiştir.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

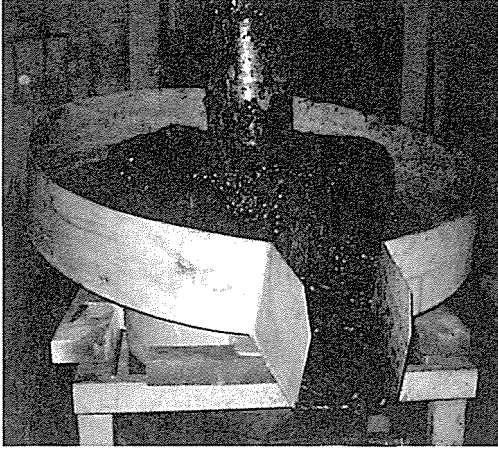
2.1 Jameson Flotasyon Hücresi

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Laboratuvarında kurulmuş olan pilot ölçekli Jameson flotasyon hücresi Şekil 1'de gösterilmiştir. Flotasyon anına ait görüntüsü ise Şekil 2'de verilmiştir. Sistemde, maksimum kapasitesi 0.5 m³ olan bir kıvam tankında toplayıcı ve köpürtücü ilavesi ile kıvamlandırılan pülp (toz kömür+su+reaktif) 3 HP gücündeki bir santrifüj pompa yardımı ile Jameson hücresine yüksek basınçla beslenmektedir. Besleme borusunun iç çapı 5.08 cm olup, bu boru üzerindeki



Şekil 1. Pilot ölçekli Jameson flotasyon hücresinin şematik görünümü.

manometreden okunan pülp basınç değeri 130 kPa'dır. Hava ihtiyacı (atmosferden) düşey boru üzerinde bulunan 3 cm çapındaki dairesel bir delikten sağlanmaktadır. Sistemde artık çıkış kontrolü mekanik valfler (vanalar) yardımıyla manuel olarak yapılmıştır. Yıkama suyu sistemi ise dış tipi olup, köpüğün 5 cm yukarısından üniform olarak verilmiştir.



Şekil 2. Jameson hücresi flotasyon anı görüntüsü.

2.2 Malzeme ve Yöntem

Deneylerde, özel bir işletmeden alınan Zonguldak bitümlü kömür tozları (- 600 μ m) kullanılmıştır. Kömür örneğinin kül, uçucu madde, sabit karbon ve toplam kükürt içeriği sırasıyla %46.70, %20.52, %32.78 ve %0.62'dir. Üst kalori değeri ise 4320 kcal/kg bulunmuştur. Örneği temsil eden yaklaşık 1000 g numune ile yapılan yaş elek analizi sonuçları ve boyut aralıklarına göre kül ve yanabilir dağılımları Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Jameson hücresinde tek kademede yeterli verimin elde edilememesi nedeniyle tüm deneyler iki kademeli olarak yapılmıştır. Yani, ilk kademe sonunda elde edilen "kaba artık" tekrar flotasyona tabi tutulmuştur (süpürme aşaması). Jameson hücresinde etkili olan parametrelerden sırasıyla nozul

yüksekliği, düşey boru daldırma derinliği, köpürtücü miktarı, toplayıcı miktarı, pülp katı oranı ve yıkama suyu debisi optimize edilmiştir. Bulunan her optimum sonuç bir sonraki deneyde kullanılarak flotasyon nihai optimizasyona ulaştırılmıştır. Nozul yüksekliğinin araştırılmasında kullanılan başlangıç deney koşulları Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 1. Örneğin boyut aralığına göre kül ve yanabilir dağılımları.

Boyut Aralığı (μ m)	Ağırlık (%)	Kül (%)	Yanabilir Dağılım (%)
-600+425	30.11	44.10	31.58
-425+300	25.05	46.00	25.38
-300+212	14.12	47.72	13.85
-212+106	17.61	48.80	16.92
-106	13.11	50.12	12.27
Toplam	100.00	46.70	100.00

Çizelge 2. Başlangıç deney koşulları.

Parametreler	Değerler
Nozul yüksekliği	Değişken
Düşey boru daldırma derinliği	20 cm
Düşey boru çapı	15 cm
Toplayıcı (gazyağı) miktarı	1500 g/t
Köpürtücü miktarı	100 g/t
Köpük kalınlığı	15 cm
Püpte katı oranı	% 6
Yıkama suyu debisi	4 lt/dak
Pülp besleme basıncı	130 kPa
Kıvamlandırma süresi	6 dak

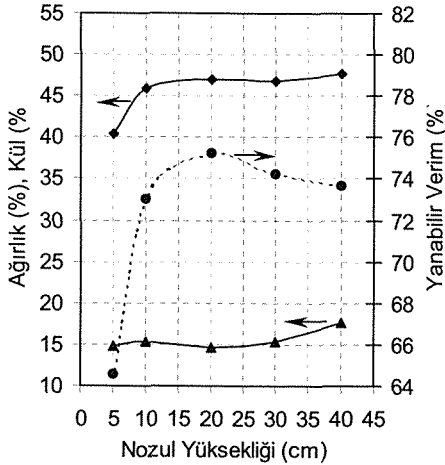
3 BULGULAR

3.1 Nozul Yüksekliğinin Etkisi

Jameson hücresinde nozul yüksekliğinin (jet uzunluğunun) flotasyon verimliliği üzerine etkisi Şekil 3'de gösterilmiştir.

Deneyler esnasında nozul yüksekliğinin artırılması ile hücre yüzeyindeki türbülansın da arttığı gözlemlenmiştir. Yoğun türbülans

durumunda (nozul yüksekliği > 30 cm) temiz kömüre gang mineralleri kaçmakta ve temiz kömür kül içeriği artmaktadır. Nozul yüksekliğinin azaltılması durumunda ise türbülans azalmıştır. Ancak, düşük nozul yüksekliklerinde (< 10 cm) pülp zaman zaman nozul seviyesine kadar yükselerek nozulu pülp içerisinde bırakmaktadır. Oluşan bu “nozul boğulması” olayı ile pülp jetinin etkisi ve hava emilimi azalmaktadır. Hava emiliminin azalması sonucunda oluşan hava kabarcıklarının sayısı azalmakta ve bunun sonucunda flotasyon verimi düşmektedir. Sonuç olarak, Jameson hücresinde verimin en yüksek olduğu optimum bir nozul yüksekliği vardır ve bu yükseklik 20 cm’dir.



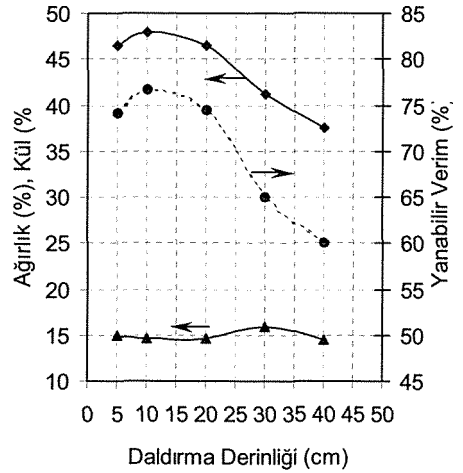
Şekil 3. Nozul yüksekliğinin etkisi.

3.2 Daldırma Derinliğinin Etkisi

Düsey boru daldırma derinliğinin flotasyon verimliliği üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4’de gösterilmiştir.

Düsey boru daldırma derinliğinin kısa olması (< 20 cm) durumunda, temiz kömür külünde ve yanabilir veriminde büyük değişimler görülmektedir. Ancak, çok uzun daldırma derinliklerinde yanabilir verim dramatik şekilde azalmıştır. Bu durumun başlıca nedeni, taneciklerin hücre

içerisine tam dağılmadan artık kanalına geçmesidir. Ayrıca, yüksek daldırma derinliklerinde pülp akışında bir düşüş meydana gelmektedir. Başka bir deyişle, emilen havanın yetersiz kalması nedeniyle (3 cm çapındaki bir hava emme deliği için) jet hızı yavaşlamaktadır. Jet hızının yavaşlaması kabarcık üretimini olumsuz yönde etkilemiştir. Şekil 4’den de görülebileceği gibi optimum daldırma derinliği 10 cm’dir.



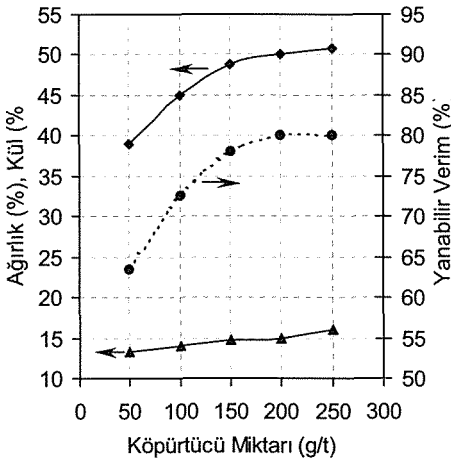
Şekil 4. Daldırma derinliğinin etkisi.

3.3 Köpürtücü Miktarının Etkisi

Köpürtücünün cinsi ve miktarı flotasyonda oluşan köpüklerin dayanıklılığı açısından önemlidir. Kömür flotasyonunda en yaygın olarak kullanılan köpürtücüler kresol, alkoller (MIBC, 2-Etil Hegzanol, Iso Octanol vb.) ve polipropilenglikol eterlerdir. Köpürtücüler genellikle 50-350 g/t mertebesinde veya 5-30 ppm konsantrasyonlarında kullanılmaktadır (Yaman vd. 1998, Sütçü ve Toroğlu 2001, Cho vd. 2002, Ceylan ve Küçük 2004, Grau vd. 2005, Melo vd. 2005). Jameson hücresi ile yapılan çalışmalarda en yüksek kazanım oranı MIBC köpürtücüsü kullanılarak elde edilmiştir (Evans vd. 1995, Ata ve Önder 1998). Ancak, deneysel çalışmalarda

ekonomik olması açısından köpürtücü olarak Dowfroth250 kullanılmıştır.

Şekil 5'den de görülebileceği gibi Dowfroth250 miktarının artmasıyla hem temiz kömür kül içeriği hem de yanabilir verim değeri artmıştır. Ancak, köpürtücü miktarının 200 g/t'un üzerinde olması durumunda temiz kömür kül içeriği dramatik şekilde artarken yanabilir verim artışı daha yavaş olmaktadır. Köpürtücü miktarının 100 g/t'un altında olması durumunda ise 15 cm'lik köpük kalınlığı elde edilememiştir. Optimum köpürtücü miktarı 200 g/t'dur.



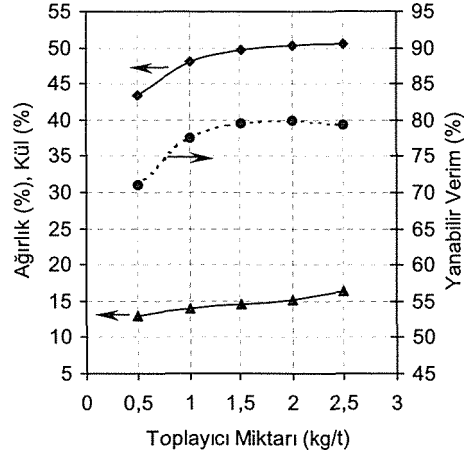
Şekil 5. Köpürtücü miktarının etkisi.

3.4 Toplayıcı Miktarının Etkisi

Toplayıcılar, taneciklerin kabarcıklara daha güçlü bir şekilde yapışmasını sağlar. Kömür flotasyonunda genellikle toplayıcı olarak; nötr hidrokarbonlar, gazyağı ve fuel oil kullanılmaktadır. Taşkömürü flotasyonunda kullanılan toplayıcı miktarı 300-1500 g/t mertebesinde (Önal ve Güney 1998, Cebeci 2002, Erol vd. 2003). Bu çalışmalarda toplayıcı olarak gazyağı kullanılmış ve gazyağı miktarının flotasyon verimliliği üzerine etkisi Şekil 6'da gösterilmiştir.

Şekil 6'dan da görülebileceği gibi gazyağı miktarının artmasıyla yanabilir verim belli bir değere kadar artmakta daha sonra artış azalmaya başlamaktadır. Temiz kömür kül

içeriği ise gazyağı miktarının artmasıyla birlikte artmıştır. Bu durumun nedeni, hidrofobluğu düşük olan kömür tanelerinin ve kömür içerisine dağılmış olan çok ince boyutlu killerin yoğun gazyağı ortamı ile yüzeyliliğinin artmış olmasıdır. Optimum gazyağı miktarı 1.5 kg/t bulunmuştur.



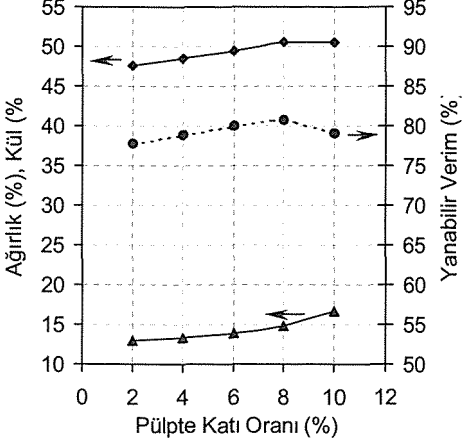
Şekil 6. Toplayıcı miktarının etkisi.

3.5 Pülpte Katı Oranın Etkisi

Endüstriyel uygulamalarda kömür flotasyonu için pülp yoğunluğu genellikle %5-20 aralığında değişmektedir (Mohanty ve Honaker 1999a,b, Sütcü ve Toroğlu 2001, Güney vd. 2002, Cowburn vd. 2005). Bu oran, daha çok flotasyona tabi tutulan tanelerin boyutuna bağlı olarak seçilmektedir. İri boyutlar için pülp yoğunluğu artırılmakta, çok ince boyutlarda ise azaltılmaktadır. Xstrata Technology, Jameson hücresinde çok ince boyutlu (- 106 µm) kömür (şlam) flotasyonu için katı oranını %3-6 aralığında belirlemiştir. Boyutun daha iri (-1000+150 µm) olması durumunda ise bu oran %10'a kadar çıkabilmektedir.

Şekil 7'den de görülebileceği gibi pülpte katı oranının artmasıyla birlikte verim artmaktadır. Ancak, temiz kömür kül içeriği de buna paralel olarak artmıştır. %4 katı

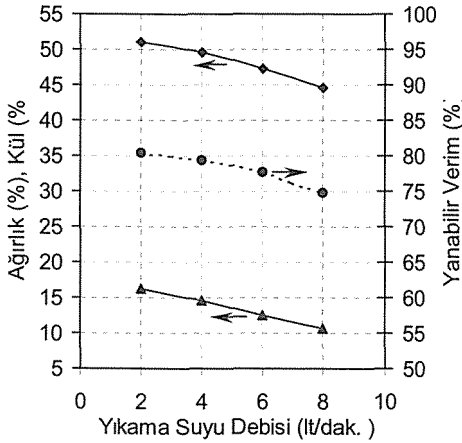
oranında temiz kömür külü %13.40 iken, %10 katı oranında %16.69'a yükselmiştir. Ayrıca, katı oranının artmasıyla pülp vizkozitesi artmakta ve kabarcık yükselme hızı düşmektedir. Bunun sonucunda hücrede flotasyon süresi artmıştır. Sonuç olarak, optimum katı oranı %8 olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. Pülp katı oranının etkisi.

3.6 Yıkama Suyu Debisinin Etkisi

Kömür flotasyonunda daha düşük küllü ürünlerin eldesi için köpüğe yıkama suyu verilmektedir. Jameson hücresinde yıkama suyu debisinin flotasyon verimliliği üzerine etkisi Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Yıkama suyu debisinin etkisi.

Yıkama suyu debisinin artırılmasıyla elde edilen temiz kömürlerin kül içerikleri ve yanabilir verim değerleri azalmaktadır. Bunun başlıca nedeni köpüğe karışmış olan ince boyutlu gang minerallerinin ve bağlı tanelerin artığa geri yıkama olasılığının artmış olmasıdır. Ayrıca, çok yüksek yıkama suyu debilerinde (> 8 lt/dak) köpük tabakasının çökmesi nedeniyle 15 cm'lik köpük kalınlığı elde edilememiştir. Şekil 8'e göre optimum yıkama suyu debisi 6 lt/dak olarak görülmektedir.

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde, ekonomik talepler ve çevresel hassasiyetlerin artması ile birlikte yüksek küllü kömür tozlarından daha temiz yakıtların üretilmesi artık bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu çalışma kapsamında, yüksek küllü (%46.70) Zonguldak bitümlü kömür tozları Jameson flotasyon hücresi ile zenginleştirilerek düşük küllü, koklaşabilir özellikte ürünler haline dönüştürülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda, süpürme aşamasının uygulanmasıyla ağırlıkça %47.33 verimle %12.60 küllü temiz kömürler %77.61 yanabilir verimle kazanılmıştır. Üst kalori değeri ise 4320 kcal/kg'dan 6910 kcal/kg'a yükselmiştir.

Jameson hücresinde nozul yüksekliğinin ve düşey boru daldırma derinliğinin optimum seçilememesi durumunda hücre verimliliği önemli ölçüde düşmektedir. Optimum olmayan yükseklik ve derinliklerde yanabilir verim %60 seviyelerine kadar düşmüştür. 20 cm nozul yüksekliğinde ve 10 cm düşey boru daldırma derinliğinde en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu koşullar altında yanabilir verim %75 seviyelerine kadar yükselmiştir.

Jameson hücresinde köpürtücü (Dowfroth250) miktarı, toplayıcı (gazyacı) miktarı, katı oranı ve yıkama suyu debisinin flotasyon verimliliği üzerine etkisi klasik flotasyonda olduğu gibi bulunmuştur. Optimum koşullar altında bu değerler sırasıyla 200 g/t, 1.5 kg/t, %8 ve 6 lt/dak'dır.

KAYNAKLAR

- Ata, S. ve Önder, Ü.Y. 1997. Yeni bir flotasyon teknolojisi: Jameson flotasyon hücresi, *Madencilik*, Cilt: 36, Sayı: 4, s.21-29.
- Atkinson, B.W., Griffin, P.T., Jameson, G.J. and Espinoza-Gomez, R. 1993a. Jameson cell test work on copper streams in the copper concentrator of MIM Ltd. *18th. Int. Mineral Processing Congress*, Australia, February, pp. 44-47.
- Atkinson, B.W., Conway, C.J. and Jameson, G.J. 1993b. Fundamentals of Jameson cell operation including size-yield response. *8th. Australian Coal Preparation Conference*. Australia, Paper G2.
- Cebeci, Y. 2002. The investigation of the floatability improvement of Yozgat Ayırdam lignite using various collectors, *Fuel*, 81:281-289.
- Ceylan, K. and Küçük, M.Z. 2004. Effectiveness of the dense medium and the froth flotation methods in cleaning some Turkish lignites, *Energy Conversion and Management*, 45:1407-1418.
- Cho, Y.S. and Laskowski, J.S. 2002. Effect of flotation frothers on bubble size and foam stability, *International Journal of Mineral Processing*, 64:69-80.
- Cowburn, J., Harbort, G. Manlapig, E. And Pacrajcic, Z. 2005. Improving the recovery of coarse coal particles in a Jameson cell, *Minerals Engineering*, 678-688.
- Güney, A., Önal, G. and Ergut, Ö. 2002. Benefication of fine coal by using the free jet flotation system, *Fuel Processing Technology*, 15:141-150.
- Grau R.A., Laskowski J.S. and Heiskanen K. 2005. Effect of flotation frothers on bubble size, *International Journal of Mineral Processing*, 76:225-233.
- Erol, M., Colduroğlu, C., and Aktas, Z. 2003. The effect of reagents and reagent mixtures on froth flotation of coal fines, *International Journal of Mineral Processing*, 71:131-145.
- Evans, G., Atkinson, B.W. and Jameson G.J. 1995. The Jameson cell. *Flotation Science and Engineering*, Matis (ed.); Published by Marcel Dekker Inc. pp.558.
- Jameson, G.J. and Manlapig, E.V. 1991. Application of the Jameson cell, *International Conference on Column Flotation*, Sudbury, Canada, 2, pp. 672-687.
- Melo, F. and Laskowski J.S. 2005. Fundamental properties of flotation frothers and their effect on flotation, *Minerals Engineering*, 46:126-140.
- Mohanty, M.K. and Honaker, R.Q. 1999a. A comparative evaluation of the leading advanced flotation technologies, *Minerals Engineering* 12: 1-13.
- Mohanty, M.K. and Honaker, R.Q. 1999b. Performance optimisation of Jameson flotation technology for fine coal cleaning, *Minerals Engineering*, 12: 367-381.
- Önal, G. ve Güney, A. 1998. Kömür hazırlama yöntemleri ve tesisleri. *Kömür*, O.Kural (ed.); Kurtiş Matbaası, İstanbul, s.267-295.
- Sütcü, H. ve Toroğlu, İ. 2001. İnce boyutlu kömür artıklarından katı yakıt kazanımı. *IV Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi*, 5-8 Ekim Bodrum.
- Yaman, S., Çelik, M.S. ve Küçükbayrak, S. 1998. Kömürün kükürdünün giderilmesi. *Kömür*, O.Kural (ed.); İstanbul, s.337-351.
- Xstrata Technology, 2005. http://xstratatech.com/doc/jc_brochure_2004/001.pdf

Santrifüj Etkili Bir Separatörün (MGS) Kef Krom Cevheri Konsantratöründe Kullanılabilirliğinin Tekno-Ekonomik Etüdü

Technical and Economical Study of Applicability of a Centrifugal Force Gravity Separator (MGS) to Kef Chromite Concentration Plant

T. Çicek, İ. Cöcen, V.T. Engin, S. Şen

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü
Buca/İzmir-Türkiye*

H. Cengizler

Celal Bayar Üniversitesi, TMYO, 45410 Turgutlu, Türkiye

ÖZET Bu çalışmada Kef kromit konsantratörü artıkları ile yapılan MGS zenginleştirme testlerinin sonuçları sunulmuştur. Testler için kullanılan artık numune - 1 mm altında olup % 24.7 Cr₂O₃ içermektedir. Elek/metal analizleri artıktaki bulunan kromitin % 23 ünün -106 mikron tane fraksiyonunda bulunduğunu göstermiştir. MGS testleri artığın -100 ve 100/150 mikron tane fraksiyonları ile yapılmıştır. Optimum proses şartlarında, artığın - 100 mikron tane fraksiyonundan % 43.7 Cr₂O₃ içeren konsantre % 65 Cr₂O₃ verimi ile, ve 100/150 mikron tane fraksiyonundan % 30.4 Cr₂O₃ içeren konsantre % 87 Cr₂O₃ verimi ile elde edilebilmiştir. Sallantılı masa testlerinde, yüksek oranda bağlı tanelerin varlığı sebebi ile artığın iri tane boyutu fraksiyonunun zenginleştirilmesi mümkün olmamıştır. Ancak, - 100 mikron altına öğütülmüş iri fraksiyondan MGS ile satılabilir kalitede konsantre tatmin edici kromit veriminde elde edilebilmiştir (140 dev/dk ve 150 dev/dk tambur hızları kullanılarak sırasıyla % 48.47 Cr₂O₃ ve % 42.80 Cr₂O₃ tenörlü konsantreler % 44.05 ve % 57.01 verim değerleri ile üretilebilmiştir). Bu çalışmanın sonuçları MGS nin bu tesiste kullanımının teknik ve ekonomik açıdan uygun olabileceğini göstermiştir. MGS kullanımını için önerilen 2 alternatifin yatırım geri ödeme süreleri 7 aydan daha kısa olarak hesaplanmıştır.

ABSTRACT In this paper, the results of MGS upgrading tests on chromite gravity tailings of Kef concentrator are presented. Initial sample for the tests was about - 1 mm in size and showed a Cr₂O₃ content of 24.72 %. Metal/screen analysis proved that about 23.32 % of chromite was present in the size fraction of -106 microns. A series of tests were performed with MGS using -100 and 100/150 microns fraction of the initial sample. Under optimum operation conditions, a concentrate with 43.7 % Cr₂O₃ content and 65 % chromite yield for the size fraction of -100 microns and a concentrate with 30.4 % Cr₂O₃ and 87 % chromite yield for the size fraction of 100/150 microns, could be produced. Shaking table test results revealed that the coarse fraction of the tailings can not be enriched further due to high concentration of the interlocked particles. However, when the coarse tailings are ground below 100 microns, a saleable concentrate could be obtained by using MGS (140 rpm and 150 rpm rotational speeds were used and the concentrates containing 48.47 % Cr₂O₃ ve 42.80 % Cr₂O₃ were obtained with 44.05 % and 57.01 % recoveries). The results of this study suggest that multi gravity separation of the Kef tailings is technically possible and economically viable. The pay-back time of the 2 alternatives for use of MGS in Kef concentrator has been calculated as less than 7 months.

1 GİRİŞ

Kromit, metalurji, kimya ve refrakter endüstrisinde kullanılan önemli bir mineraldir. Türkiye kromit cevheri, konsantresi ve ferrokrom üreten ülkeler arasındadır. Türkiye'nin kromit cevheri ve konsantre ihracatı 1995 yılında 1 milyon tonun üzerine çıkmıştır. Sallantılı masalar, spiraller ve Reichart konileri gibi yoğunluk farkına dayalı zenginleştirme yapan cihazlar Türkiye'de kromit cevherlerinin zenginleştirilmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Ancak, bu yöntemlerle ince tane boyutunda kısmen başarı sağlanabilmektedir.

Kullanılan bu geleneksel yöntemlerde, cevherin serbestleşme tane boyutuna bağlı olarak, ince kromitin önemli bir miktarı artığa kaçmaktadır. Özellikle 100 mikronun altındaki kayıplar çok fazladır. Bu nedenle bazı tesislerde süpürme amacıyla şlam masaları kullanılmaktadır.

Türkiye'de yüksek tenörlü (% 30-48 Cr₂O₃) krom cevher rezervleri 31 000 000 t (Sarıöz, 1997) civarındadır. Gravimetrik krom konsantratörleri ince artıklarının miktarı ise yaklaşık 3 000 000 t civarında olup % 12-20 oranında Cr₂O₃ içermektedirler. (Güney, 1996).

Gence (1999) Kef kromit konsantratör tesisine beslenen % 38.33 Cr₂O₃ tenörlü kromit cevherinin, 150 mikron altına öğütüldükten sonra MGS cihazı kullanılarak değerlendirilebilme olanağını araştırmıştır. Çalışma sonucunda optimum koşulların uygulanması ile % 69.57 verim değeri ile % 52.14 Cr₂O₃ içeren bir kromit konsantresi elde edilmiş ve artık tenörü % 23.87 olarak gerçekleşmiştir.

Birçok araştırmacı Türkiye krom gravite tesislerindeki ince artıkların ekonomik olarak değerlendirilmesini tayin etmek amacıyla çalışmalar yapmaktadır. Bu alanda santrifüj kuvvet kullanarak yoğunluk farkına dayalı ayırma yapan ayırıcılar ve flotasyon uygulanabilmesi mümkün olan iki esas metottür.

Olivin ve serpantin gibi gang mineralleri ile kromit arasındaki benzer yüzey özellikleri nedeniyle gravite artıklarının flotasyonu çok zordur (Atalay, 1986). Mozley Şirketi

tarafından geliştirilen ve imal edilen Multi Gravite Ayırıcılar çok ince kasiteritin zenginleştirilmesinde başarı ile kullanılmaktadırlar (Chan ve ark., 1991) Türkiye kromit gravite artıklarındaki ince kromitlerin değerlendirilmesinde bu tip bir santrifüj etkili ayırıcının başarılı olabileceği ilk olarak Eskişehir Kavak zenginleştirme tesislerinin kromit artıklarının değerlendirilmesinde MGS kullanılarak ispat edilmiş ve dikkate değer neticeler elde edilmiştir (Özdağ, 1994). Etibank Karagedik krom cevheri konsantratörü artıkları ile yapılan çalışmalarda MGS nin ince kromit zenginleştirme için uygun bir ekipman olduğu tespit edilmiştir (Çiçek ve arkadaşları, 1998) Kop konsantratörü artıkları ile yapılan diğer bir çalışmada MGS ile ümit verici sonuçlar elde edilmiştir (Çiçek ve arkadaşları, 2000). Pınar Madencilik Aladağ Krom Konsantratörü artıklarından da MGS ile satılabilir kalitede ve yüksek verimde ince krom konsantresi elde edilebilmiştir (Bayat ve arkadaşları, 1999). Diğer bir çalışmada 4 ayrı krom konsantratörü artıkları ile yapılan çalışmalarda MGS nin ince tane boyutundaki başarısı belirtilmektedir (Çiçek ve Cöcen, 2002)

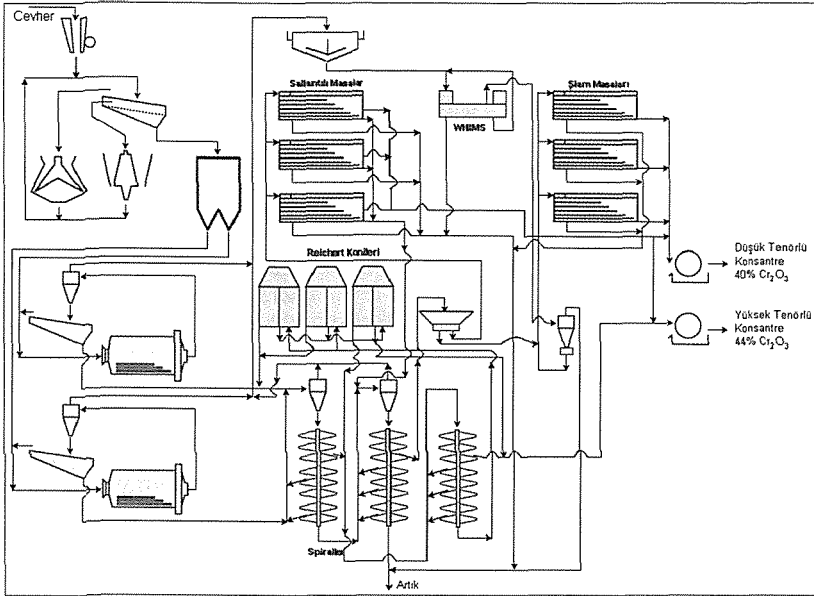
Bu çalışmada Türkiye' de faaliyette bulunan kromit konsantrasyon tesislerinin en önemlilerinden biri olan Etibank Guleman Kef konsantratöründen (Şekil 1) alınan nihai ince artıklarda bulunan ince kromit kaçaklarının geri kazanım olanakları gravimetrik zenginleştirme yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmanın ana amacı Kef konsantratörü artıklarına teknik ve ekonomik yönden uygulanabilir bir zenginleştirme yönteminin geliştirilmesidir.

Söz konusu konsantratör, o yıllardaki düşük konsantre fiyatları ve özellikle tesis ince kromit kazanım safhasındaki kaçakların yüksek olmasından kaynaklanan yüksek maliyetler nedeniyle kapatılmıştır. Tesisin kapatılmasına neden olan yüksek maliyetlerin en önemli sebebi ince taneli kromit kazanım kademesinde kullanılan WHIMS separatör performansının yetersiz ve enerji tüketiminin yüksek olmasıdır. Ayrıca bu kademedeki kullanılan şlam

masaları da aynı şekilde yüksek kaçak oranları ile çalışmaktadırlar. Bu çalışmada geliştirilmesi amaçlanan yöntemin en önemli özellikleri olarak hedeflenen şartlar aşağıdaki gibidir:

- Konsantratör atıklarında bulunan kromitin en az % 60 ının geri kazanılması

- Elde edilecek konsantrinin satılabilir kalitede olması (Cr_2O_3 oranı en az % 42)
- Geliştirilen yöntemin yatırım masraflarının geri ödeme süresinin kısa olması.
- Çevre dostu bir yöntem olması.



Şekil 1. Kef kromit konsantratörü prensip akım şeması

2 LABORATUAR TESTLERİ

2.1 Kef konsantratörü ince artık numunesi özellikleri

Numune, tane boyu ve Cr_2O_3 dağılımının tespiti için elek/metal analizine tabi tutulmuştur. Eleme yaş olarak yapılmış, kimyasal analizlerde sadece Cr_2O_3 tenörü belirlenmiştir. Yapılan elek/metal analizinin neticesi Çizelge 1 de verilmiştir.

Çizelge 1'den görüldüğü üzere artık numunesi % 24.7 Cr_2O_3 içermektedir. İri tane boyutlarındaki (> 300 mikron) Cr_2O_3 tenörü ince boyutlardakine nazaran daha yüksektir (% 26-31 Cr_2O_3). Stereo binokular mikroskop altında yapılan incelemelerde 500 mikron üzerindeki tanelerin % 90 ını bağlı taneçiklerin oluşturduğu tespit edilmiştir. %

80-90 oranında serbest kromit taneçiklerine ancak 200 mikrondan daha küçük ebatlarda rastlanmıştır. 100 mikron altındaki kromit ve gang mineralleri taneçiklerinin tamamen serbest oldukları gözlenmiştir. Bu sebepten artık numunesinin aşırı yüksek orandaki Cr_2O_3 tenörü, cevherin serbestleşme tane boyutunun tesiste kullanılan ekipmanların verimli çalışmayacağı derecede küçük olmasına bağlanabilir.

MGS çok ince malzemeler için dizayn edilmiş bir zenginleştirme cihazı olduğundan numunelerin 150 mikron altındaki kısmı testlerde kullanılmıştır. Bu boyuttaki tanelerin serbestleşme oranı da mikroskop altında incelendiği üzere yeterli derecededir. Kef konsantratörü artıklarındaki toplam

kromitin % 20.7 sinin 106 mikron altında bulunduğu Çizelge 1 de görülmektedir. Artıkların 212 mikron altındaki kromit içeriği ise toplam kromitin % 36.3 üdür.

Kef konsantratörü artıklarında ince tane boyutu fraksiyonlarındaki kromit içeriği diğer krom tesisleri artıkları ile karşılaştırıldıklarında şüphesiz fazla değildir

(Karagedik konsantratörü artıklarında 106 mikron altındaki kromit içeriği % 75-80 civarındadır). Ancak, bu tesisin kapasitesinin 75-100 t/saat civarında olduğu göz önüne alındığında ince tane boyutlarında etkili olan MGS için bu oranların kaydedeğer miktarda oldukları kabul edilmelidir (Çiçek ve arkadaşları, 1998).

Çizelge 1. Kef konsantratörü artıkları elek/metal çizelgesi

Elek Fraksiyonu (mikron)	Fraksiyon Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ tenör (%)	Cr ₂ O ₃ dağılım (%)
+ 1000	8.8	26.62	9.48
1000/850	4.1	29.98	4.97
850/500	20.4	29.04	23.96
500/300	15.1	26.08	15.93
300/212	10.8	21.41	9.35
212/106	18.9	20.48	15.66
106/75	7.5	22.08	6.70
75/63	2.5	22.81	2.31
63/45	5.6	21.27	4.82
45/38	2.1	24.59	2.09
-38	4.2	27.92	4.74
Toplam	100.0	24.72	100.00

2.2 Numunenin Laboratuvar Testleri İçin Hazırlanması

MGS testleri besleme malının hazırlanmasında, numune pilot ölçekli sallantılı Russel elek cihazı ile 0.1, 0.15, 0.3 mm de 4 elek fraksiyonuna bölünmüştür.

Russel elek fraksiyonlarından - 0.1 mm, 0.1/0.15 mm MGS testlerine, 0.15/0.3 mm ve + 0.3 mm elek fraksiyonları ise sallantılı masa testlerine tabi tutulmuştur.

2.3 MGS Zenginleştirme Testleri

2.3.1 Multigravity separator MGS

Testlerde 150 kg/saat kapasiteli C900 tip laboratuvar/pilot ölçekli Mozley MGS cihazı kullanılmıştır. Ayırıcı 500 mm çapında ve 600 mm uzunluğunda bir tamburdan oluşmaktadır. Tambur 100-250 dev/dak hızla dönmektedir ve inusoidal bir salınımla dikey yönde hareket eder. Tamburun içinde bulunan sıyırıcıları aynı yönde fakat tambura nazaran daha yüksek bir hızda dönerler. Pülp halindeki besleme malı tamburun iç yüzeyine beslenir. Yıkama suyu da benzer şekilde

ancak tambur ağzına daha yakın bir noktadan verilir. Tambur eğimi 0-8 derece arasında değiştirilebilir.

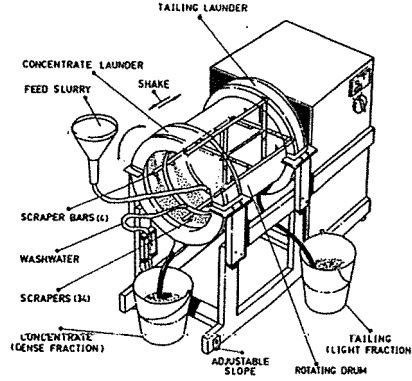
Çalışma sırasında, ağır partiküller yüksek santrifüj kuvvetinin etkisi ile tambur cidarına doğru hareket eder ve karşı sallantı etkisiyle yarı katı bir tabaka oluşturur. Sıyırıcılar ağır tabakayı tamburun yüksekte bulunan ağzında bulunan konsantrite çıkış oluğuna taşır. Hafif partiküller yıkama suyunun akışı ile tamburun diğer ağzından artık olarak taşınır. MGS'nin çalışması çok basit olup, bütün çalışma parametreleri kolaylıkla ayarlanabilir. Ara ürün çıkışı yoktur (bak şekil 2).

MGS testleri yukarıda belirtilen elek fraksiyonları ile sürekli testler olarak yapılmışlardır. MGS testleri her ne kadar kesikli olarak ve 500-1000 g numune kullanılarak yapılabilir ise de, daha önce yapılan araştırmalarda güvenilirlik neticelerin ancak sürekli testler ile alındığı tespit edilmiştir.

Kef artıkları incelenirken MGS cihazında zenginleştirmeyi etkileyen cihaz ve proses

parametrelerinden tambur dönüş hızı, besleme malı debisi testlerde elde edilen neticelere göre değiştirilirken, cihazın

tambur eğimi, sallantı frekansı ve genliği ile yıkama suyu miktarı (5 l/dak) sabit tutulmuştur.



Şekil 2. Mozley multi gravite separatörü (MGS)

2.3.2 MGS testleri sonuçları

Kef artıkları MGS testleri şartları ve test sonuçları Çizelge 2 de verilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde, Kef konsantratör artıklarının -0.1 mm elek fraksiyonunun % 22.2 oranında Cr_2O_3 içerdiği görülmektedir. MGS testlerinde yüksek tambur hızlarında yüksek oranda Cr_2O_3 verimine karşılık (175 dev/dak, % 90.9 verim) elde edilen konsantre tenörü sadece % 31.2 Cr_2O_3 olmuştur. Tambur hızı düşürüldükçe konsantre tenörü yükselmiş ve buna bağımlı olarak verimde bir düşüş gözlenmiştir.

Bu testlerin neticesine dayanılarak 0.1 mm den ince malzeme için optimum cihaz parametrelerinin 140-150 Dev/dak tambur hızı ve 6 derece eğim olduğu söylenebilir. % 43 Cr_2O_3 ten daha yüksek tenörlü konsantre kazanımı için tambur hızının 140 dev/dak dan daha az olması gerektiği açıktır. Ancak bu durumda kromit veriminde büyük bir düşüş beklenmelidir.

Düşük tambur hızlarında dahi 0.1/0.15 mm fraksiyonundan yüksek tenörlü konsantre elde edilemediği yapılan testlerle ortaya çıkmıştır. En düşük tambur devri olarak 135 dev/dak kullanılmış olup bu deney neticesinde % 38.4 Cr_2O_3 tenörlü bir konsantre % 24.7 kromit verimi ile kazanılabilmektedir. Bu durumda, Kef konsantratörü artıklarının 0.1/0.15 mm lik

kısımının -0.1 mm fraksiyonu ile birlikte MGS besleme malı olarak kullanılması, zenginleştirmeye ters etki yapacağından sakıncalı görünmektedir.

2.4 Sallantılı Masa Testleri Neticelerinin İrdelenmesi

Kef konsantratörü artık numunesinin 0.15/0.3 ve 0.3/1.0 mm fraksiyonları ile bir WILFLEY laboratuvar tipi sallantılı masada gerçekleştirilen testlerde alınan sonuçlar Çizelge 3 te verilmiştir.

Kef artıkları 0.3/1.0 mm elek fraksiyonundan sallantılı masa ile elde edilebilecek en yüksek konsantre tenörü % 37.4 Cr_2O_3 olmuştur Cr_2O_3 verimi sadece % 15.2 tir. Buradan görüldüğü üzere Kef artıklarının 0.3/1.0 mm elek fraksiyonundan satılabilir kalitede konsantre üretimi çok düşük verimlerde gerçekleşmektedir. Aynı durum 0.15/0.3 mm elek fraksiyonu için de geçerlidir. Bu fraksiyonlardaki geri kazanılabilir serbest kromit kaçakları az olmalarına rağmen tesisin 80-100 t/saatlik kapasitesi göz önüne alındığında uzun vadede önemsenecek miktarlara ulaşabilirler. Tesiste bulunan gravimetrik zenginleştirme ekipmanlarında yapılacak proses parametreleri optimizasyonu ile bu fraksiyonlardaki kaçaklar minimum seviyelere çekilebilir.

Çizelge 2. Kef konsantratörü artığı ile yapılan testlerin test şartları ve sonuçları.

Test no.	B.M Fraksiyon (mm)	Tambur Eğim Derece	Tambur hız Dev/dak	BM Debi l/dak	BM Cr ₂ O ₃ %	Kons. Cr ₂ O ₃ %	Artık Cr ₂ O ₃ %	Kons. Ağır. %	Cr ₂ O ₃ Verim %
1	-0.1	6	140	3	22.2	43.7	11.6	33.0	65.0
2	-0.1	6	150	2	22.2	40.1	9.3	41.9	75.7
3	-0.1	6	160	2	22.2	37.8	8.2	47.3	80.5
4	-0.1	6	165	2	22.2	32.5	6.1	61.0	89.3
5	-0.1	6	175	2	22.2	31.2	5.7	64.7	90.9
6	-0.1	6	185	2	22.2	29.1	5.1	71.3	93.5
7	0.1/0.15	6	135	2	21.5	38.4	18.8	13.8	24.7
8	0.1/0.15	6	140	2	21.5	38.6	16.8	21.6	38.8
9	0.1/0.15	6	150	2	21.5	30.5	8.5	59.1	83.3
10	0.1/0.15	6	160	2	21.5	28.2	9.2	64.7	84.9
11	0.1/0.15	6	165	2	21.5	30.4	7.3	61.5	87.0
12	0.1/0.15	6	175	2	21.5	27.2	7.3	71.4	90.3
13	0.1/0.15	6	185	2	21.5	25.8	6.5	77.7	93.2

Çizelge 3. Kef konsantratörü artıkları sallantılı masa testleri sonuçları.

Elek Fraksiyonu (mm)		Besleme malı	Konsantre	Araürün	Artık
0.3/1.0	Ağır. %	100.0	11.20	49.70	39.10
	Cr ₂ O ₃ %	27.52	37.42	30.9	20.41
	Cr ₂ O ₃ Verim %	100.00	15.22		
0.15/0.3	Ağır. %	100.00	20.17	36.03	43.80
	Cr ₂ O ₃ %	22.70	39.02	27.23	11.50
	Cr ₂ O ₃ Verim %		34.67		

2.5 Öğütülmüş Artıklar İle Yapılan MGS Testleri

Kef tesisi artıkları ile yapılan MGS ve sallantılı masa testlerinde Kef tesisi artıklarının 0.1 mm altındaki kısmından MGS ile satılabilir kalitede ve yeterli kromit veriminde konsantre elde edilebileceği tespit edilmiştir. Bu tesislerin artıklarının MGS için uygun olmayan iri fraksiyonlarındaki kromit kaçakları tesislerde kurulu olan ekipmanların çalışma koşullarının optimizasyonu ile belli bir derecede azaltılabilir. Tesis toplam kromit veriminin en üst seviyeye çekilebilmesi ancak artıkların tamamının 100 mikron altına öğütülüp MGS den geçirilmesi ile gerçekleşebilir. Bu türlü bir proses problemleri görünen Kef cevherleri için ekonomik açıdan da uygun olabilir.

Bu prosesin teknik olarak uygulanabilirliğini araştırmak için Kef artıklarının 0.1/1.0 mm elek fraksiyonu titreşimli bilyalı değirmende kapalı bir devrede (0.1 mm elek) 100 mikronun altına öğütülmüşlerdir. Elde edilen – 100 mikron boyutundaki öğütülmüş numuneler ile MGS testleri yapılmıştır. Yapılan MGS testleri şartları ve neticeleri Çizelge 4'te verilmektedir.

Çizelge 4'teki MGS test neticeleri incelendiğinde, öğütülmüş artıklar ile yapılan testlerde Kef artıklarından MGS ile satılabilir kalitede konsantre elde edilmesi olarak dahilindedir. Ancak kromit verimi % 60'ın altında kalmaktadır.

Kef konsantratörü artıklarından klasifikasyon ile elde edilen – 100 mikronluk ince malzeme ile yapılan testlere nazaran 100 mikronun altına öğütülmüş artıklardaki

kromit verimi daha azdır. Bu durum laboratuvar şartlarında kuru olarak yapılan öğütmede oluşan yüksek orandaki ince fraksiyona (< 5-10 mikron) bağlanabilir.

Tesis çapındaki bir öğütmede devreden yükün çoğaltılması ile çok ince fraksiyon oluşumu azaltılıp MGS den daha iyi bir verim alınabilir.

Çizelge 4. 100 mikron altına öğütülmüş artıkla yapılan MGS testleri sonuçları.

Test no	B.M mm	Tambur Eğim Derece	Tambur hız Dev/dak	BM Debi l/dak	BM Cr ₂ O ₃ %	Kons. Cr ₂ O ₃ %	Artık Cr ₂ O ₃ %	Kons. Ağır. %	Cr ₂ O ₃ Verim %
1	-0.1	6	140	2	26.23	48.47	19.27	23.84	44.05
2	-0.1	6	150	2	26.23	42.80	17.33	34.94	57.01

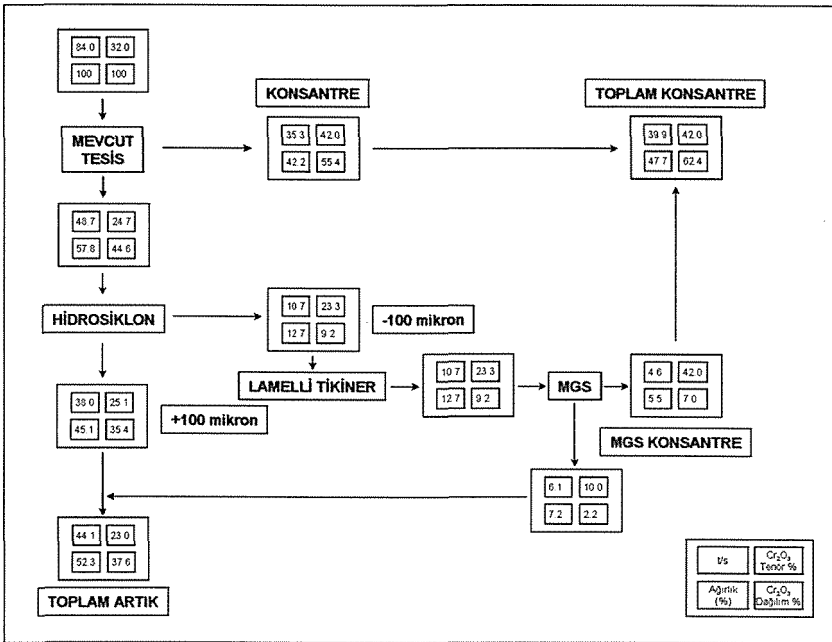
3 KEF KONSANTRATÖRÜ İÇİN ÖNERİLEN PROSES ALTERNATİFLERİ VE ÖN EKONOMİK DEĞERLENDİRME

Literatürden bu tesisin 84 t/saatlik bir kapasite ile % 32 Cr₂O₃ tenörlü cevherden % 42 ortalama tenörlü % 44 Cr₂O₃ ve % 40 Cr₂O₃ içeren iki tip konsantre kazanımı için dizayn edildiği bilinmektedir (Çiçek vd., 1998).

Dizayn kapasitede artıkların tenörü % 16-17 Cr₂O₃ olarak verilmiştir. Ancak, tesisten alınan artık numunelerindeki kromit kaçakları bu değerden çok daha yüksektir.

(% 24.7 Cr₂O₃). Ön ekonomik değerlendirmelerde, yapılan araştırmadaki sonuçların değerlendirilebilmesi için artıklardaki Cr₂O₃ tenörü % 24.7, ham cevher tenörü % 32 ve toplam konsantre tenörü ise % 42 olarak alınmıştır. Kef artıklarının MGS ile değerlendirilmesinde 2 alternatif öngörülmüştür

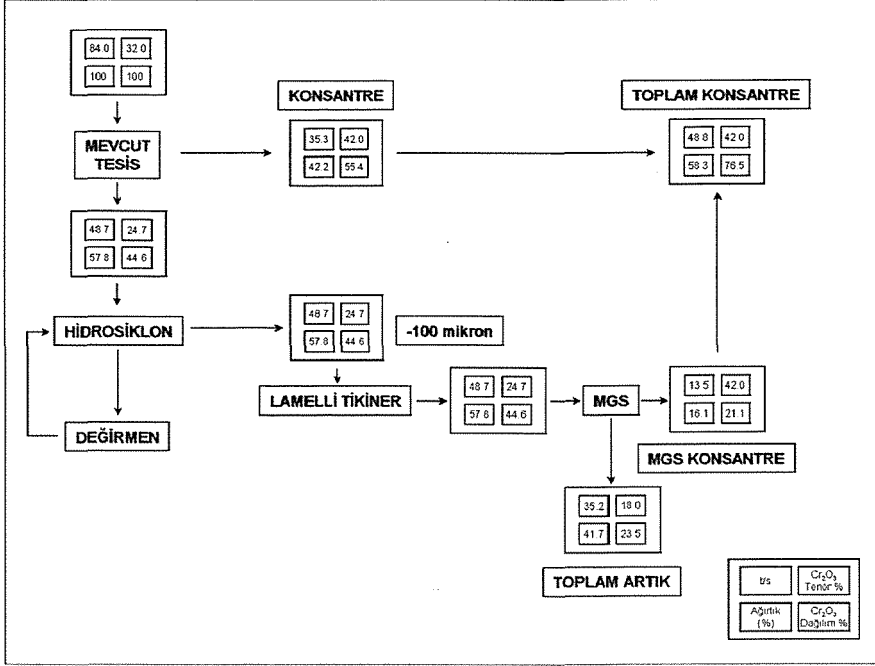
Alternatif 1: Kef artıklarının sadece 100 mikron altında kalan bölümünün hidrosiklonlar vasıtasıyla kaba artıktan ayrılması ve MGS ile zenginleştirilmesi. Bu alternatifin kütle/metal bilançosu Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Alternatif 1 için kütle/metal bilanço ve akım şeması

Alternatif 2: Kef artıklarının 100 mikron altında kalan bölümünün hidrosiklonlarla kaba fraksiyondan ayrılması ve kaba fraksiyonun bir bilyalı değirmen ile – 100

mikron ebadına öğütülmesi (kapalı devre), elde edilen ince malzemenin MGS ile zenginleştirilmesi (Şekil 4).



Şekil 4. Alternatif 2 için kütle/metal bilanço ve akım şeması

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu iki alternatif için gerekli olan ekipmanlar ile ekonomik değerlendirme Çizelge 5'te sunulmuştur. Bu değerlendirmeye göre dizayn kapasitede, 1. Alternatifte elde edilecek ek konsantre miktarı 23 000 t/yıl olup yıllık kar 2 150 000 US\$'dır. 2. alternatifte elde edilebilecek ek konsantre miktarı 67 000 t/yılı aşmakta olup elde edilecek yıllık kar ise 6 250 000 US\$'dır.

Sunulan proses alternatifleri için önerilen ekipmanların cinsleri, boyutları ve tahmini bedelleri Çizelge 6'da sunulmaktadır.

Kef kromit konsantratörü artıkları ile yapılan çalışmada tesis artıklarının – 100 mikronun altında kalan kısmının MGS ile zenginleştirilmesinin teknik ve ekonomik açıdan uygun olduğu ortaya çıkarılmıştır (Alternatif 1). Bu tesisin 100 mikron

büyük tane boyutunda olan artıklarının 100 mikron altına öğütülüp MGS ile zenginleştirilmesi de mümkündür. Bu sayede tesisin toplam kromit verimi en üst seviyeye çekilebilir (Alternatif 2).

Tesisin konsantre verimi ağırlıkça Alternatif 1 ve 2 de sırası ile % 13 ve % 38 oranında artırılabilir. % 55 civarında olan tesis kromit verimi % 62.5 (alternatif 1) ve % 76.5 (alternatif 2) seviyelerine yükseltilebilir. Bu çalışma, ince tane boyutu için geliştirilmiş santrifüj etkili MGS cihazı ile Kef kromit konsantratörü artıklarından önemli miktarda kromit geri kazanılabileceğini göstermiştir.

MGS kullanımının önerildiği her iki alternatifte de tesiste bulunan ve verim alınamayan yüksek alan şiddetli manyetik separatörün kullanımına gerek kalmamaktadır.

Ön ekonomik değerlendirmeden görüldüğü üzere önerilen alternatiflerin ikisinde ekonomik olup yatırım masrafları 7 aydan kısa bir sürede geri ödenmektedir. Öğütmenin olmadığı 1. alternatif tesise kolayca adapte edilecek nitelikte olup, kısa zamanda devreye alınabilir. Öğütme devresi yatırımı ise daha sonra yapılabilir.

Daha güvenilir bir tekno-ekonomik fizibilite etüdü için, tesisin tam kapasite çalıştırıldığı sırada besleme malından, üründen, artıktan ve çeşitli ara ürünlerden alınacak temsili numunelerin tane boyu dağılımı, tenör, katı/sıvı oranı ve miktar açısından incelenmesi ve ek ekipmanların kapasitelerinin, özelliklerinin tekrar saptanması gerekmektedir.

Çizelge 5. Kef konsantratörü artıklarının MGS ile geri kazanılmasında önerilen 2 alternatifin ön ekonomik değerlendirilmesi

Alternatifler	Birim	Kef 1	Kef 2
Tesis kapasite	t/saat	84	84
Net çalışma zamanı	saat/y	5000	5000
İşlenecek artık	t/saat	48.7	48.7
İşlenecek artık	t/yıl	243 500	243 500
Elde edilecek ek konsantre	t/yıl	23 000	67 500
Konsantre değeri	US\$/t	100	100
Gerekli ekipman			
MGS 20-25 t/h	Adet	1	2
Siklon	Adet	4	8
Bilyalı değirmen	Adet	-	1
Pompa	Adet	1	2
Lamelli tikiner	Adet	1	1
Yatırım maliyet			
MGS 20 t/h	US\$	750 000	1 500 000
Siklon	US\$	40 000	80 000
Değirmen	US\$	-	800 000
Pompa	US\$	50 000	140 000
Lamelle tikiner	US\$	100 000	150 000
Diğer	US\$	100 000	200 000
Montaj	US\$	200 000	500 000
Toplam	US\$	1 240 000	3 370 000
Giderler			
İşletme giderleri (enerji, su, öğütme medyası, astar ve diğer)	US\$/y	50 000	250 000
Tamir bakım giderleri	US\$/y	50 000	150 000
Personel giderleri	US\$/y	50 000	100 000
Toplam		150 000	500 000
Konsantre değeri	US\$/y	2 300 000	6 750 000
Kar	US\$/y	2 150 000	6 250 000
Yatırım geri ödeme süresi	Ay	7	6.5

Çizelge 6. Kullanılacak ekipmanların özellikleri ve tahmini bedelleri.

Ekipman cinsi	Özellikleri	Bedel (US\$/adet)
MGS (Megasep)	20-25 t/h kapasiteli	750 000
Bilyalı değirmen	Çap: 3.5 m Boy: 5.0 m Motor: 600 kW	800 000
Hidrosiklon	Çap: 15 inç, kauçuk astarlı	10 000
Pompa	10 x 8 inç Motor: 60 kW Hız ayarlı + Pompa havuzu	70 000
Pompa	8 x 6 inç Motor: 30 kW Hız ayarlı + Pompa havuzu	50 000
Lamelli tikiner	300 m ³ /saat	150 000
Lamelli tikiner	100 m ³ /saat	100 000

KAYNAKLAR

- Atalay, U., 1986, Surface Properties of Chromite and Concentration of Chromite Gravity Tailings. PhD, Thesis METU-Ankara, Turkey.
- Chan, S. K., Mozley, R. H. and Childs, G. J. C., The Multi- Gravity Separator (MGS)- A Mine Scale Machine, Richaard Mozley Limited, Redruth, Cornwall, 1991 U.K., 20pp.
- Çiçek, T., Cöcen, I., Samanlı, S., 1998, Gravimetric concentration of fine chromite tailings. In: Atak., S., Onal, G., Celik, M. S., eds. Innovations in Mineral and Coal Processing, Balkema, Rotterdam, 731-736.
- Çiçek, T., Cöcen I., Birlık M. Applicability of Multi Gravity Separation to Kop Chromite Concentration Plant, (8. IMPS' Antalya/turkey), 2000
- Çiçek, T., Cöcen I., Applicability of Mozley multi gravity separator (MGS) to fine chromite tailings of Turkish chromite concentrating plants, Minerals Engineering, 2002, Vol. 15, pp. 91-93.

- Gence, N. Beneficiation of Elazığ-Kefdağ chromite by multi-gravity separator, Turkish Journal of Engineering and Environmental Science, Vol. 23, 1999, pp. 473-475.
- Güney, A., Sirkeci, A. A., Gurkan, V., Onal, G., Recovery of chromite fines from the tailings of Uckopru chromium plant using HIWMS. In: Kemal, M., Arslan, V., Akar, A., Canbazoglu, M., Changing Scopes in Mineral Processing, Balkema, 1996, Rotterdam, p.p. 149-154.
- O. Bayat, I. Cöcen, T. Çiçek, V. Ozsever, H. Vapur, S. Inan, Concentration of Aladag-Adana chromite tailings by gravitational methods, 8th Balkan Mineral processing conference, 13-18 Sept. 1999
- Ozdag, H., Ucbas, Y., Koca, S., 1994, Recovery of chromite from slime and table tailings by Multi-Gravity Separator. In: Innovations of Mineral Processing, Sudbury, Canada, p. 267.
- Sariiz, K., 1997, Türkiye'nin Maden Potansiyeli, Metal Maden, İMMİB İhracat dergisi, cilt 7, sayı 39-40.

Delme ve Patlatma
Drilling and Blasting

Hassas Tesisler İçin Titreşim Kontrollü Patlatma Tekniğinin Uygulanması

The Application of Vibration Controlled Blasting Technique for a Sensitive Facility

G. Konak, D. Karakuş, A.H. Onur, H. Köse, A. Gönen
Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET Madencilik sektöründe giderek artan problemlerden biri gerçekleştirilen patlatma operasyonlarının çevreye verdiği olumsuz etkilerdir. Özellikle, ruhsat sahalarının yerleşim bölgelerine yakınlığı, tarihi ve askeri bölgeler, doğa ve çevre üzerine duyulan endişeler sıradan patlatma operasyonlarını bile kısıtlayıcı hale getirmektedir. Bu kapsamda benzer bir durum İzmir'de faaliyet gösteren bir kalker işletmesi için oluşmuştur. Bu işletmeye ait iki adet kalker ocağının yakınında bulunan hassas tesisler, patlatmalar sonucunda oluşacak sarsıntıların tesisler içerisinde bulunan hassas yapılarla ulaşmadan sönmülmesini talep etmişlerdir. Yapılan saha çalışmaları ile belirlenen 2 farklı bölgede yapılan patlatmaların hassas tesislere etkisi araştırılmıştır. Yapılan titreşim ölçümlerinden elde edilen verilerle göre patlatmalar sonucu oluşan yer sarsıntıları analiz edilmiş, risk haritası çıkarılmış ve hassas tesisler yönünde oluşabilecek titreşimlerin tesislere hiç bir zarar vermemesi için bir patlatma düzeni geliştirilmiştir.

ABSTRACT One of the main considerations in mining activities is blasting induced environmental impacts which effect historical, military and natural resources if blasting operations are close to those facilities. The same case that is subjected to this paper has occurred in İzmir at two different Limestone quarries having boundaries with a sensitive facilities. Instead of not allowing blasting operations, officers of sensitive facility tried to find a scientific way to establish safety distances that does not allow the vibration affect to their services. In this paper, the study done on constituting the non effecting zone by formulating ground vibration analysis has been given in detail. A new blasting pattern has been offered to reduce the risk on sensitive facilities.

1 GİRİŞ

Şehirlerin büyümesi sonucu önceleri şehir dışında bulunan maden işletmeleri artık şehir sınırlarına dayanmış ve özellikle patlatmanın kaçınılmaz olduğu maden işletmeleri şikayetlere maruz kalarak, çevresel etki açısından hukusal sürelerin içine girmişlerdir. Şikayetlerin nedeni farklı olabilese de konunun incelenmesi ve titreşimlerin doğru olarak analiz edilmesi gerekmektedir.

Sorunun çözülmesi amacıyla uzun yıllar araştırmalar yapılmış ve hasar kriterinin belirlenmesine yönelik farklı ülkeler kendi yapı koşullarını içeren standartlar geliştirmişlerdir. Ülkemizde de konuyla ilgili 01/07/2005 tarihinde resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren *Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği* ile üretim faaliyetlerinden kaynaklanan titreşimler için sınır titreşim değerleri verilmiştir. Bu yöntemliğin 29.

maddesinin a, b ve c bentlerinde titreşimler kaynaklarına ve tiplerine göre sınıflandırılmış ve hasar limitleri bu sınıflandırma esas alınarak belirlenmiştir (Onur, vd. 2006)

Her ne kadar bu yönetmelik ile patlatmadan kaynaklanan titreşim değerleri maden ve taş ocaklarında frekans değerine bağlı olarak en düşük 5 mm/sn olarak verilmiş olsa da bazı özel durumlarda, özellikle hassas tesisler yakınında, üretim yapan maden işletmelerine çalışma izninin verilmesi için sıfır sarsıntı değeri talep edilebilmektedir. Benzer bir durum İzmir'de faaliyet gösteren bir kalker işletmesi için oluşmuştur. Bu işletmeye ait iki adet kalker ocağının yakınında bulunan hassas tesis sorumluları, patlatmalar sonucunda oluşacak sarsıntılarının tesisler içerisinde bulunan hassas yapılara ulaşmadan sönümlenmesini talep etmişlerdir.

Bu çalışmada sözkonusu kalker işletmesine ait iki adet kalker ocağında yürütülen saha çalışmaları ile belirlenen bölgelerde yapılan patlatmaların hassas tesislere etkisi araştırılmış, patlatmalar sonucu oluşan yer sarsıntıları matematiksel olarak modellenmiş, risk haritası çıkarılmış ve hassas tesisler yönünde oluşabilecek titreşimlerin tesislere hiç bir zarar vermemesi için bir patlatma düzeni geliştirilmiştir.

1.1 Yer Sarsıntısının Teorisi

Patlayıcılar, patlatma anında formasyona çok yüksek ısı, basınç ve gaz ürünleri verirler. Patlatmadan oluşan gazların hızla genişleyerek yakın çevredeki kayanın mukavemetini aşan yüksek basınç oluşturur ve kayaç kütlelerinde ufalama bölgesiyle birlikte radyal çatlaklar meydana gelir. Yüksek sıcaklık ve basınçtaki gazlar oluşan radyal çatlaklara girer ve serbest yüzeye ulaşınca kadar devam eder. Çatlak sistemlerinin serbest yüzeye ulaşmasıyla birlikte genişleyen basınçlı gaz boşalır ve kayayı iter. Patlayıcılar sahip olduğu enerjinin büyük kısmını kayayı parçalamak için kullanırken, geriye kalan kısmı elastik dalgalar halinde her yöne yayılarak titreşime neden olur (Duvall, 1953, Fogelson, vd. 1959, Grant,1980).

Titreşime neden olan bu şok dalgası yüzey içinde sismik dalgalar şeklinde yayılır. Sismik dalgalar, enerjileri tükeninceye kadar yayılmaya devam ederler ve elastik olarak yayılırlar. Enerji sönümlenmesinin iki nedeni vardır. Birincisi kaya yapısının gerek fiziksel gerekse jeolojik olarak gösterdiği direnç, ikincisi ise, geometrik olarak sismik dalganın kaynağından uzaklaştıkça daha geniş bir alana yayılmasıdır. Formasyonun derinliklerine yayılan dalga türleri P ve S dalgası olarak sınıflandırılır ve gövde dalgaları ismi verilir. Kayaç yapısında bulunan çok sayıda katmanlar, süreksizlikler yansıma ve kırılma odakları oluşturarak yüzey dalgaları olarak isimlendirilen sismik dalgaların oluşmasına neden olur. Jeolojik yapıya bağlı olarak oluşan yüzey dalgaları çok çeşitli olmasına rağmen, temel olarak iki yüzey dalgası tarif edilmektedir. Geriye bastırılmış eliptik şekilde hareket veren Rayleigh dalgasının uzunlamasına ve düşey ekseninde bileşenleri bulunur. Yanlamasına polarize olabilen Love dalgalarının sadece uzunlamasına ve yanlamasına ekseninde bileşenleri vardır ve tavanda, tabanda iyi yansıma koşulları olan katmanlarda oluşmaktadır (Erkoç. 1998).

1.2 Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Ölçümü

Bir kaynaktan yayılan sismik dalganın elemanları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Dalga yayılma hızı (m/sn)
- Kütle Hızı (partikül hızı) (mm/sn)
- İvme (mm/sn^2)
- Frekans (Hz)
- Deplasman (mm)

Dalga hızı kayaçların fiziksel ve jeolojik özelliklerine bağlı olarak değişmez bir elemandır ve hasar kriterlerinin belirlenmesinde kullanılmaz (Erkoç, 1990). Yer sarsıntısının ölçümü amacıyla üretici firmalar tarafından sarsıntı ölçer cihazlar geliştirilmiştir. Bu cihazlar yer sarsıntısının bir noktada meydana getirdiği hareketi dalga formunda kayıt edebilmekte ve yukarıda verilen elemanlarının sayısal değerlerini tespit edebilmektedir. Uzun yıllar boyu

yapılan çalışmalar sonucunda hasar kriterinin belirlenmesinde kullanılacak en etkili elemanın partikül hızı ve frekans olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

1.3 Yer Sarsıntısı Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Bir patlatmadan alınan titreşim kaydı oluşan bütün dalga formlarını içerebilmektedir. Bu dalga formlarının birbirinden ayrılması filtre edilmesi oldukça zor ve uzmanlık gerektiren bir konudur. Bir patlatmadan sonra kayıt noktasına yüksek hızları nedeniyle P ve S dalgaları ulaşır. Daha sonra P ve S dalgalarının oluşturduğu Love veya Rayleigh dalgaları oluşur (Erkoç ve Esen 1998).

Üretici firmalar tarafından imal edilen cihazlar kütle hızı ölçerlerdir ve çıktılarda verilen ivme, deplasman değerleri kütle hızının matematiksel olarak çevrilmesinden elde edilir. Bir yaklaşım olarak herhangi bir eksende maksimum partikül hızının olduğu anda diğer eksenlerdeki partikül hızları değerleri kullanılarak bileşke partikül hızı bulunmaktadır (Erkoç, 1998).

1.4 Yer Sarsıntılarının Etki Mesafeleri

Bir patlatmada yer sarsıntısı aşağıdaki parametrelere bağlı olarak değişir.

- Aynı anda gecikme başına patlayan patlayıcı madde miktarı,
- Patlatma dizaynı (Gecikmeli kapsül ve orta çekme. delik eğimi vs.),
- Kaya karakteristiği,
- Patlatma bölgesinden olan uzaklık,
- Bölgeyi çevreleyen yapının jeolojisi,

Yerleşim bölgelerine yakın yapılan patlatmaların planlanmasında mesafe, şarj, jeolojik yapı ve yer sarsıntıları arasındaki ilişkinin önemi göz önüne alınmalıdır.

Bu ilişki parametrelerinin tümü kullanılarak; Duvall ve Fogelson (1962) patlatmanın sismik geometriye sahip olduğunu, patlayıcı miktarının karekökü ile doğrusal ilişkisi bulunduğunu ileri sürmüşler ve aşağıdaki eşitliği önermişlerdir.

$$V = K \left(\frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^{-\beta} \quad (1)$$

Burada;

V : Bileşke partikül hızı (mm/sn)

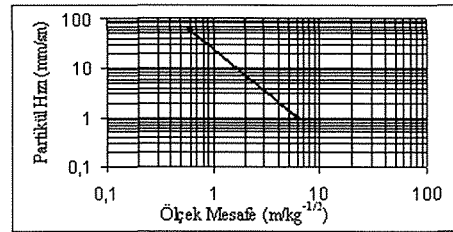
R : Titreşim ölçüm mesafesi (m)

Q : Gecikme başına düşen patlayıcı miktarı

K : Arazi katsayısı

β : Arazi sönümlenme katsayısı

Bu eşitlikte R/\sqrt{Q} elamanına "ölçekli mesafe" denir. Bu denklemdeki arazi ile ilgili sönümlenme parametreleri, K ve β katsayılarının tahmini veya bir başka yoldan hesaplanabilmesi mümkün değildir. Bu amaçla partikül hızlarını ölçebilecek bir titreşim ölçer cihaz ile farklı ölçekli mesafelerde (farklı şarj miktarı ve farklı mesafelerde) yapılan atımlardan partikül hızları değerleri ölçülerek Şekil 1'deki logaritmik grafiğe işlenir ve arazi ile ilgili K ve β katsayıları bulunur (Onur vd., 2005).



Şekil 1. Ölçekli mesafe-partikül hızı ilişkisi.

Arazinin sönümlenme karakteristiğinin belirlenmesinden sonra Şekil 1'de verilen grafikten istenilen partikül hızlarının oluşması için gerekli R ve Q değerleri kolaylıkla saptanabilir (Onur vd., 2005).

2 ARAZİ ÇALIŞMASI

Arazi çalışması kapsamında öncelikle işletmenin mevcut patlatma düzeni kullanılarak ocakların hassas tesislere en yakın kısımlarında patlatmalar dizayn edilmiştir. Burada amaç, işletme ile hassas tesisler arasında bulunan ve yer sarsıntısını karakterize etmeyi sağlayacak olan arazilerin, arazi katsayısı ve sönümlenme katsayılarının tespit edilmesidir.

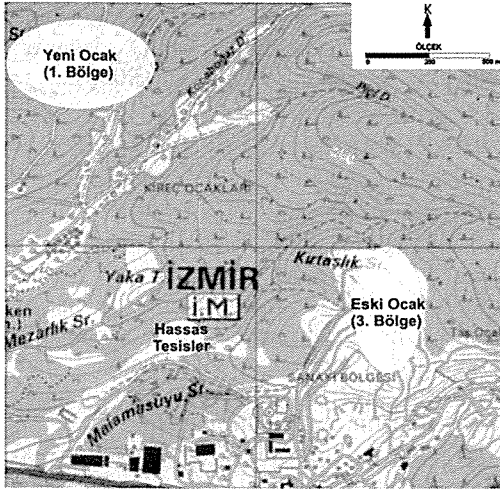
Bu amaçla sözkonusu işletmeye ait iki farklı bölgede bulunan ruhsatlı sahalarda araştırma patlatmalarından titreşim ölçümleri alınmış daha sonra geliştirilen yeni patlatma

düzeni ile iki farklı bölgede yapılan patlatmaların hassas tesislere etkisi incelenmiştir.

İncelenen bölge İzmir ili Bornova ilçesinin kuzeydoğusunda bulunmaktadır. İşletmeye ait birinci kalker sahası L18-b1 paftasında 4257000 - 4258000 kuzey 522000 - 525000 doğu koordinatları arasında yer almaktadır ve **Yeni Ocak** olarak adlandırılmaktadır. İkinci kalker sahası ise yine İzmir İli Bornova ilçesinin kuzeydoğusunda L18-b1 paftasında 4256000-4257000 kuzey, 525000-526000 koordinatları arasında yer almaktadır ve **Eski Ocak** olarak isimlendirilmiştir.

2.1 Mevcut Patlatma Düzeni ile Yapılan Titreşim Ölçümleri

İşletmeye ait kalker ocaklarında yapılan patlatmaların hassas tesislere etkisinin araştırılması amacıyla öncelikle mevcut patlatma düzeninde titreşim ölçümleri alınmıştır. Şekil 2'de görüldüğü gibi Yeni Ocak hassas tesislerin 1200 m kuzey batısında, Eski Ocak ise 850 m doğusunda yer almaktadır. İki ocakta da aktif olarak patlatma yapılırsa da Eski Ocak doğu tarafında ilerleyerek hassas tesislerden uzaklaşmaktadır. Yeni Ocak ise hassas tesislere belirli bir mesafeyi koruyarak doğu yönünde ilerlemektedir.



Şekil 2. Patlatma yapılan bölgeler ve hassas tesislerin yerini gösteren harita.

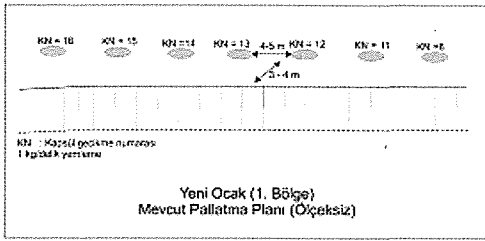
Araştırma kapsamında Yeni Ocakta, işletmenin kullandığı mevcut patlatma düzeni ile 9 adet patlatmadan titreşim ölçümü yapılmıştır. Bu ocakta, basamak yükseklikleri 10-15 m arasında değişmektedir. Bölgede yapılan mevcut patlatmalarda delik boyuna ve şarj kolonu yüksekliğine bağlı olarak çift yemleme (1 kg) kullanılmaktadır. Buna göre 12 m'den uzun olan deliklerde düşey gecikme uygulaması yapılmadan çift yemleme uygulanmaktadır. Bölgede yapılan patlatmalarda delik çapı 145 mm, delikler arası mesafe 4-5 m, dilim kalınlıkları 3 - 4 m ve sıkılama boyu 3 - 4 m olarak tasarlanmaktadır.

Eski Ocakta, işletmenin kullandığı mevcut düzene göre 6 adet patlatma, titreşim ölçümü için gözlenmiş ve çift titreşim ölçüm cihazı kullanılarak değişik mesafelerden 7 adet titreşim ölçümü alınmıştır. Bu ocakta basamaklar güney-kuzey boyunca uzanmaktadır ve yükseklikleri 17 -20 m arasında değişmektedir. Mevcut patlatma düzeninde delik boyu ve şarj kolonu yükseklikleri fazla olması nedeniyle düşey gecikme uygulanmadan, 1 kg'lık çift yemleme kullanılmaktadır. Delik çapı 165 - 145 mm olan patlatmalarda, genel olarak, delikler arası mesafe 4 - 5 m, dilim kalınlıkları 2,5 - 4 m ve sıkılama boyu 3-6 m olacak şekilde patlatmalar yapılmaktadır. Yeni ve Eski Ocakta yapılan patlatmalardan birer örnek plan görünüş Şekil 3 a ve b'de, genel olarak kullanılan patlatma deliği düşey kesitleri Şekil 4a ve b'de verilmiştir.

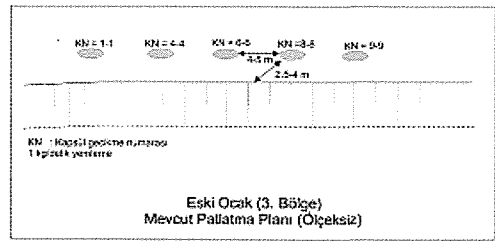
Yeni Ocak ve Eski Ocakta yapılan araştırma patlatmalarından alınan bileşke partikül hızları değerleri patlatmalarda kullanılan anlık patlayıcı miktarları ve patlatma noktasına olan uzaklıklar Çizelge 1'de verilmiştir. Buna göre Yeni Ocakta 9 adet patlatmadan 12 adet titreşim kaydı alınmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda, elde edilen bileşke partikül hız değerleri 0.82 - 13,50 mm/sn arasında değişmektedir. Eski Ocakta ise, toplam 6 adet araştırma patlatmasından 7 adet titreşim ölçümü alınmıştır. Burada yapılan ölçümler sonucunda, elde edilen bileşke partikül hız

değerleri 0,83 – 7,00 mm/sn arasında değişmektedir. Patlatma noktaları ve ölçüm

noktalarını gösterir harita Şekil 5’de verilmiştir.

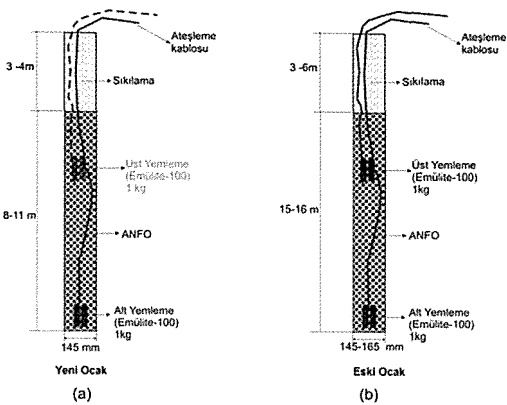


(a)



(b)

Şekil 3. Yeni ve Eski Ocak mevcut düzen ile yapılan örnek patlatma planları.



(a)

(b)

Şekil 4. Mevcut patlatma delikleri düşey kesitleri (genel), (a) Yeni Ocak, (b) Eski Ocak.

Yeni Ocakta yapılan patlatma ölçümleri değerlendirildiğinde, ölçekli mesafe (R/\sqrt{Q}) – bileşke partikül hızı ilişkisi grafiği Şekil 6’da verildiği gibi oluşmuştur.

Grafikte görüldüğü gibi yapılan patlatma ölçümlerinin 2 tanesinde herhangi bir titreşim kaydı alınmaması nedeniyle değerlendirilmemiştir.

Yapılan analiz sonucunda araştırılan Yeni Ocak için arazi ve sönümlenme katsayıları $K = 3359,7$; $\beta = 2,1333$ ile % 84 lik korelasyon katsayısı belirlenmiştir. Elde edilen katsayılar Eşitlik 1’de kullanıldığında eşitlik aşağıdaki gibi elde edilir.

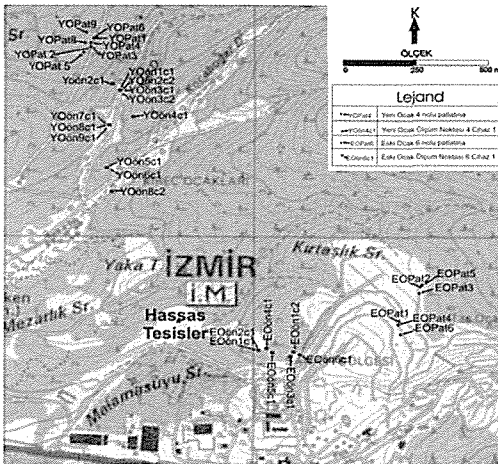
$$V = 3359,7 \left(\frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^{-2,1333} \quad (2)$$

Eski Ocakta yapılan patlatma ölçümleri değerlendirildiğinde, ölçekli mesafe (R/\sqrt{Q}) – bileşke partikül hızı ilişkisi grafiği Şekil 6’da verildiği gibi oluşmuştur.

Yapılan analiz sonucunda araştırılan bölge için arazi ve sönümlenme katsayıları $K = 3806,9$; $\beta = 1,9826$ ile % 85’lik korelasyon katsayısı ile belirlenmiştir. Elde edilen katsayılar Eşitlik 1’de kullanıldığında, katsayılar aşağıdaki gibi elde edilir.

$$V = 3806,9 \left(\frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,9826} \quad (3)$$

Yeni Ocak ve Eski Ocak olarak adlandırılan bölgelerde mevcut düzeni ile yapılan patlatmaların hassas tesislere etkisi araştırılmış, arazi katsayıları ve sönümlenme katsayıları arazide yapılan titreşim ölçümleri sonucunda hesaplanmıştır.

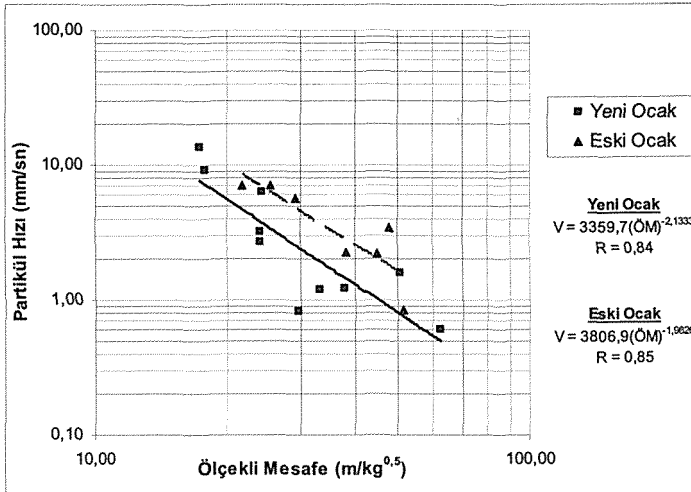


Şekil 5. Mevcut patlatma düzenine göre bölgede yapılan araştırma patlatmaları noktaları.

Çizelge 1. Mevcut patlatma düzeni ile yapılan araştırma patlatmaları ölçüm mesafesi, anlık patlayıcı miktarı, bileşke partikül hız değerleri.

YENİ OCAK MEVCUT PATLATMA DÜZENİ TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİ				
Patlatma No	Ölçüm Mesafesi (m)	Anlık Patlayıcı Miktarı (kg)	Ölçekli Mesafe (m/kg ^{0,5})	Bileşke Partikül Hız (mm/sn)
Patlatma 1 (Cihaz 1)	241	192	17,36	13,5
Patlatma 2 (Cihaz 1)	157	77	17,89	9,16
Patlatma 2 (Cihaz 2)	213	77	24,28	6,30
Patlatma 3 (Cihaz 1)	212	77	24,12	3,2
Patlatma 3 (Cihaz 2)	212	77	24,12	2,7
Patlatma 4 (Cihaz 1)	332	77	37,85	1,21
Patlatma 5 (Cihaz 1)	510	154	41,10	<0,5*
Patlatma 6 (Cihaz 1)	567	224	37,89	<0,5*
Patlatma 7 (Cihaz 1)	516	104	50,55	1,6
Patlatma 8 (Cihaz 1)	309	87	33,17	1,18
Patlatma 8 (Cihaz 2)	583	87	62,53	0,6
Patlatma 9 (Cihaz 1)	390	174	29,55	0,82
ESKİ OCAK MEVCUT PATLATMA DÜZENİ TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİ				
Patlatma 1 (Cihaz 1)	509	304	29,17	5,62
Patlatma 1 (Cihaz 2)	443	304	25,40	7,00
Patlatma 2 (Cihaz 1)	641	204	44,88	2,22
Patlatma 3 (Cihaz 1)	579	127	51,41	0,83
Patlatma 4 (Cihaz 1)	540	127	47,89	3,42
Patlatma 5 (Cihaz 1)	662	304	37,94	2,27
Patlatma 6 (Cihaz 1)	409	354	21,75	6,97

*Titreşim ölçer cihazın alt limiti 0,5 mm/sn olması nedeniyle sıfır titreşim olarak kabul edilmektedir.



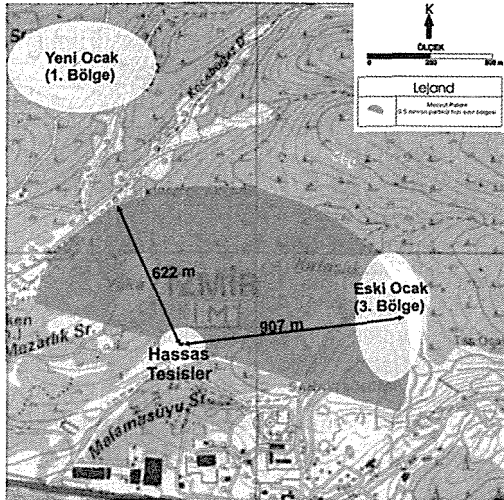
Şekil 6. Yeni ve Eski Ocak mevcut patlatma düzeni ölçekli mesafe-bileşke partikül hızı ilişkisi.

Yeni Ocak ve Eski Ocakta mevcut düzene göre hassas tesisler yönünde elde edilen arazi ve sönümlenme katsayıları kullanılarak risk haritası çıkarılmıştır. Analiz yapılırken gecikme başına maksimum 100 kg patlayıcı miktarı baz alınmış ve alt sınır limit (sıfır titreşim kabul edilen) bileşke partikül hızı olarak 0,5 mm/sn kullanılmıştır (Eşitlik 4).

$$0,5 \text{ mm/sn} = 3359,7 \left(\frac{R}{100 \text{ kg}} \right)^{-2,1333} \quad (4)$$

$$\Rightarrow R = 622 \text{ m}$$

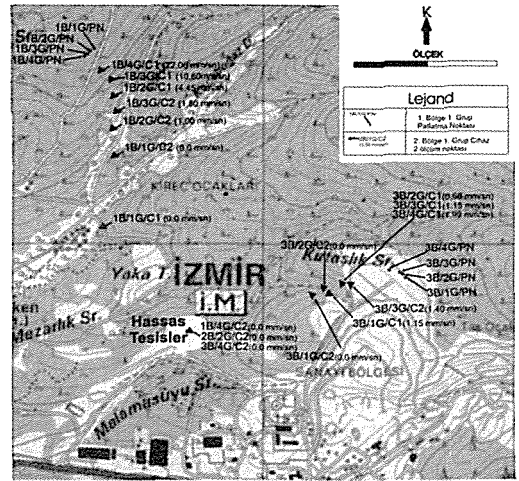
Eşitlik 4'e göre hesaplanan alt limit titreşim etki mesafeleri Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7'de görüldüğü gibi hassas tesisler ile Yeni Ocak arasında elde edilen katsayılar ile sıfır (0,5 mm/sn) titreşimin oluşacağı mesafe 622 m, Eski Ocak ile hassas tesisler arasındaki mesafe ise 907 m'dir. Bunun anlamı Yeni Ocak yönünde ocakta yapılan patlatmaların hassas tesislere 622 m mesafe yaklaştığında (mevcut patlatma düzeni kullanılarak) sıfır titreşim titreşim olarak kabul edilen titreşim değerinin üzerinde bir titreşim meydana gelecektir. Aynı şekilde hassas tesisler ile Eski Ocak yönü sıfır titreşim limit mesafesi 907 m olarak yorumlanır.



Şekil 7. Mevcut patlatma düzenine göre patlatma yapılan bölgeler ve hassas tesisler sıfır titreşim risk haritası.

2.2 Yeni Patlatma Düzeni ile Yapılan Titreşim Ölçümleri

Mevcut patlatma düzeninde titreşim analizleri yapılarak patlatmalar sonucu oluşan yer sarsıntısı analiz edildiğinde görüldüğü gibi Yeni ve Eski Ocakta yapılan patlatmaların neden olduğu titreşimler, hassas tesislerde izin verilen limitlerin altında oluşacaktır. Ancak risk haritasında görüldüğü gibi hedeflenen 0,5 mm/sn bileşke partikül hızı oluşturma limitleri eski ocagin bir kısmını kapsamaktadır. Hem Yeni Ocakta hem de Eski Ocakta patlatma düzeninde değişikliklere gidilerek yer sarsıntısını azaltılması yönünde tedbirler alınmış ve aynı bölgelerde hassas tesis yetkililerinin de hazır bulunduğu bir heyet ile titreşim ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yeni patlatma noktaları ve bölgenin haritası Şekil 8'de verilmiştir. Haritada görüldüğü gibi Eski Ocak yönünde işletmenin üretim faaliyeti nedeniyle heyetin bulunduğu ölçümlerde patlatma yönü farklı bir yön olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8. Yeni patlatma düzenine göre bölgede yapılan araştırma patlatmaları noktaları.

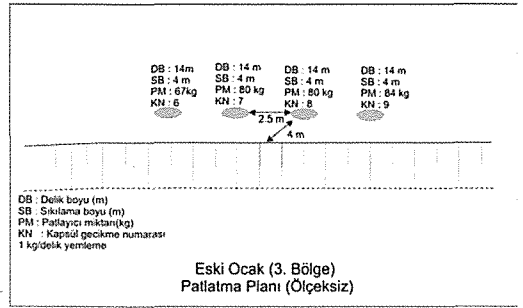
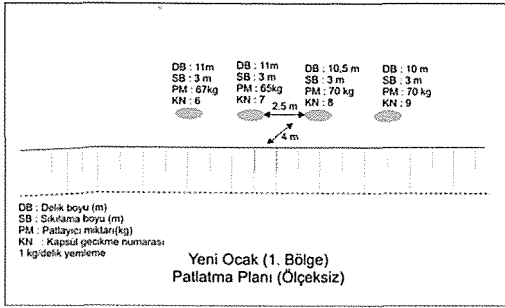
Yeni patlatma düzeni olarak, patlatma düzeninde iki önemli parametre değiştirilmiştir. Bunlardan birincisi mevcut patlatma düzeninde 3-4 m arası olan delikler arası mesafe 2,5 m olarak düzenlenmiştir. İkincisi ise, mevcut patlatma düzeninde delik

tabanına bulunan alt yemleme, delik tabanından 2m yükseğe yerleştirilmiştir. Bu şekilde, delik tabanından yaklaşık 2m yükseklikte gerçekleşecek ilk ateşlemenin delik taban payında olmaması sağlanarak yoğunluğu ANFO'ya göre daha yüksek olan yemleme şarjının bir tarafı serbest yüzeyde infilak etmesi sağlanmıştır. Böylelikle ilk şoka bağlı titreşim etkisinin azaltılması düşünülmüştür.

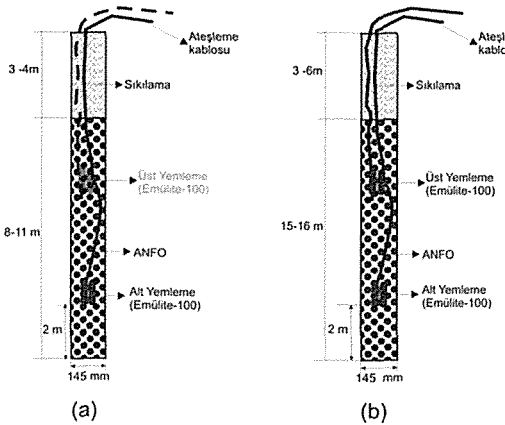
Hazırlanan yeni patlatma düzenine göre Yeni Ocakta (1. Bölge) yapılan 4 patlatmadan çift titreşim ölçüm cihazı kullanılarak 8 adet titreşim ölçümü

yapılmıştır. Eski Ocakta (3.Bölge) ise 4 adet patlatmadan değişik anlık patlayıcı miktarlarında çift titreşim ölçüm cihazı kullanılarak yine 8 adet titreşim ölçümü yapılmıştır. Ölçümlerde yeni düzene göre, farklı anlık patlayıcı miktarları ve farklı mesafelerde oluşturulan ölçüm istasyonları kullanılmıştır.

Yeni ve Eski Ocakta yeni düzene göre yapılan patlatmalardan birer örnek plan görüntü Şekil 9'da, yeni patlatma düzeni delik düşey kesiti (genel) Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 9. Yeni ve Eski Ocak patlatmaları plan görünüşü



Şekil 10. Yeni ve Eski Ocak patlatmaları deliklerin düşey kesitleri, (a) Yeni Ocak, (b) Eski Ocak.

Yeni Ocakta yapılan 4 adet patlatma titreşim ölçümü, değişik patlayıcı miktarlarında ve

değişik mesafelerde gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları, patlayıcı miktarları ve mesafeler toplu olarak Çizelge 2'de verilmektedir. Çizelge 2'de görüldüğü gibi ölçülen bileşke partikül hız değerleri farklı mesafelere göre 1,00 – 22,60 mm/sn arasında değişmektedir. Patlatma ölçümleri değerlendirildiğinde, ölçekli mesafe (R/\sqrt{Q}) – bileşke partikül hızı ilişkisi grafiği Şekil 11'de verildiği gibi oluşmuştur. Yapılan analiz sonucunda Yeni Ocak (1. Bölge) için yeni patlatma düzenine göre arazi ve sönümlenme katsayıları $K = 6931,3$; $\beta = -2,3832$ olarak % 97'lik korelasyon katsayısı ile belirlenmiştir.

$$V = 6931,3 \left(\frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^{-2,3832} \quad (5)$$

Eski Ocakta patlatmalar değişik patlayıcı miktarlarında yapılmış ve patlatma bölgesi ile hassas tesisler arasında değişik

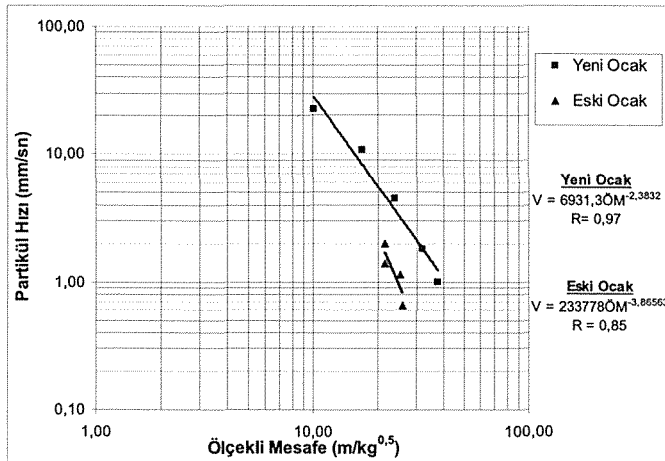
mesafelerde ölçüm alınmıştır. Ölçüm sonuçları Çizelge 2’de verilmektedir. Buna göre bölgede yapılan 4 adet ölçümün 4 adetinden titreşim kayıtları alınmış, 4 ölçümden ise titreşim ölçüm istasyonlarına herhangi bir titreşim ulaşmaması nedeniyle kayıt alınamamıştır. Patlatma ölçümleri değerlendirildiğinde, ölçekli mesafe (R/\sqrt{Q}) – bileşke partikül hızı ilişkisi grafiği Şekil

11’de verildiği gibi oluşmuştur. Yapılan analiz sonucunda 3. bölge için arazi ve sönümlenme katsayıları yeni patlatma düzenine göre $K = 233778$; $\beta = -3,8653$ olarak % .85’lik korelasyon katsayısı ile belirlenmiştir.

$$V = 233778 \left(\frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^{-3,8653} \quad (6)$$

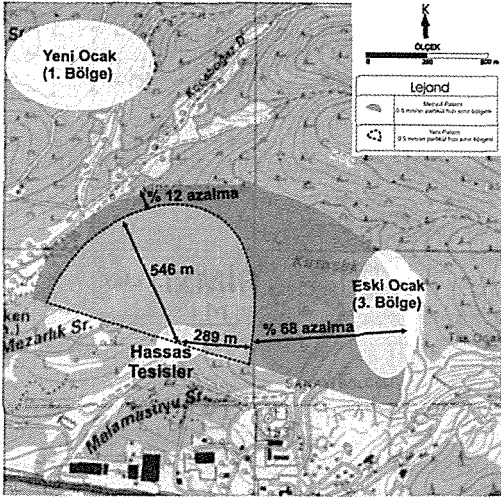
Çizelge 2. Yeni patlatma düzeni ile yapılan araştırma patlatmaları ölçüm mesafesi, anlık patlayıcı miktarı, bileşke partikül hız değerleri.

YENİ OCAK (1. BÖLGE) YENİ PATLATMA DÜZENİ TİTRESİM ÖLÇÜMLERİ				
Patlatma No	Ölçüm Mesafesi (m)	Anlık Patlayıcı Miktarı (kg)	Ölçekli Mesafe ($m/kg^{0,5}$)	Bileşke Partikül Hız (mm/sn)
1. Grup (Cihaz 1)	752	94	79,47	Kayıt Alınmadı
1. Grup (Cihaz 2)	458	94	48,22	Kayıt Alınmadı
2. Grup (Cihaz 1)	212	80	23,65	4,45
2. Grup (Cihaz 2)	335	80	37,45	1,00
3. Grup (Cihaz 1)	143	71	16,93	10,60
3. Grup (Cihaz 2)	268	71	31,75	1,80
4. Grup (Cihaz 1)	86	71	10,17	22,06
4. Grup (Cihaz 2)	1225	71	145,41	Kayıt Alınmadı
ESKİ OCAK (3. BÖLGE) YENİ PATLATMA DÜZENİ TİTRESİM ÖLÇÜMLERİ				
1. Grup (Cihaz 1)	309	71	36,69	Kayıt Alınmadı
1. Grup (Cihaz 2)	382	71	45,35	Kayıt Alınmadı
2. Grup (Cihaz 1)	237	85	25,73	0,66
2. Grup (Cihaz 2)	320	85	34,75	Kayıt Alınmadı
3. Grup (Cihaz 1)	227	81	25,21	1,15
3. Grup (Cihaz 2)	192	81	21,38	1,40
4. Grup (Cihaz 1)	192	81	21,36	1,99
4. Grup (Cihaz 2)	849	81	94,32	Kayıt Alınmadı



Şekil 11. Yeni ve Eski Ocak yeni patlatma düzeni ölçekli mesafe- bileşke partikül hızı ilişkisi.

Yeni patlatma düzeni ile iki farklı bölgede yapılan titreşim ölçümleri ile arazi katsayıları ve sönümlenme katsayıları tekrar hesaplanmıştır. Sıfır titreşim limit sınır mesafeleri hesaplanmasında mevcut düzen hesaplanmasında baz alınan 0,5 mm/sn bileşke partikül hızı değeri ve 100 kg anlık patlayıcı miktarı değiştirilmeden sadece katsayıların etkisi incelenmiştir. Buna göre oluşturulan risk haritası Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. Yeni ve eski patlatma düzenine göre sıfır titreşim risk haritası

2.3 Arazi Çalışması Değerlendirilmesi

Arazi çalışması kapsamında iki farklı bölgede hassas tesisler yönünde değişik patlayıcı miktarları ve değişik mesafelerde iki farklı patlatma düzende titreşim ölçümleri alınmıştır. Burada amaç hassas tesislerde sıfır bileşke partikül hızı olarak kabul edilen 0,5 mm/sn’lik vibrasyon hızlarının oluşmamasını sağlamaktır. Bileşke partikül hızının hesaplanmasında kullanılan formülde görüldüğü gibi sarsıntının azaltılması yönünde iki ana değişken vardır. Bunlar patlayıcı miktarı ve patlatma noktasından olan mesafedir. Ocakların ve hassas tesislerin yeri değişmeyeceği düşünülerek klasik analizlerde patlayıcı miktarının düşürülmesi ile bu tür problemlere çözüm sunulmaktadır. Ancak

eşitlikte bu iki değişkenin yanında arazi katsayısı ve sönümlenme katsayısı olarak isimlendirilen iki katsayı vardır. Bu katsayı değerleri sadece arazinin jeolojik ve fiziksel koşullarını belirleyen bir katsayı değil aynı zamanda patlatma düzeninde değişkenleri, patlatmanın yönü, titreşim dalgasının dairesel yayılma geometrisine göre konumu gibi değişkenleride içermektedir. Bu nedenle patlatma düzeninde ve patlatma yönünde yapılan sarsıntıyı azaltma yönündeki iyileştirmenin katsayıları belli oranlarda değiştireceği bu çalışmada tartışılmıştır.

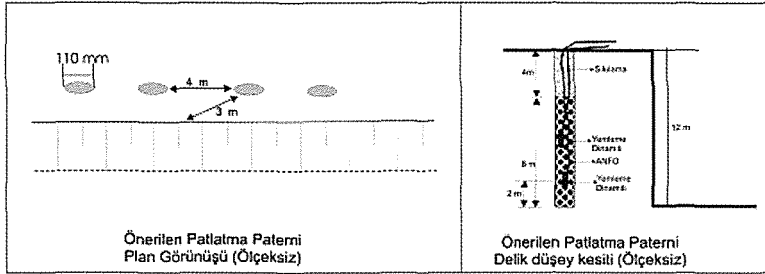
Şekil 12’de görüldüğü gibi patlatma düzeninde yapılan değişiklik sonucu 1. Bölge (Yeni Ocak) ile hassas tesisler arasında sıfır titreşimi veren mesafe 622 m’den 546 m’ye düşerek %12 oranında iyileştirilmiştir. Bu durum yeni patlatma düzeninden kaynaklanmaktadır.

3. Bölgede yapılan iki farklı grup titreşim araştırması sonucu Şekil 12’de görüldüğü sıfır titreşim sınırı 907 m’den 289 m’ye düşerek, % 68 oranında geri alınmıştır. Buradaki hesaplamalarda sıfır titreşim değeri olarak 0,5 mm/sn bileşke partikül hızı değeri limit kabul edilmiş ve anlık patlayıcı miktarı 100 kg olarak alınmıştır. Bu bölgede patlatma düzeninde yapılan değişikliğin yanısıra patlatma yönünün de değiştirilmesi sonucu yüksek oranda iyileştirilme sağlanmıştır.

Eski ve Yeni Ocakta ikinci grup patlatmalar sonucunda hassas tesislerin talep ettiği sıfır titreşim değerine ulaşılmıştır. Yer sarsıntısının çevresel kontrolü amacıyla işletmeye ikinci grup patlatma düzenine paralel yeni patlatma düzeni önerilmiştir. Yeni patlatma düzeni önerilirken güvenli bölgede kalınması amacıyla sarsıntıyı azaltıcı ilave önlemler göz önünde tutulmuş anlık patlayıcı miktarları analizlerde kullanılan değerlerden az olması talep edilmiştir. Buna göre basamak yüksekliklerinin 12 m olarak dizayn edilmesi ve bu basamaklarda 110 mm çapında patlatma deliklerinin delinmesi planlanmıştır. Delikler arası mesafe 4 m, dilim kalınlığı 3 m olacak şekilde delik düzeninin düzenlenmesi gerekmektedir.

Toplam delik boyunun % 30'u sıkılama ile doldurularak sıkılama kolonu boyu 4m, patlayıcı madde kolonu (şarj kolonu) boyu 8 m olarak gerçekleştirilecektir. 110 mm delik çapında 8 m yüksekliğinde şarj kolonuna, yoğunluğu yaklaşık 850 kg/m^3 olan ANFO'dan 64.52 kg doldurulabilecektir. Her delikte farklı gecikmeye sahip kapsüller kullanılarak gecikme başına maksimum 64.5

kg patlayıcı ateşlenecektir. Ancak deliklerin delinmesi esnasında çeşitli nedenlerde çapın genişlemesi ve delik içindeki girinti çıkıntılar nedeniyle gecikme başına 75 kg patlayıcı miktarı söz konusu olacaktır. Geliştirilen patlatma düzenine ait plan ve patlatma deliğinin düşey yöndeki kesiti Şekil 13'de verilmektedir.



Şekil 13. Önerilen yeni patlatma düzeni

3 SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, İzmir ilinin Bornava ilçesinde iki farklı kalker ocağında faaliyet gösteren bir işletmede, patlatmalardan kaynaklanan yer sarsıntılarının ocakların yakınında bulunan hassas tesislere etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda hassas tesisler tarafından talep edilen sıfır bileşke partikül hızı koşulları araştırılmış ve yapılan araştırma ölçümleri sonucu yeni patlatma düzeni geliştirilerek ocaklarda yapılacak patlatmaların hassas tesislere ulaşmadan sönmülenebileceği ortaya konmuştur. Buna göre;

1. İşletmeye ait Yeni Ocak (1. Bölge) olarak isimlendirilen bölgede işletmenin uyguladığı mevcut patlatma düzeni kullanılarak 9 adet araştırma patlatmasından değişik mesafelerde ve değişik patlayıcı miktarlarında titreşim ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler Yeni Ocak ile hassas tesisler arasında bulunan arazi üzerinde oluşturulan ölçüm istasyonunda gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler sonucunda işletmenin kullandığı mevcut patlatma düzenine göre arazi ve sönmülenme katsayıları $K = 3359,7$; $\beta = 2,1333$ ve %84 korelasyon katsayısı ile belirlenmiştir.

2. İşletmeye ait Eski Ocak (3. Bölge) olarak isimlendirilen bölgede işletmenin uyguladığı mevcut patlatma düzeni uygulanarak 6 adet patlatmadan titreşim ölçümü alınmış ve yapılan modelleme sonucunda mevcut düzene göre arazi ve sönmülenme katsayıları $K = 3806,9$; $\beta = 1,9826$, % 85 korelasyon katsayısı ile hesaplanmıştır.

3. Yapılan analiz sonucunda mevcut patlatma düzenine göre oluşturulan risk haritasında Yeni Ocak için 622 m, Eski Ocak için 907 m hassas tesislere yaklaşımları durumunda sıfır titreşimin üzerinde bir titreşim değerinin gerçekleşeceği tespit edilmiştir.

4. Mevcut düzen ile yapılan patlatmaların, özellikle Eski Ocakta gerçekleştirilecek olanlarının, hassas tesisler tarafından talep edilen sıfır titreşim koşullarını sağlaması amacıyla patlatma düzeninde yer sarsıntısını azaltıcı yönde değişiklikler yapılmıştır. Mevcut düzende 3,5 - 4 m olan delikler arası mesafe 2,5-3 m olacak şekilde düzenlenmiş, ayrıca alt yemleme yüksekliği taban payının üstüne alınarak delik tabanından 2m yüksekte olacak şekilde yeni patlatma düzeni geliştirilmiştir.

5. Yeni patlatma düzeni uygulanarak Yeni ve Eski Ocakta 4 adet araştırma patlatmasından titreşim ölçümleri alınmıştır. Buna göre Yeni Ocakta 4 patlatmadan 5 titreşim kaydı alınarak arazi ve sönümlenme katsayıları $K = 6931,3$; $\beta = -2,3832$ olarak % 97 korelasyon katsayısı ile belirlenmiştir. Eski Ocakta yeni patlatma düzeni ile 4 patlatmadan 4 titreşim ölçümü yapılarak $K = 233778$; $\beta = -3,8653$ olarak % 85 korelasyon katsayısı ile belirlenmiştir.

6. Geliştirilen yeni patlatma düzeni ile yapılan analize göre sıfır titreşim talep eden hassas tesisler ile Yeni Ocak arasındaki mesafede sıfır titreşim şartları için %12 lik bir iyileştirme hesaplanmıştır. Aynı şekilde Eski Ocak ile hassas tesisler arasındaki mesafede sıfır titreşim şartlarının oluşması için % 68 oranında iyileştirme tespit edilmiştir.

7. Araştırma sonucunda hassas tesisler tarafından önerilen sıfır titreşim için işletmeye ait ocaklarda yapılacak patlatmalarda kullanılacak yeni patlatma düzeni geliştirilmiş ve önerilmiştir. Öneride güvenli bölgede kalınması amacıyla delik çapları dolayısıyla patlayıcı şarj miktarları daha da düşürülmüştür. Yeni patlatma düzenine göre basamak yüksekliklerinin 12 m olarak dizayn edilmesi ve bu basamaklarda 110 mm çapında patlatma deliklerinin delinmesi planlanmıştır. Delikler arası mesafe 2,5-3 m, dilim kalınlığı 3 m olacak şekilde deliklerin düzenlenmesi gerekmektedir.

8. Ayrıca bu araştırma sonucunda, patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin incelenmesinde kullanılan eşitliklerde (Eşitlik 1) arazinin jeolojik yapısına, topografik koşullara bağlı olduğu düşünülen arazi katsayısı ve sönümlenme katsayısının aynı zamanda patlatma düzeninde kullanılan değişkenler ile birlikte basamak yönünden kaynaklanan titreşim dalgası yayılma koşullarını da farklı oranlarda içerdiği tartışılmıştır.

KAYNAKLAR

- Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı, 2005
- Duvall, I. W., 1953, Starin-Wave Shapes in Rock Near Explosions. *Geophysics*, (v.18, p. 310-323)
- Duvall, W.I, Fogelson, D.E. 1962. *Review criteria for estimating damage to residences from blasting vibration*. U.S Bureau of Mines Report of Investigation 5968
- Erkoç, Ö. Y., 1990. *Kaya Patlatma Tekniği*., Çeliker Matbaacılık, İstanbul, (s. 141)
- Erkoç, Ö.Y, 1998 Patlama İle Çevreye Verilen Sarsıntılar ve Hasar Kriteri Üzerine Bir Tartışma, 3. *Delme ve Patlatma Sempozyumu*, (s. 129-139), Ankara
- Erkoç, Ö.Y, Esen ,S. 1998 Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Ölçülmesi ve Sarsıntı Ölçer Cihaz Çıktılarının Değerlendirilmesi, 3. *Delme ve Patlatma Sempozyumu*, (s. 139-149), Ankara
- Fogelson, D.E., Duvall, I.W., Atchison, T.C., 1959, Strain Energy in Explosien-Generated Strain Pulses. *USBM Report no : RI 5514*
- Grant, C.H., 1980, An Emprical Method of Examing Energy Distribution in Blast Patterns. *Soc. Of Mining Engineers of AIME*
- Konak G., Onur A.H., Karakuş D., Küçük K., 2003. İzmir Bornova Mevkiinde Faaliyet Gösteren Taşocağında Yapılan Patlatmaların Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi, 3. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, (s. 15-20), İstanbul
- Onur, A., Konak, G., Karakuş, D., 2006. Madencilik ve Sanayii Faaliyetleri Sonucu Oluşan Titreşimlerin Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetim Yönetmeliğine Göre Değerlendirilmesi, Örnek Uygulama. *Doğu Karadeniz Bölgesi Maden Kaynaklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, (s. 157-165), Trabzon
- Onur A.H, Konak G., Karakuş D., Gönen A., Mallı, T. 2005 *Batıçım Kalker Ocaklarında Yapılan Patlatmaların Çevresel Etkileri* D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Araştırma Projesi Raporu, 2005

TKİ-GLİ Açık Ocaklarında Patlatma Delik Düzeninin Parçalanmaya ve Dekapaj Maliyetine Etkisi

The Effect of Blast Hole Geometry on Fragmentation and Overburden Costs in TKI-GLI Open Pit Mines

Ö. Uysal

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

E. Arpaz

Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli MYO, Kocaeli

İ. Topal, A.Ö. Ünlü

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

ÖZET Bu çalışmada TKİ-GLİ açık ocaklarında gerçekleştirilen delme-patlatma işlemleri ve bu patlamaların dekapaj maliyetine etkileri ele alınmıştır. Ele alınan panoda birer aylık süreler boyunca 3 ayrı delik düzeninde patlatma yapılmıştır. Delik düzeninin parçalanmaya olan etkisini ortaya koyabilmek için her bir delik düzeni için patlatma sonrası yığının boyut dağılımı belirlenmiştir. Ayrıca, her delik geometrisi için dekapaj birim maliyeti hesaplanmıştır. Bu çalışmalar sonucunda delik düzeni ve buna bağlı olarak parçalanma derecesinin dekapaj maliyeti üzerinde önemli bir etkisinin olduğu ortaya konulmuştur.

ABSTRACT In this study, drilling and blasting processes carried out in Garp Lignite Enterprise (GLE) open pit mines in Turkey and the effects of these processes on stripping costs were examined. In considered benches, three different drill-hole patterns were drilled for the blasting. The study has been carried out for a period of three months. In order to reveal the effect of drilling pattern on fragmentation, size distribution of muck pile for each drill-hole pattern was determined. In addition, stripping unit costs were calculated for each drill-hole pattern. The results of this study, showed that drill-hole pattern have significant effect on stripping costs.

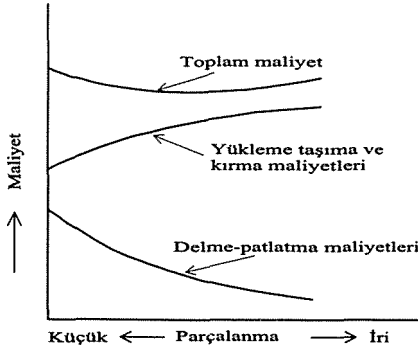
1 GİRİŞ

Bir açık ocak işletmesi; kabaca delme, patlatma, yükleme ve taşıma faaliyetlerinden oluşmaktadır. Delme-patlatma bu faaliyetler zincirinin en önemli halkasıdır. Patlatmanın sonucu olarak ortaya çıkan, parçalanma, tırnak oluşumu, seyrelme vb gibi sonuçlar, takip eden işlemleri ve bunların maliyetlerini etkilemektedir (Kanchibotla, 2003). Diğer önemli işlemler yükleme ve taşımadır. Günümüzde açık ocakların günden güne daha derinlere ulaştığı da göz önüne alınırsa, bu işlemlerinin önemi daha net bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Yükleme ve taşıma maliyetleri direkt olarak taşınan malzemenin parça boyutuyla ilgilidir. Parça boyutu da, kullanılan patlayıcı maddenin özellikleri ve

delik geometrisine bağlıdır. Uygun olmayan ve yetersiz yapılan bir patlatma, kazı ve yükleme ile taşıma işlerinin zorluk derecesine ve hızına etki ederek bu işlerde verim düşüklüğüne ve maliyet artışına neden olur (Bilgin, 2005; Workman ve Eloranta, 2004). Bu nedenle, patlatma işlemi; takip eden işlemler ve dekapaj maliyeti üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Patlatma sonrası ortaya çıkan kaya parçalarının boyut dağılımı madencilikte son derece önemlidir. Genişleyen geometri, patlayıcı madenin kaya yapılarını daha geniş açı ile etkilemesine ve elde edilen yığında, tane boyutunun artmasına neden olmaktadır (Bilgin, 1986, Erkoç, 1990). Belli boyutların üstünde gerçekleşen parçalanma (iri

parçalar), patlatmayı takip eden işlemlerin maliyetlerini yükseltirken, bunun tersi olarak aşırı boyut küçültme de delme-patlatma maliyetlerini artırmaktadır (Kanchibotla ve diğ. 1998, Simkus and Dance 1998, Scott ve diğ. 1999, Nielsen 1999, Grundstrom ve diğ. 2001). Şekil 1'de parçalanma ile bu maliyetler arasındaki ilişki görülmektedir (Hoek, 1981). Bu iki kalem harcama Şekil 1'de toplam harcama olarak belirtilmiştir. Açık işletmecinin hedefi toplam harcama eğrisinin en düşük olduğu noktanın tayini ve temini olmalıdır.



Şekil 1. Açık işletmelerde parçalanma derecesinin maliyetler üzerine etkisi (Hoek, 1981).

Bu çalışma kapsamında TKI-GLI açık ocaklarına ait bir dekapaj sahasında 3 aylık bir çalışma yapılmıştır. 3 ay boyunca birer aylık dönemler halinde 3 farklı delik düzeninde patlatmalar yapılmıştır. Bu delik düzenleri 7x6 m, 7x5 m ve 6x5 m olarak belirlenmiştir. Öncelikle her delik düzeni için parça boyut dağılımı analizi yapılarak, delik düzeni değişikliklerinin parçalanmaya olan etkisi ortaya konulmuştur. Boyut dağılımının belirlenmesinde SPLIT adlı yazılım kullanılmıştır. Daha sonra, her dönem için delme-patlatma, yükleme ve nakliye maliyetleri hesaplanmış ve birim dekapaj maliyeti belirlenmiştir.

2 OCAK İLE İLGİLİ BİLGİLER

Söz konusu ocak, GLI dekapaj sahaları içerisindeki bir panodur. Bu panoda formasyon, bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 1'de verilen marn'dan

oluşmaktadır. Gevşetme işlemi patlatma ile yapılmaktadır. Yükleme için 4-6 m³ kapasiteli ters keçeli ekskavatörler, nakliye işleminde ise 22-50 m³ kasa hacmine sahip kamyonlar kullanılmaktadır. Döküm harmanının ortalama mesafesi 1450 m'dir (200-2700 m). Örtü malzemesinin kalınlığı 100 m'dir. Ocakta basamak yüksekliği 7,5 m ve basamak şev açısı 80° olarak uygulanmaktadır.

Çizelge 1. Dekapaj malzemesinin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri.

Yoğunluk (g/cm ³)	2,75
Schmidt sertliği	37,8 (Az Sert)
Tek eksenli basma day. (MPa)	32,44
Endirekt çekme day. (MPa)	3,2
Kohezyon (MPa)	32
İçsel sürtünme açısı (°)	30

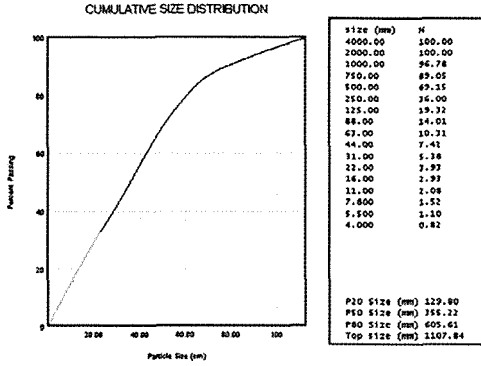
3 PATLATMA SONRASI PARÇA BOYUT DAĞILIMININ BELİRLENMESİ

Bu çalışmada, boyut dağılımının belirlenmesi için SPLIT adlı yazılım kullanılmıştır (Girdner vd., 1996; Kemeny vd., 1999). Boyut dağılımının belirlenebilmesi için, öncelikle patlatma sonrası oluşan yığınların uygun nitelikte, 3mx3m alanı kapsayacak şekilde fotoğraflarının çekilmesi gerekmektedir. Daha sonra bu fotoğraflar bilgisayar ortamına aktarılarak, bu yazılım yardımıyla değerlendirilmekte ve boyut dağılımları belirlenmektedir. Bu çalışmada, her bir delik düzenine ait, 10'ar atım için fotoğraflar çekilmiş ve değerlendirilmiştir. Şekil 2'de 7mx5m delik düzenindeki bir patlatmaya ait örnek bir yığın ve Şekil 3'de bu yığına ait parça boyut dağılımı görülmektedir. Yukarıda sayılan işlemler her delik düzenine ait 10'ar adet patlatma için gerçekleştirilmiştir. Çalışmada amaç, farklı delik düzenlerinde boyut dağılımlarındaki farklılıkları görmek olduğu için, her bir delik düzenine ait yaklaşık ortalamayı gösteren grafikler tek bir grafik üzerinde birleştirilmiştir (Şekil 4). Şekilde görüldüğü gibi, delikler arası mesafe ve dilim kalınlığının değiştirilmesi ile parça boyutu dağılımında belirgin bir değişiklik olmaktadır.

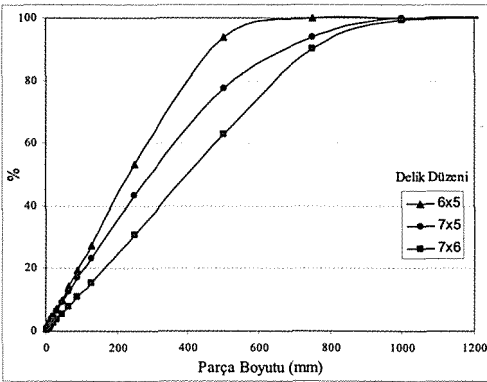
Delik geometrisi daraldıkça, ortaya çıkan kaya parçalarının boyutları küçülmektedir.



Şekil 2. Boyut dağılımı analizinin uygulandığı bir yığın (Ölçek çapı: 20cm)



Şekil 3. Şekil 2'deki yığma ait boyut dağılımı



Şekil 4. Farklı delik düzenleri için ortalama boyut dağılımları.

4 DEKAPAJ MALİYETLERİNİN BELİRLENMESİ

Bu bölümde, delik düzeninin dekapaj maliyetine olan etkisini belirlemek için, denenen 3 delik düzeni için delme-patlatma, yükleme ve nakliye maliyetleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken, sadece patlayıcı madde ve mazot giderleri göz önüne alınmıştır. İşçilik gibi her dönem için aynı olan giderler hesaplamaya katılmamıştır. Her ölçüm döneminde aynı ekipmanlar kullanılmıştır. 7x6 delik düzeninde 745.000 m³, 7x5 delik düzeninde 847.695 m³ ve 6x5 delik düzeninde 614.241 m³ dekapaj gerçekleştirilmiştir.

4.1 Delme-Patlatma Maliyetleri

Tüm çalışma boyunca delikler çift sıra ve şerbeş düzeninde delinmiştir. Delme işlemi tüm delik düzenlerinde aynı delici makine ile yapılmıştır. Delikler 152,4 mm çapında ve 8,5 m uzunluğundadır. Yemleme için dinamit ve ateşleme için elektrikli kapsül kullanılmıştır. Her deliğe 60 kg ANFO, ½ kg dinamit ve bir adet kapsül yerleştirilmiştir. Çizelge 2'de tüm delik düzenleri için patlatma ile ilgili veriler görülmektedir.

Çizelge 2'deki verilerden görüldüğü gibi delikler sıklaştıkça, delik başına alınan malzeme miktarı azalmakta ve 1 m³ malzeme için kullanılan ANFO miktarı artmaktadır.

Çizelge 3'de, aşağıda verilen patlayıcı madde ve mazot fiyatları ve Çizelge 2'deki verilerden yararlanılarak her dönem için hesaplanan delme-patlatma birim maliyetleri görülmektedir.

ANFO : 0,58 \$/kg
Kapsül : 1,33 \$/adet
Dinamit : 2,38 \$/kg
Mazot : 1,50 \$/litre

Çizelge 3'de görüldüğü gibi, delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı azaldıkça, aynı miktar bölgeyi patlatmak için delinen delik sayısı arttığı için delme-patlatma birim maliyeti artmaktadır.

Çizelge 2. Uygulanan delik geometrileri için patlatma ile ilgili veriler

	Delik Düzeni (m x m)		
	7x6	7x5	6x5
Dekapaj Miktarı (m ³)	745000	847695	614241
Toplam delik sayısı	1848	2480	2058
ANFO (kg)	109275	142850	119900
Dinamit (kg)	955	1210	973
Kapsül (adet)	1848	2480	2058
Delici mazot tüketimi (litre)	10810	14287	11137
Delik başına alınan malzeme (m ³ /delik)	403,14	341,81	298,47
1 m ³ malzeme için kullanılan ANFO (kg)	0,15	0,17	0,18

Çizelge 3. Delme-patlatma maliyetleri

	Toplam Maliyet (\$)			Birim Maliyet (\$/m ³)		
	7x6	7x5	6x5	7x6	7x5	6x5
Patlayıcı Maliyeti						
ANFO	63380	82853	69542	0,085	0,098	0,104
Kapsül	2458	3299	2737	0,003	0,004	0,004
Dinamit	2273	2880	2316	0,003	0,003	0,004
Mazot maliyeti (delici makineler)	16215	21431	16706	0,026	0,025	0,027
TOPLAM	84326	110463	85501	0,113	0,130	0,148

4.2 Yükleme ve Taşıma Maliyetleri

İşletmede, patlatılan malzemenin yüklenmesinde 4, 5,8, 6, 6,2 ve 7,3 m³ kapasiteli ters kepçeli ekskavatörler kullanılmaktadır. Nakliye işleminde ise 22, 24, 28 ve 50 m³ kapasiteli kamyonlar kullanılmaktadır. Çizelge 4'de yükleme ve taşıma işlerinde kullanılan ekipmanlara ait toplam mazot tüketimleri ve birim maliyetleri verilmiştir. Çizelgedeki verilerden görüldüğü gibi, geometri

daraldıkça, birim yükleme ve taşıma maliyeti düşmektedir. 7x6 delik düzeninde birim maliyet 0,554 \$/m³ iken 6x5 delik düzeninde bu maliyet 0,482 \$/m³'e düşmektedir. Bunun nedeni, delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı azaldıkça, patlatma sonucu açığa çıkan ortalama parça boyutunun düşmesidir. Bu sayede daha verimli yükleme ve taşıma gerçekleştirilebilmektedir. Bunun yanında iri parça ve tırnak oluşumunun azalması da yükleme ve taşıma verimini artırmaktadır.

Çizelge 4. Yükleme ve taşıma işleri için mazot tüketimleri ve maliyetleri

Maliyet Kalemi	Delik Düzeni (m x m)		
	7x6	7x5	6x5
Yükleme			
Mazot tüketimi (litre)	141684	119830	107953
Birim mazot tüketimi (l/m ³)	0,190	0,185	0,176
Birim Maliyet (\$/m ³)	0,285	0,278	0,264
Taşıma			
Mazot tüketimi (litre)	133206	139403	88979
Birim mazot tüketimi (l/m ³)	0,179	0,164	0,145
Birim Maliyet (\$/m ³)	0,269	0,246	0,218
Yükleme-Taşıma Birim Maliyeti (\$/m³)	0,554	0,524	0,482

4.3 Birim Dekapaj Maliyeti

Çizelge 3 ve 4'de verilen birim maliyetler ışığında, sadece delme-patlatma, yükleme ve nakliye işlerinde kullanılan patlayıcı madde ve yakıt tüketimleri göz önüne alınarak hesaplanan dekapaj birim maliyetleri Çizelge 5'de verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi, geometri ile delme-patlatma maliyetleri ters orantılı, yükleme-taşıma maliyeti ise doğru orantılı olarak değişmektedir. Dekapaj maliyeti bazında, 7x6 delik düzeninde toplam birim maliyet 0,671 \$/m³ iken, bu değer 7x5 delik düzeninde 0,654 \$/m³'e ve 6x5 düzeninde de 0,630 \$/m³'e düşmektedir.

Çizelge 5. Dekapaj birim maliyetleri

Maliyet (\$/m ³)	Delik Düzeni (m x m)		
	7x6	7x5	6x5
Delme-pat.mal.	0,113	0,130	0,148
Yükleme mal.	0,285	0,278	0,264
Taşıma mal.	0,269	0,246	0,218
TOPLAM	0,667	0,654	0,630

5 SONUÇLAR

Bu çalışmada, bir açık ocak panosunda, delik düzenindeki değişikliklerin, parçalanmaya ve dekapaj maliyetine olan etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda, 7x6, 7x5 ve 6x5 olmak üzere 3 farklı delik düzeni belirlenmiştir. Her durum için 1 ay süreyle patlatma yapılmıştır. Delik düzenlerindeki değişikliklerin parça boyutuna etkisini ortaya koyabilmek için parça boyut dağılımı analizi yapılmıştır. Bu kapsamda elde edilen sonuçlar Şekil 4'de özetlenmiştir. Görüldüğü gibi delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı azaldıkça, ortalama parça boyutu belirgin bir şekilde küçülmektedir. Bunun yanında arazi gözlemlerinde, tırnak oluşumunun da azaldığı gözlenmiştir.

Çalışmanın diğer aşamasında, her döneme ait dekapaj maliyetleri hesaplanmıştır. Bu maliyetlerin hesaplanmasında, sadece patlayıcı ve mazot maliyetleri göz önüne alınmıştır. Zira delik düzenindeki değişikliklerden en fazla etkilenen maliyet kalemleri bunlardır. Her dönem için patlayıcı madde ve mazot maliyetlerini içeren delme-patlatma, yükleme ve taşıma birim

maliyetleri hesaplanmıştır. Bu değerler Çizelge 5'de toplu olarak görülmektedir. Çizelgeden görüldüğü gibi delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı azaldıkça delme-patlatma maliyeti artmaktadır. Çünkü aynı hacmi patlatmak için daha fazla delik delinmekte ve daha fazla patlayıcı madde kullanılmaktadır. Yükleme ve taşıma maliyetlerinde ise bunun tersi bir durum görülmektedir. Delikler arası mesafe ve Dilim kalınlığı azaldıkça bu maliyetler düşmektedir. Bunun nedeni, daha sık delikler delinmesi ile ortalama parça boyutunun küçülmesi ve daha verimli yükleme ve taşıma işleminin gerçekleştirilebilmesidir.

Dönemlere ait birim dekapaj maliyetleri hesaplandığında, delikler sıklaştıkça birim dekapaj maliyetinin azaldığı görülmektedir. 7x6 delik düzeninde birim dekapaj maliyeti 0,667 \$/m³ iken bu değer 7x5 delik düzeninde 0,654 \$/m³'e ve 6x5 delik düzeninde ise 0,630 \$/m³'e düşmektedir.

Açık ocaklarda örtü/kazı oranının arttığı ve rekabet şartlarının ağırlaştığı günümüzde, her işlemi en düşük maliyet ile gerçekleştirmek son derece önemlidir. Dekapaj işlemi de bunlardan birisidir. Bu çalışmada, delik düzeninin değiştirilmesi ile bir kazanç elde edildiği görülmüştür. Bu kazancın artırılması için delik düzeni değişikliğinin yanında diğer değişkenler üzerinde de benzer çalışmaların yapılmasında fayda görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Bilgin, H.A., 1986, Açık İşletmelerde Patlatma Sorunları ve Tasarımı, *TKİ Eğitim Semineri*, No:2, ODTÜ, Ankara.
- Bilgin, H.A., 2005, Açık Ocak ve Taşocaklarında Patlatma, *Maden Mühendisleri için Açık Ocak İşletmeciliği El Kitabı*, Editörler; Eskikaya, Ş., Karpuz, C., Hindistan, M.A., Tamzok, N., TMMOB, Maden Mühendisleri Odası, Ankara, sayfa: 231-313.
- Erkoç, Ö.Y., 1990, Kaya Patlatma Tekniği, *Çelikler Matbaacılık*, İstanbul, 164.
- Girdner, K., Kemeny, J., Srikant, A., and McGill, R., 1996, The Split System for Analyzing the Size Distribution of Fragmented Rock, *Proceedings of the Fragblast-5 Workshop on Measurement of Blast Fragmentation*, A.A. Balkema, Montreal, Quebec, Canada, 101-108.

- Grundstrom C, Kanchibotla S.S, Jankovich A. ve Thornton D., 2001, Blast Fragmentation for Maximising the Sag Mill Throughput at Porgera Gold Mine, *Proc. 28th ISEE Conf*, Orlando.
- Kanchibotla, S.S., 2003, Optimum Blasting ? Is it minimum cost per broken rock or maximum value per broken rock, *Fragbalst*, Vol.7 No.1, 35-48.
- Kanchibotla S.S., Valery W. ve Morrell, S., 1998, Modelling fines in blast fragmentation and its impact on crushing and grinding, *Proc. Explo-99 Conf*. Kalgoorlie.
- Kemeny, J.M., Girdner, K. ve BoBo, T., 1999, New Advances in Digital Image Analysis Software to Quantify the Size Distribution of Fragmented Rock, *MINNBLAST 99*, 27-43.
- Nielsen K., 1999, The economic consequences of drill hole deviation in crushed aggregate production, *Proc. Explo-99 Conf*. Kalgoorlie.
- Scott A., Kanchibotla S.S. ve Morrell S., 1999, Blasting for Mine to Mill Optimisation, *Proc. Explo-99 Conf*. Kalgoorlie.
- Simkus R. ve Dance A., 1998, Tracking hardness and size: Measuring and monitoring ROM ore properties at Highland valley copper”, *Proc. Mine to Mill Conf.*, Brisbane.
- Workman, L., ve Eloranta, J., 2004, Saving money from the start: a look at effects of blasting on crushing and grinding efficiency and energy consumption – E&T Blasting, Pit&Quarry.

Jeoistatistik
Geostatistics

Ardışık Gauss Benzetiminin Tufanbeyli (Adana) Linyit Yatakları Kalite Değişkenlerine Uygulanması

The Application of Sequential Gaussian Simulation to Quality Variables of Tufanbeyli (Adana) Lignite Deposits

A. Ersoy, T.Y. Yünsel

Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

Ü. Atıcı

Niğde Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Niğde

ÖZET Maden yataklarının rezerv ve tenörlerinin değerlendirilmesinde genellikle klasik yöntemler kullanılmaktadır. Ancak, bu yöntemler maden yatağının uzaysal sürekliliği ve tahminlerle ilgili belirsizliği dikkate almaz ve maden planlaması için yetersizdir. Yapılan tahminin doğruluğu ve güvenilirliği azalmaktadır. Modern jeostatistik yöntemler maden yatağındaki yapısal değişimi ve uzaysal korelasyonu modeller, tahmin veya benzetim sonucunda hata oranlarını vererek, maden üretim planlamasını sağlar. Bu çalışmada Ardışık Gauss Benzetimi (AGB) kullanılarak, düşük kalorili Tufanbeyli linyit yataklarının kalite değişkenlerinin belirsizlik değerlendirmeleri yapılmıştır. Benzetim sonuçlarının doğruluğu, benzetim istatistikleri, histogram ve variogram geri üretimi tarafından test edilmiştir. Kalori ve kalınlık değişkenlerine ait benzetim, ortalama, belirsizlik ve standart sapma AGB haritaları üretilmiştir. Bu haritalar, maden işletme ve üretim planlaması, araştırma ve geliştirme, kalite sınıflamaları çalışmalarında kullanılabilir.

ABSTRACT Traditional methods are commonly used in the assessment of grade and reserve of ore deposits. However, these methods do not take into account the uncertainty associated with the estimates and spatial continuity of a deposit, are also inadequate for short range mine planning. Thus, the reliability and estimate confidence are decreased. Modern geostatistical methods make structural modelling and spatial correlation of an ore deposit and provide the measure of the error associated with estimates, simulation and planning of mine production. Sequential Gaussian Simulation (SGS) was applied to address the problem of measuring the uncertainty associated with an estimate for Tufanbeyli lignite deposits. The accuracy of SGS results have been tested by simulation statistics, histogram and variogram reproduction. Simulation, mean, standard deviation of SGS maps for calorific value and thickness has been generated. These models can be used in planning of mine production and operation, quality classifications and research-development works.

1 GİRİŞ

Ülkemizde, işletilmesi veya üretilmesi planlanan maden yataklarının rezerv ve kalite değişimi klasik yöntemlerle modellenmektedir. Poligon, trapez, üçgen, jeolojik blok ve kesit, geometrik, izopak vs. gibi klasik yöntemlerle yapılan tahminlerde

hata oranı yüksek olup, bu hataların büyüklükleri doğru olarak belirlenememektedir. Jeostatistik yöntemlerle modelleme tekniklerinin üstünlükleri kısaca aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

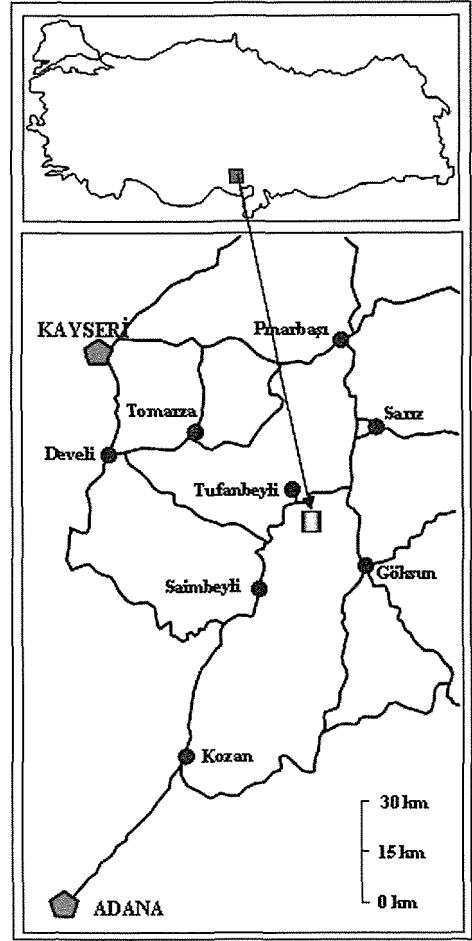
- Cevher devamlılığını belirtir.
- Yatakta her yönde rezerv parametre dağılımlarının farklılıklarını ortaya koyar.
- Değişkenlerin etki alanlarını belirtir.
- Yataktaki uyumsuzluk dağılımını belirler.
- Optimum örnekleme dizaynı yapar.
- Tahminden sonra hata oranını belirtir.
- Hammadde yatağının işletme ve üretim planlaması sağlar.

Jeoistatistiksel benzetim, veri setinin uzaysal devamlılığını ve örnekleme alanındaki değişimi modellemektedir. Benzetim modeli örneklenmiş noktadaki değerleri kullanarak ve veri seti özelliklerinin aynı dağılımını geri üretebiliyorsa örneğin ortalama, varyans, histogram ve variogram gibi bu durum koşullu benzetim olarak adlandırılır. Benzetim modelinin etkinliği girilen veri kalitesine ve variogram modelinin devamlılığına bağlıdır. Günümüzde benzetim teknikleri metal ve petrol endüstrilerinde oldukça sık kullanılmaktadır. Şartlı benzetim tekniği metal madenciliğine birçok araştırmacı tarafından uygulanmıştır (Journel, 1994; Journel ve Kyriakidis, 2004). Costa ve diğerleri (2000); Gambin ve diğerleri (2005) ise koşullu benzetimi kömür yataklarının kalite sınıflandırması ve değerlendirilmesi için uygulamışlardır.

Bu çalışmada koşullu benzetimin Tufanbeyli linyit yataklarına uygulanması amaçlanmıştır. Uygulama ile kömürün kalınlık ve kalori değişimi değerlendirilmiştir. Maden işletme ve üretim planlaması için yeni bir yaklaşım olan bu uygulama belirsizlik tahminlerinin modellenmesiyle tanıtılmıştır. Maden yataklarının kalite değerlendirilmesinde koşullu benzetimin avantajları sergilenmiştir.

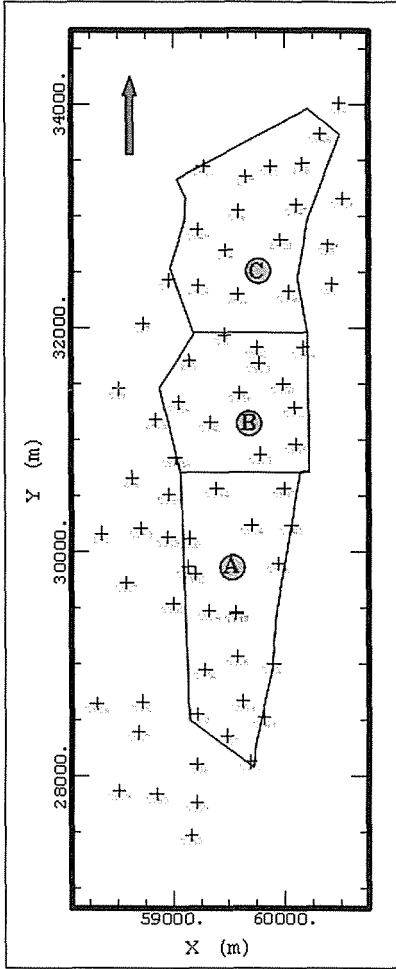
2 ÇALIŞMA ALANI VE VERİLER

Çalışma alanı, Adana ili Tufanbeyli ilçesinin güneyinde yer alır. Çevresindeki iki ilden Adana ve Kayseri'ye sürekli karayolu bağlantısı olup, Adana'ya 170 km, Kayseri'ye 130 km mesafededir. Sahanın yer bulduru haritası Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Çalışma sahasının yer bulduru haritası.

Sondaj lokasyonları rastgele olarak belirlenmiştir (Şekil 2). Çalışma alanı üretim planlaması için üç panoya bölünmüş olup, güneyden kuzeye doğru A, B ve C olarak adlandırılmıştır. Analizlerde poligon alanının dışındaki sondajlardan da yararlanılmıştır. Çalışma sahasında toplam 68 adet sondaj bulunmaktadır. Sondaj kuyusu boyunca farklı mesafeler için örnekler alınmış ve kömür parametrelerinin kimyasal analizleri yapılmıştır. Bu veriler, jeostatistiksel analize uygun olup, bu sonuçlardan kömürün temel kalite parametrelerinden kalori ve kalınlık değerleri için analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Çalışma sahası (A, B, C panoları) sondaj lokasyonları.

Bu uygulama için uluslararası ticari programlar olan Isatis (Geovariances, 2006), Surfer (Golden Software, 1999) bilgisayar programları kullanılmıştır. Açık işletme yöntemi ile üretilmesi planlanan Tufanbeyli linyitleri elektrik üretecek termik santrali besleyecektir. Termik santralin her biri 160 MW'a sahip iki üniteden oluşması planlanmıştır.

3 JEOLJİ

Çalışma sahası ve çevresi üç ana formasyondan oluşmuştur (Şekil 3). Bu formasyonlar temel birimler, kömür içeren

Üst Pliyosen-Pleyistosen yaşlı birimler ve günümüz alüvyonlarından oluşmuştur.

Seri	Dikme Kesit	Açıklamalar
Holo-sen	10 m	Alüvyon
	7 m	Yamaç Molozu
Pleyistosen	105 m	Kil
	75 m	Linyit Damarı Gıdya Linyit Damarı Gıdya Linyit Damarı
Üst Pliyosen	59 m	Kil
	30 m	Konglomera
Mesozoyik Paleozoyik		Kireçtaşı, Dolomit, Kuvarsit

Şekil 3. Çalışma sahasının genelleştirilmiş jeolojik dikme kesiti (ölçeksiz).

Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı temel birimler kireçtaşı, dolomit ve kuvarsitten oluşmuşlardır. Bu kayalarda tektonizma etkileri çok fazla olup, kompleks bir yapı gösterirler.

Kömürlü zon ve kömür yan kayaçları genç birimler olarak adlandırılır. Üç tür litoloji belirlenmiştir. Bunlar, çakıllı gri-mavi killer, kömür ve gıdya, gri-yeşil killerdir. Çakıllı gri-mavi killer kömür tabanını oluşturur. Yukarıya doğru çakıl azalmakta kil ve silt

oranı artmaktadır. Kömürlü zonda çeşitli kalınlıklarda kömür ve gıdya tabakaları bulunur. Bu zonda dört kömür damarı belirlendiği, havza ortasında damar kalınlıklarının arttığı, havzanın batısına doğru azaldığı gözlenmiştir. Birim en altta linyit boyamalı killerle başlamakta ve yukarıya doğru linyit-gıdya-linyit aralanması olarak devam etmektedir. Gıdyalar; bej renkli, yumuşak ve fosillerden oluşmuştur. Gıdyalar % 0.6 CaCO₃ içermekte olup, kalınlıkları değişkendir. Havzanın her yerinde görülen gıdya tabakaları kömür damarının korelasyonunda kılavuz seviye olarak değerlendirilebilir. Gıdya ve kömür toplam kalınlığı yaklaşık 75 m civarındadır.

Kömürlü zon üzerinde gri yeşil killer bulunur. Bu killer yaklaşık 100 m kalınlığa sahip olup, silt ve ince kum mercikleri içerir. Killer zaman zaman kömür zonları içerir ve tabaklanma göstermezler.

Alüvyonlar kayaç parçacıklarından, çakıl, kum ve siltlerden oluşur. Bazı sondajlarda 10 m kalınlığa ulaşır. Daha çok Mağara Çayı ve kollarında (Yamanlı ve Yeşilova Köyleri Kuzeyinde) görülür. Alüvyonlar Kuvaterner (günümüz) yaşlıdır.

Temel kayaçlar genel olarak KD-GB uzanımlı faylarından etkilenmiş olup, Pliyosen bu fayların oluşturduğu çöküntü alanlarında depolanmıştır. Kömürlü birimler de ve Üst Pliyosen-Pleyistosen birimleri içinde herhangi bir faylanma ve kıvrımlanma görülmemiştir. 2°-3°'lik eğimler havzanın çanak şeklindeki formundan kaynaklanmaktadır.

4 KOŞULLU BENZETİM

Benzetim, gerçek sistem modelinin tasarlanması ve bu model ile sistemin işletilmesi amacıyla yönelik olarak, sistemin davranışını anlayabilmek veya değişik stratejileri değerlendirebilmek için deneyler yürütülmesi sürecidir. Tahmin edilen bir değer, gerçek değere yakınlığı ve güvenilirliği, incelenen değişkenin ne kadar bilindiğine bağlıdır. Uzaklığa bağlı belirsizlik verilerin ortak dağılımının çoklu benzetimlerinin üretilmesiyle modellenir. Bu

modelleme prosesi jeostatistiksel benzetim olarak tanımlanır.

Örneklenmemiş noktalarda gerçek ve tahmin edilen değerler arasında önemli bir fark vardır. Kriging bu farkı en aza indirmeye çalışır. Tahmin edilen değerlerin değişkenliği, gerçek değerlere göre daha azdır. Değişkenliğin derecesi, saha içinde alınan örneklerin sayısına ve konumuna bağlıdır. Bir maden işletme yönteminin seçiminde tenör değişimi önemli bir faktördür. Benzer şekilde günlük, aylık ve yıllık ocak planlaması tenörün yersel ölçekteki değişimine bağlıdır. Bu durumda gerekli olan, değişkenin tahmin edilmiş değerlerini elde etmek değil, değişkenin yapısına uyan ve gerçek değerlerle aynı değişkenliği gösteren veriler üretmektir. Jeostatistiksel benzetim teknikleri ile bu özellikleri sağlayan veri seti üretmek mümkündür. Benzetim sonucunda örneklenmiş noktalarda gerçek verilerle aynı değerleri ve gerçek veriler gibi aynı histogram ve variogramı üretebilir. Bu işlem koşullu benzetim olarak bilinir. Şartlı benzetimde maden yatağının işletme yöntemleri benzetim yapılabilir, en uygun sınır tenörler ve üretim oranları incelenebilir, ocak planları karşılaştırılabilir, fizibilite incelemeleri ve optimizasyon teknikleri uygulanabilir.

4.1 Ardışık Gauss Benzetimi (AGB)

Güçlü bir tahmin yöntemi olan kriging ile arazi üzerinde hata oranı düşük oldukça iyi sonuçlar elde edilebilir. Fakat maden işletme yöntemi seçilirken kısa vadeli tenör değişiklikleri üretim planlaması için oldukça büyük önem arz eder. Bu durumda benzetim yöntemleri ile istenilen özellikleri sağlayan veri seti üretmek mümkündür (Tercan ve Saraç, 1998).

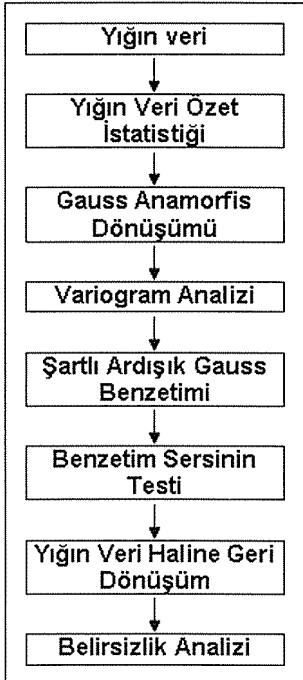
Bu çalışma için aşağıda sırayla verilmiş işlemler AGB' de kullanılmıştır:

- Giriş verisini temsil eden bir histogram çizilmiştir.
- Veriler standart normal dağılıma Gauss anamorfis fonksiyonu ile dönüştürülmüştür.
- Dönüşmüş veriler üzerinden variogram

modellemeleri yapılmıştır.

- Şartlı olasılık dağılım fonksiyonları tahmin edilmiştir.
- Dağılımdan rastgele bir değer çekilerek, diğer koşullu veriler arasına eklenmiştir.
- Tüm üstteki adımlar, tüm hücreler dolaşılana kadar devam etmiştir.
- Önceki adımlar yeni bir benzetimi gerçekleştirmek için tekrarlanmıştır.
- Benzetim sonunda, her bir veri baştaki normal dağılım dönüşümü için kullanılan Gauss anamorfis fonksiyonu yardımı ile orijinal veri ölçeğine dönüştürülmüştür.
- Sonuçların doğruluğu, üretilen benzetim serisinin istatistikleri, histogramları ve variogramları ölçüt alınarak test edilmiştir.

AGB tekniği madencilikte oldukça sık kullanılmaktadır (Costa ve diğerleri, 2000; Vann ve diğerleri, 2002; Gambin ve diğerleri, 2005). AGB'nin akış şemasında yığın (akümüle) verilerinden belirsizlik değerlendirmelerine kadar olan analiz işlemleri Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Ardışık Gauss benzetimin tipik akım şeması.

Benzetimler, 50'şer metre aralıklı 100x80 boyutunda gridlere bölünmüş saha içerisinde yapılmıştır. Benzetimlerde kullanılan komşuluk parametresinin nokta sayısı 15 olarak belirlenmiştir. Her bir değişken için 100 benzetim üretilmiştir. Çalışmada servis değişkeni olarak adlandırılan yığın verisi (akümülyasyon) tanımlanmıştır (linyit kalite parametresiyle ona ait kalınlık çarpılmıştır). Benzetim değeri, yığın kömür kalite değerlerinin benzetim yapılmış, kalınlık değerlerine bölünmesiyle elde edilmiştir ve belirsizlik analizleri bu veri üzerinden yapılmıştır.

4.2 Benzetim Özet İstatistiği ve Veri Dönüşümü

Yığın verinin özet istatistiği Çizelge 1'de verilmiştir. Yığın, değişken birimi (kcal/kg, %) ve ilgili kalınlığın (m) çarpılması olarak tanımlanmıştır (David, 1977, Journal and Huijbregts, 1978).

$$Y_{\text{ığın}} = \sum_{i=1}^n (Z_i I_i) (\%xm) \quad (1)$$

Burada Z_i sondaj kesitindeki kalite, I_i ise o kalite değerine ait kalınlıktır. Tüm jeostatistiksel analizler temel olarak bu yığın veri üzerinden gerçekleştirilmiştir.

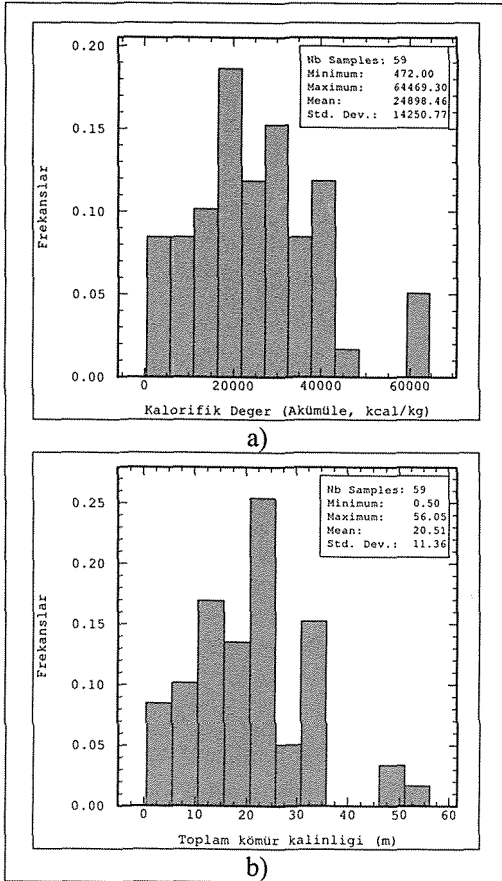
Çizelge 1. Yığın verilere ait özet istatistik.

Değişken	Kalori (kcal/kgxm)	Kömür kalınlığı (%xm)
Veri Sayısı	59	59
Minimum	472	0.5
Maksimum	64469	56
Ortalama	24898	20.5
Medyan	23387	20.8
S. Sapma	14250	11.4
Varyans	203084308	129
Çarpıklık	0.66	0.64
Sivrilik	3.57	3.83
Değişim Kats.	0.57	0.55

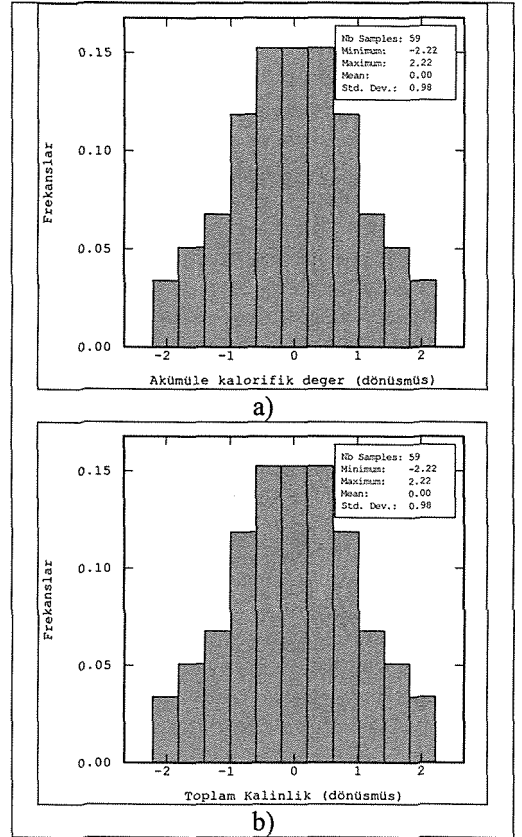
Yığın kömür kalori ve kalınlık değişkenlerinin merkezi eğilim ölçüleri ideal olarak normal dağılım göstermemekle birlikte, normal dağılıma yakın değerlere sahiptir (Çiz. 1). Değişkenlerin ortalama değerleri medyan değerine yakındır.

Çarpıklık ve sivrilik değerleri normal dağılıma kıyasla çok az yüksektir. Kalite değişkenlerinin dağılımını görmek için kalorifik değer ve kalınlığa ait histogramlar Şekil 5'de verilmiştir. Değişkenler normal dağılımdan küçük sapmalar göstermekte olup, biraz sola çarpıktır.

Yığın verisi benzetim işleminin bir gereği olarak Gauss anamorfis modelleme ile standart normal dağılıma dönüştürülmüştür. Değişkenlerin dönüşmüş veriye ait histogramları Şekil 6'da verilmiştir. Deneysel anamorfis modelleme işleminin çok iyi uyum sağladığı belirlenmiştir. Bununla birlikte normalize edilen veriler, dönüşüm istatistiği (ortalama ve standart sapma) dikkate alınarak modelleme işlemi kontrol edilmiştir (Şekil 6).



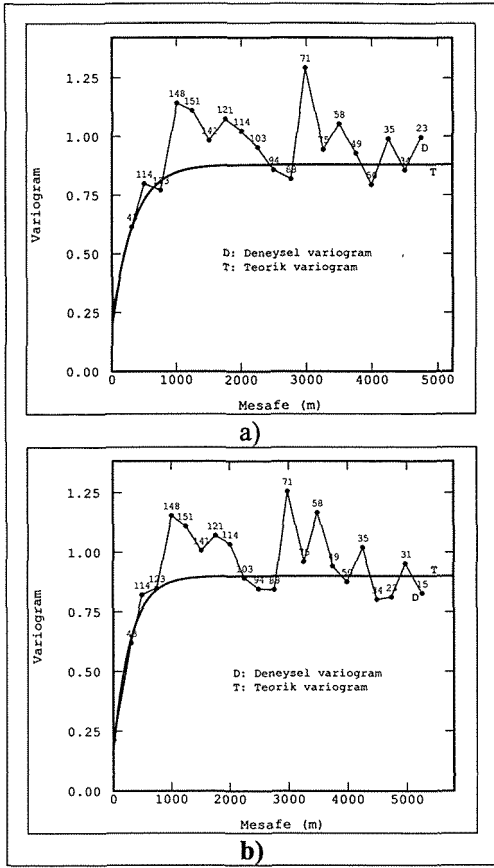
Şekil 5. Yığın verisine ait histogramlar: a) kalorifik değer, b) kalınlık.



Şekil 6. Standard normal dağılıma dönüşmüş yığın verisine ait histogramlar: a) kalorifik değer, b) kalınlık.

5 VARIÖGRAM ANALİZİ

Variogram, uzaklığa bağlı uzaysal değişkenliği ölçer. Çoğu benzetim ve tahmin yöntemleri, istatistiksel değişimleri geri üretmek için kullanılacak analitik bir variogram modeli gerektirir. Variogram analizleri dönüşmüş veri üzerinden yapılmıştır. Yönlü (0° , 45° , 90° , 135°) ve yönsüz variogramlar yapılarak her ikisi de dikkatlice incelenmiştir. Yönlü variogram analizleri geometrik veya zonal anizotropi göstermemiştir. Bu nedenle yönlü variogram analizleri burada verilmemiş olup, yönsüz variogram modelleri Şekil 7'de sunulmuştur. Bu grafiklerde noktalı ince çizgi deneysel variogramı, kalın siyah çizgi ise model variogramı göstermektedir.



Şekil 7. Kalite değişkenlerine ait yönsüz variogram grafikleri: a) kalorifik değer, b) kahlılık.

Variogramların oluşturulmasında kullanılan örnek çifti sayısı her nokta üzerinde gösterilmiştir. Örneklerin çoğu 30 çiftten daha fazladır. Bu nedenle, örnekleme çiftleri güvenilir ve doğru bir modelleme için yeterli ve etkindir. Görsel olarak deneysel variograma üssel teorik variogramın uyduğu görülmüştür. Değişkenlere ait variogram grafikleri (Şekil 7) net bir uzaysal yapı göstermiştir. Variogram model parametreleri Çizelge 2'de verilmiştir. Burada C_0 , külçe etkiyi, C yapısal etkiyi ve a 'da etki mesafesini ifade etmektedir. Teorik variogram modelinin sill değeri (C_0+C) örnek varyansına yakın olarak bulunmuştur. Variogramlar, kalite değişkenlerinin değişim özelliklerinin değerlendirilmesi bakımından

birçok fonksiyonlarda kullanılırlar. Bunlar, örneklerin uzaysal yeterliliği, örneklerin uzaysal değişiminin ölçüsü, kullanılan benzetim ve örnek değişiminin uzaysal korelasyon derecesidir. Sonuç olarak tüm bu parametreler, kalite değişkenlerinin değerlendirmesinde çok önemli rol oynarlar.

Çizelge 2. Kömür kalite değişkenlerinin Variogram model parametreleri.

	C_0	C	a	Model
Kalorifik değer	0.20	0.68	1000	Üssel
Kahlılık	0.17	0.73	900	Üssel

6 SONUÇLARIN DOĞRULANMASI

Sıfır ortalamalı ve birim varyanslı, çoklu Gauss modellerden, üssel yönsüz variogramlar kullanılmıştır. Benzetimler sonucunda, Gauss modelinin uyumluluğu üzerine çeşitli testler mevcuttur. Uygulama sonuçları aşağıdaki testlerle doğrulanmıştır.

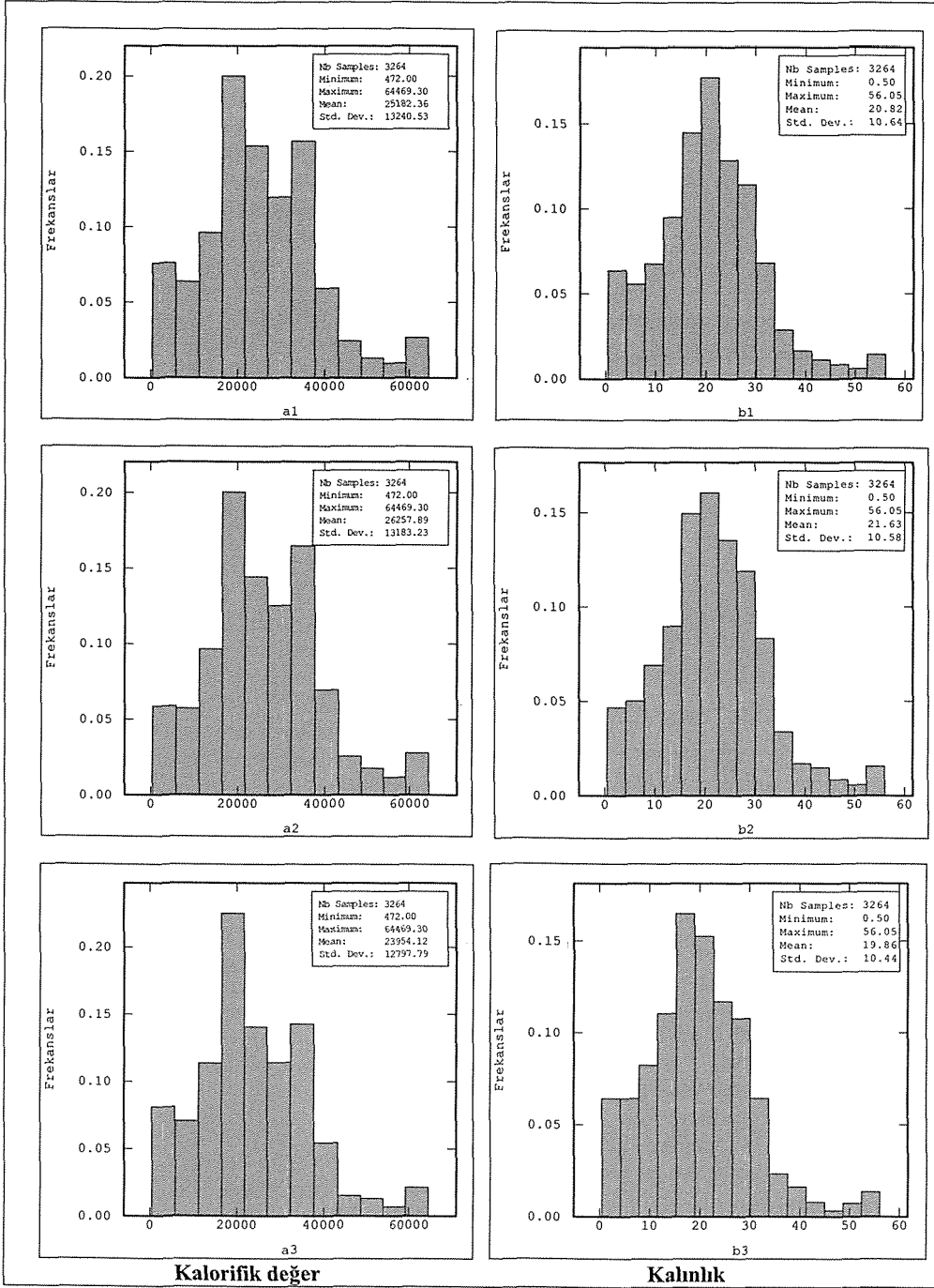
Benzetimin Görsel Özellikleri: Plan, kesit ve karşılaştırmalı olarak veri kontrol edilmiştir. Şartlandırmanın (benzetimlerin) tabakalarda herhangi bir problem olmadığı gözlemlenmiştir.

Özet İstatistik: Benzetim yapılmış verilerin istatistiksel değerleri, orijinal verilerin özet istatistiğine çok yakın değerler göstermektedir. Simüle edilmiş verilerin özet istatistiği Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Benzetim verisinin özet istatistiği.

Değişken	Kalori (kcalxm/kg)	Kömür kahlılığı (%xm)
Veri Sayısı	3264	3264
Minimum	472	0.5
Maksimum	64469	56
Ortalama	25182	20.8
Medyan	23876	20.5
S. Sapma	13240	10.6
Varyans	175311741	113
Çarpıklık	0.55	0.51
Sivrilik	3.57	3.86
Değişim Kats.	0.53	0.51

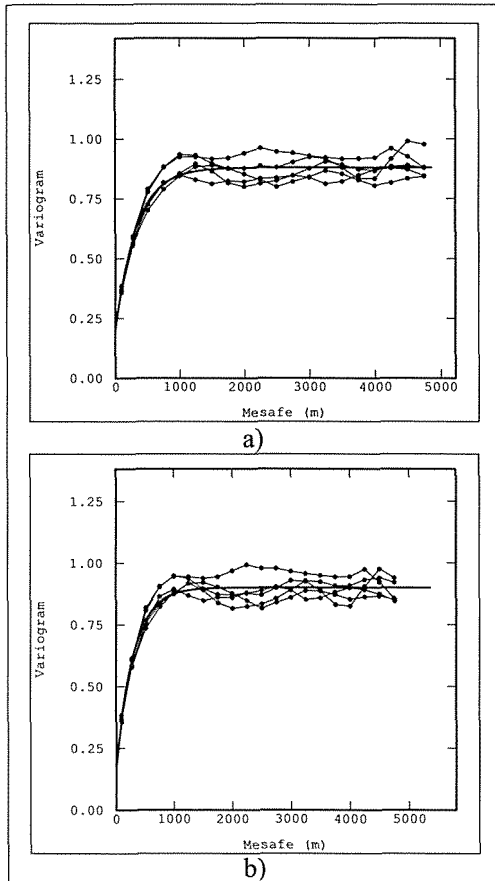
Histogramların Geri Üretimi: Şekil 8a₁-a₃ ve b₁-b₃ benzetimi yapılmış değerlerin, histogramların orijinal veri histogramlarına ne derece iyi uyum sağladığını göstermektedir.



Şekil 8. Değişkenlerin histogram geri üretimleri: a₁-a₃) kalorifik değer, b₁-b₃) kalınlık.

Benzetimi yapılmış değerlerin standart sapmaları yığın verisinin standart sapmasına çok yakındır (Çizelge 3, Şekil 8). Tüm durumlarda, benzetimler başarılı bir şekilde orijinal verinin histogramına yakın histogram ve özet istatistik değerlerini geri üretmiştir.

Variogram Geri Üretimi: Variogramlar 100 benzetim için hesaplanmış ve orijinal veriye ait variogramla birlikte çizilmiştir (Şekil 9). Böylece orijinal ve benzetim yapılmış verilerin variogramlarının birbirleri ile uyum sağladığı görülmektedir. Şekil 9'da kalın çizgi orijinal verinin variogramı, noktalı çizgili variogram ise rastgele seçilmiş benzetim verilerin variogramını göstermektedir. Variogramların geri üretimi değişkenler için çok idealdir.



Şekil 9. Değişkenlerin variogram geri üretimi, a) kalorifik değer, b) kalınlık.

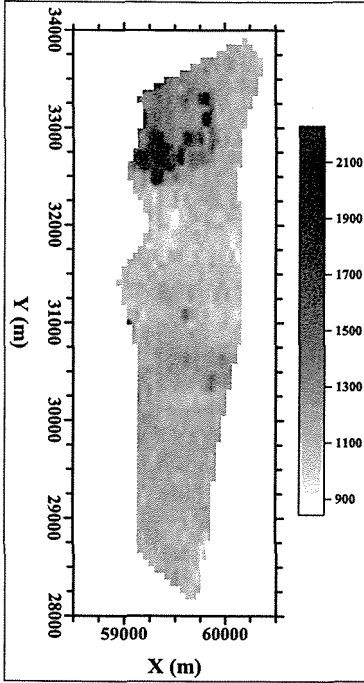
7 BENZETİM VE OLASILIK HARİTALARI

Kömür kalite özelliklerinin örneğin kalorifik değer, kalınlık gibi termik santrale direk beslenen kömür tabakasının tanımlanması gereklidir. Bunlara ek olarak, daha önceden belirlenen limitlerden oluşabilecek zararlardan kurtulmak için kömür tabakasındaki değişken dalgalanmaları önceden tahmin edilmelidir. Bu tip problemlerin üstesinden gelebilmek için, benzetim sonuçlarının belirlenmiş limitlerdeki kömür kalite değerlerine sahip kömürün yataklanma haritası, benzetim kombinasyonu ile uygulanabilir.

Normal dağılıma dönüştürülmüş veriler kullanılarak kömür kalite değişkenleri için 100'er tane benzetim üretilmiştir. Şekil 10, 100 benzetimden rastgele seçilmiş benzetimi göstermektedir. Krigingden farklı olarak benzetim, yerel tahmin hatasını minimize etmeyi hedef almaz. Bunun yerine uzaysal değişimi, örnek variograma bağlı olarak en iyi şekilde üretir. Bu nedenle, uzaysal dağılım özelliğinin ön planda olduğu çalışmalarda örneğin ocak üretim planlamasında benzetim, kriginge tercih edilmelidir.

Şekil 11'de 100 benzetimin ortalama haritaları görülmektedir. Teorik olarak belli bir grid noktasında çok sayıda benzetimin ortalaması bu noktadaki kriging tahminine eşittir. Fakat, krigingin tipik bir özelliği olan düzgülendirme etkisi (smoothing effect) büyük oranda benzetim ortalama haritalarında azalmaktadır.

Benzetim sonucu elde edilmiş değerler tahmin değerleri olarak kullanıldığında aynı lokasyonda kriging ile tahmin edilmiş değer hata varyansından iki kat daha büyük hata varyansı elde edilir. Yani kriging benzetimden iki kat daha güvenilir tahmin değerleri üretir (Tercan ve Saraç, 1998).



Şekil 10. Kalorifik değere ait AGB haritası.

Kömür yatağında belirlenen kömür kalitesi işletme sınırı değerini aşan değerlerin olasılığı haritalanırken, her bir grid hücresindeki işletme sınır tenörünü aşan benzetim değerlerinin sayılmasıyla elde edilir. Bu 0 ve 1 arasında bir değer verir. Belirli işletme sınır tenörünü aşan değerlerin olasılığı aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır:

$$\text{prob}\{Z(X_o) > Z_c | (n)\} = 1 - F(X_o; Z_c | (n)) \quad (2)$$

Burada;

X_o : örneklenmemiş nokta

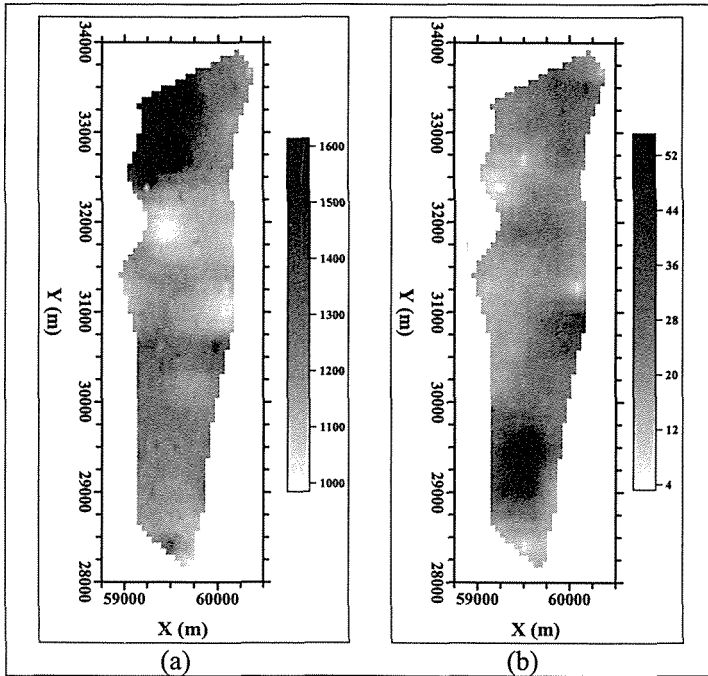
Z : kömür değişken değeri

n : örnek sayısı

Z_c : işletme sınır tenörü

$F(X_o; Z_c | (n))$: işletme sınır tenörünün kodf.

Belirsizlik algoritmayla ilgili daha fazla bilgi Meirvenne ve Goovaerts (2001)' de bulunabilir. Bir maden yatağında sadece kalite değişkenlerinin tahmini yeterli değildir. Özellikle termik santrale beslenen kömürde limit değerlerin olduğu işletmelerde maden yatağı değerlendirmesi ve kalite değişkenlerindeki dalgalanmalar için daha da büyük önem kazanmaktadır.

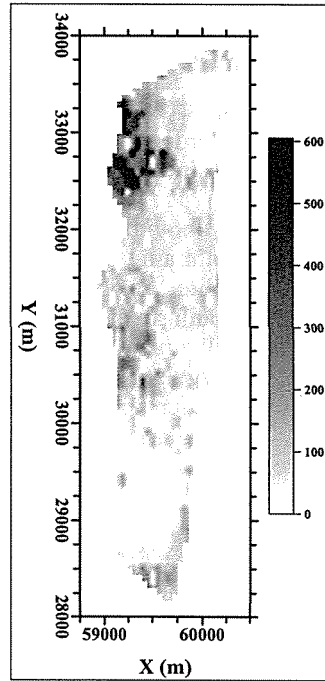
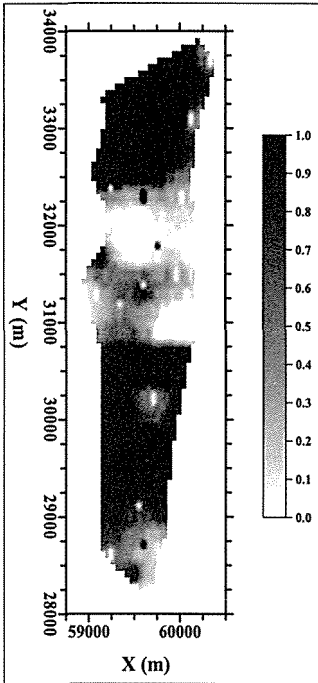


Şekil 11. Değişkenlerin AGB ortalama kalite dağılım haritaları: a) kalorifik değer, b) kalınlık.

AGB tekniği ile saha üzerinde kalorifik değer için benzetimler gerçekleştirilmiştir. Termik santralin teknik özelliklerine bağlı olarak santrale beslenen kömürün belirli minimum bir kalorifik değere sahip olması gerekir. Şu an termik santral kurulmadığından santral özellikleri ve termik santrale beslenecek linyitin minimum kalite değerleri belirlenmemiştir. Proje çalışmaları devam etmektedir. Bu çalışmada örnek olarak kritik kalorifik değerin 1200 kcal/kg olduğu varsayılmıştır. Bu kritik değeri geçen olasılık (belirsizlik) haritaları üretilmiştir. Şekil 12’de kalorifik değer için kritik değeri geçen verilerin AGB benzetim haritalarından rastgele seçilmiş bir olasılık haritası görülmektedir. Haritaya göre 1200 kcal/kg (kritik) değeri geçme olasılığı oldukça yüksektir. Bu haritaların yardımı ile bazı temel bilgiler işletme planlamasında

kullanılabilir. Örneğin kalite sınıflanarak ocağın haftalık, aylık, yıllık üretim planlaması yapılabilir. Uygun homojenizasyon ve iyi bir harmanlama oluşturulabilir. Ayrıca bu haritalar, kömürün işletilmesinin gerekmediği alt sahaların belirlenmesinde ve seçilmesinde de kullanılabilir. Bu haritalardaki bilgilerle, projede önemli maliyet düşüşü sağlanabilir. Çünkü yeterli kömür, yüksek güven sınırları içinde işletme sınır tenörlerine bağlı olarak belirlenmiştir.

Değişkenler için AGB standart sapma haritaları Şekil 13’de verilmiştir. Bu haritalar, belirsizliğin yüksek değerli alanlarında kriging varyansının dezavantajını ortadan kaldırmaktadır. Standart hatalar daha çok ortalamadan uzak yüksek ve küçük değerli alanlarda görülmektedir.



Şekil 12. Belirli bir sınır değeri aşan kalorifik değer olasılığının AGB haritası.

Şekil 13. Kalorifik değer AGB standart sapma haritası.

8 SONUÇLAR

Bu çalışmanın sonuçları aşağıdaki noktalar halinde özetlenebilir:

- Sonuçların doğruluğu, benzetim istatistikleri, histogram ve variogram geri üretimi ile test edilmiştir.
- Her bir kalite değişkeni için 100 adet benzetim yapılmıştır. Bunlardan rastgele seçilen benzetim haritalarının örnekleri sunulmuştur.
- Her bir değişkene ait benzetim, ortalama, belirsizlik ve standart sapma AGB haritaları üretilmiştir. Bu haritalar maden işletme yöntemi ve üretim planlaması için kalite dalgalanması ve değişimini gösterirler. Bu haritalar ile haftalık aylık, yıllık üretim planlanması yapılabilir.
- AGB haritaları yatak çevresindeki fizibilite ve araştırma-geliştirme çalışmalarına yardımcı olur. Bu haritalarla üretilen maden belirli kalite sınıflarında olacağından cevher hazırlama üniteleri de bu sınıflamalara göre kurulabilir. Böylece pazarlamadaki sorunlar azalır ve farklı kalite sınıfları ile üretilen cevher farklı fiyatlarla satılır.
- Gelişmiş ülkelerde maden yataklarının değerlendirilmesinde klasik yöntemler terk edilmiştir. Jeostatistik yöntemler yatağı üç boyutlu modelleyerek, örnekleme yapılmamış noktadaki veya alanlardaki kalite değişimini, rezervini, yatağın etki alanlarını ve yönünü tahmin etmektedir. Ülkemiz madencilğine bu yöntemlerin uygulanması kaçınılmazdır. Çünkü tüm maden projeleri, kalite ve rezerv çalışmaları üzerine inşa edilmektedir.

KAYNAKLAR

- Costa, J., Zingano, A.C., and Koppe, J.C., 2000. Simulation—An approach to risk analysis in coal mining. *CIM Explor. Mining Geol.* 9, 43-49.
- David, M., 1977, Geostatistical Ore Reserve Estimation, *Elsevier, Scientific Publishing Co.*, Amsterdam, The Netherlands.
- Gambin, F., Costa, J.F.C.L. and Koppe, J.C., 2005, Forecasting fluctuations in a coal quality delivered to a power-plant via stochastic simulation, *Mining Technology (TIMM)*, Vol. 114, A167-175
- Geovariances, 2006. *Isatis Software Manual*, France.
- Golden Software, Inc., 1999. *SURFER 7.0, Surface Mapping System*, Golden, Colorado.
- Journel, A.G. and Huijbregts, Ch.J. 1978, *Mining Geostatistics. Kluwer Academic Press*, London.
- Journel, A.G. and Kyriakidis, P.C., 2004. Evaluation of Mineral Reserves: A Simulation Approach. *Oxford University Press*, New York, 216 p.
- Journel, A.G., 1994. Modelling uncertainty: Some conceptual thoughts. In *Geostatistics for the Next Century*. Dimitrakopoulos, R. (Ed.). *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht, 30-43.
- Meirvenne, M.V. and Goovaerts, P., 2001. Evaluating the probability of exceeding a site-specific soil cadmium contamination threshold, *Geoderma*. 102, 75-100.
- Tercan, A. ve Saraç, C. 1998. Maden yataklarının değerlendirilmesinde jeostatistiksel yöntemler, *Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 48*, Ankara.
- Vann, J., Bertoli, O. and Jackson, S., 2002. An Overview of Geostatistical Simulation for Quantifying Risk. *Proceedings of the Geostatistical Association of Australasia Symposium "Quantifying Risk and Error"*.

Kesilebilirlik
Cuttability

Aşındırıcı Su Jeti Kesme Sistemlerinin Kayaç Kesme Performansları

Rock Cutting Performance of Abrasive Water Jet Cutting Systems

İ. Karakurt, K. Aydın

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET Su jeti kesme sistemleri doğal taş üretim süreçlerinde geleneksel üretim sistemleri karşısında özellikle son yıllarda önemli bir seçenek haline gelmiştir. Bu çalışma, çok değişik alanlarda yaygın uygulamalara sahip olan aşındırıcı su jeti kesme sistemlerinin, farklı kökenden iki kayadaki (doğal taş örnekleri) kesme performansını araştırmaktadır. Çalışma kapsamında sistemin çalışma parametrelerinden aşındırıcı besleme miktarı ve meme-örnek mesafesi değişiminin etkisi incelenmiştir. Her iki kayaç örneği için kesme derinliği, kesme genişliği ve kesme aşınma bölgesi derinlikleri ölçülerek kesme performansları belirlenmiştir. Deney sonuçlarının analizi düşük meme-örnek mesafesinin yüksek kesme performansı sağladığını göstermiştir. Aşındırıcı besleme miktarının artışı ile de kesme derinlikleri artmıştır. Ancak meme-örnek mesafesi ve aşındırıcı besleme miktarı değerlerinin artışı her iki kayaç ta da kesme genişliği ve kesme yüzey kalitelerinin kötüleşmesine neden olmuştur.

ABSTRACT Water jet cutting systems have become an important alternative in natural stone production processes, especially in the last years. This paper investigates the cutting performance of the abrasive water jet systems in cutting two different natural stones from different genesis. In the research, the standoff distance and the abrasive feed rate parameters were investigated. Cutting performance of the systems was determined on the cutting depth, cutting width and cutting wear zone parameters. Analyses of the results of the experiments showed that low standoff values provided improved cutting performances. On the other hand, increase of the abrasive mass flow rate brought the result of increased cutting depth. However, the cutting width and surface qualities affected adversely both with higher standoff and abrasive mass flow rate values.

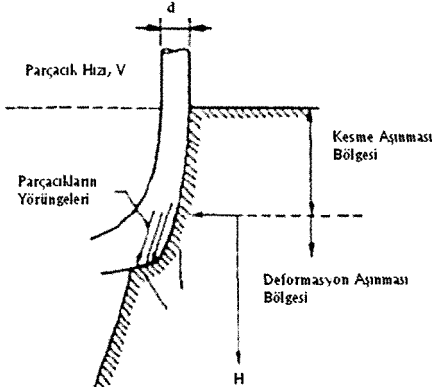
1 GİRİŞ

Su jeti kesme yöntemi endüstride farklı alanlarda yaygın kullanıma sahip esnek ve verimli bir kesme ya da malzeme işleme yöntemidir. Malzeme yüzeyinde bir mikro aşınma formu oluşturma olarak tanımlanan su jeti ile kesme işleminde, dar bir boru içerisinden geçen ve küçük bir ağızdan yüksek basınçta çıkan suyun, malzeme yüzeyine temas etmesi sağlar. Malzeme yüzeyine temas eden yüksek hız ve

basıncındaki su jeti, oluşturulan erozyon kuvveti ile yüzeyden malzeme parçacıklarını uzaklaştırarak kesme işlemini gerçekleştirir (URL-1, 2006).

Kesme işleminde aşınma, iki bölgeden oluşur. Birincisi kesme aşınma bölgesidir ve mikro işlemede olduğu gibi parçacıkların yüzey (temas) açısında çarpmasıyla malzeme uzaklaştırılır. Küçük kesme derinliğinde parçacık hızındaki değişiklik ile jetin yayılmasının ihmal edilebilirliği ve aşındırıcı

debisinin kesite düzgün dağıldığı kabul edilir. Kesme işleminde aşınmanın meydana geldiği ikinci bölge ise deformasyon aşınmasıdır. Burada malzeme, büyük açılarda çarpan parçacıkların plastik deformasyonu ile ayrılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Aşındırıcı su jeti ile kesmede kesme ve deformasyon aşınma aşamaları (Yazıcıoğlu vd, 1993).

Su jeti kesme sistemlerinin kayaçların kesiminde kullanılabilirliğini araştıran az sayıda araştırmacı başlıca kesme mekanizmasının açıklanması ve optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi üzerinde durmuşlardır. Yöntemin kayaçların kesilmesinde kullanılabilirliği konusunda erken dönem çalışmalarından birisi Bortolussi vd. (1988) tarafından gerçekleştirilmiştir. Granit örnekler kullandıkları çalışmalarında pompa basıncı, meme çapı ve kesme hızı parametrelerinin değişimini inceleyen araştırmacılar yüksek basınçlı su jetlerinin granitlerin (ya da kayaçların) kesilmesinde ticari olarak pratik bir kesme yöntemi olduğunu, ayrıca aşındırıcı ilavesinin granit kesme performansını arttırdığı belirlemişlerdir.

Hagan (1992), şeyl ve kumtaşı örneklerle gerçekleştirdiği araştırmada, çalışma parametrelerinin değişiminin kesme performansı üzerindeki etkisini araştırmış ve en etkin parametrenin jet basıncı olduğunu belirlemiştir. Su basıncından sonra önemli parametrelerin ise kesme hızı ve meme çapı olduğunu kaydeden Hagan (1992), meme

çapının en önemli etkisinin kesme genişliği üzerindeki belirleyiciliği olduğunu ifade etmiştir.

Miranda ve Quintino (2005), kalkerli kayaçların aşındırıcı su jeti ile kesilebilirliği üzerinde malzeme özelliklerinin etkisini araştırmışlardır. Kristalin mermer ve kireçtaşı ile yapılan deneyler sonucunda iki kayacın farklı davranışlar gösterdiği gözlenmiştir. Kayaç sertliğinin ve boşluk oranının kesme performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilen çalışmada kesme/aşınma mekanizmaları için önemli bir ilişki belirlenmemiştir. Kristalin mermerler gibi sert ve homojen malzemelerde kesmenin taneler arası değme yüzeyleri boyunca ve kalsitik tanelerin yerinden ayrılması şeklinde gerçekleştiği ortaya konulmuştur. Kireç taşında ise kesmenin tanelerin de kesildiği bir süreç olarak geliştiği görülmüştür.

Liu ve Chen (2002) ise pompa basıncı, aşındırıcı miktarı, kesme hızı ve jet çapı gibi parametrelerin kesme mekanizması ve kesme performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Granit örneklerin kullanıldığı deneylerde akustik yayılım (AE) ölçümleri ile farklı sinyal özellikleri analiz edilerek, yüksek yüzey kalitesi ve verimli kesme amaçları için bir kılavuz önermişlerdir.

Bir başka araştırmada Huang vd. (2006) granit örnekler kullanarak aşındırıcı su jeti sistemlerinin çalışma parametrelerinin kesme kalitesi ve kesme verimliliği üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Diğer parametreler sabit kalmak koşuluyla jet basıncının arttırılmasının sadece kesme genişliğini arttırdığını belirten araştırmacılar kesme sonucu oluşan yarık ağzındaki kavisliliğin azalan basınçla arttığını belirlemişlerdir. Yüzey kalitesi, kesme derinliği ve yarık ağzı kavisliliğinin kabul edilebilir değerlerde olmasını sağlamak üzere etkin parametrelerin bazılarının birlikte değiştirilmesini öneren araştırmacılar kesme yüzeylerindeki pürüzlülüğün kesme hızı ve basınç parametrelerinin kontrolünde değiştiğini belirlemişlerdir.

Savanick ve Krawza (1996), aşındırıcı malzeme ilave edilmiş su jetlerinin saf su jetlerine göre daha düşük basınçla

çalışabileceğini belirlemiştir. Çalışmalarda aşındırıcı ilave edilmiş su jetleri ile daha düşük su basıncı değerlerinde etkin bir kesme/delme performansı elde edilmiştir.

Momber (2003), kayaç ve kayaç gibi sert bazı çimento bileşimli malzemelerde malzeme yüzeyinde oluşan aşınma ve erozyon mekanizmasını araştırdığı çalışmada triboloji prensiplerinin kesme anında oluşan erozyon ve aşınma mekanizmasını açıklamak için kullanılabilirliği belirtilmiştir. Ek olarak, aşınma ve erozyon mekanizmasının seçimli bir yolla meydana geldiği bunda da etken olan parametrenin kayacın yapısında var olan kırık, çatlak gibi yapısal kusurların olduğu ve bu parametrelerin aşınma ve erozyon mekanizmasına olumlu yönde etki ettiği belirlenmiştir.

Ma ve Deam (2006), en uygun kesme hızı ve kesme kalitesi için temel alınabilecek bir tolerans değerinin belirlenmesini amaçladıkları çalışmalarında, diğer parametreler sabit tutularak kesme hızı değişimi ile kesik geometrisi arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Kesme hızının 1-2 mm/sn aralıklarla artışı ile kesik geometrisinin iraksaklıktan yakınsaklığa doğru bir değişim gösterdiği ve yüzey dalgalılığının da yüksek hızlarda belirginleştiği görülmüştür.

Madencilikte kullanımı ile ilgili olarak gerçekleştirilmiş kısıtlı sayıda araştırmaya karşılık su jeti sistemlerin farklı alanlarda kullanım olanaklarının araştırıldığı çok sayıda çalışma mevcuttur. Ayrıca su jeti sistemlerinin kesme performansının geliştirilmesi amacıyla yönelik önemli sayıda araştırmaya rastlamak mümkündür.

Hu vd. (2002), Momber ve Kovaçevič (1997) ve Momber (2004) beton, Abdel-Rahman ve El-Domiati (1998), seramik, Akkurt vd. (2004) alaşımlı saf alüminyum ve paslanmaz çelik, Chen vd. (2002) yumuşak çelik levha, Chen ve Siores (2003) alüminyum katkılı seramik, akrilik cam (perspex), yumuşak çelik ve alüminyum gibi farklı özelliklere sahip malzemelerle, özellikle, aşındırıcı su jeti ile kesmenin mekanizması ve kesme performansını

araştıran önemli çalışmalar ortaya koymuşlardır. Ayrıca, Chen vd. (2002), Chen vd (1998), Chen and Siores (2003) ve Lemma vd., (2005)' de su jetli kesme sistemlerinde memeye titreşim verilmesinin kesme yüzeylerinin düzgünlüğü ve kesme performansının geliştirilmesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu kategoriden çalışmalar meme titreşiminin kesme yüzey pürüzlülüğünün azaltılması yönünde önemli bir katkı sağladığını ortaya koymuşlardır.

2 DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1 Malzeme ve Yöntem

Deneysel çalışmalarda bir granit (Rize, İkizdere) ve bir oniks (Bayburt, Yaylapınar) (Bayburt) kullanılmıştır. Deneysel 3x10x20 cm boyutlarındaki örnekler, uzunlukları boyunca 3 cm'lik 5 dilim halinde kesilmiştir. Deneysel, kesme performans ölçütü olarak örneklerin her kesim sonrasında kesme derinliği, kesme genişliği ve kesme aşınma bölgesi derinliği ölçülmüştür. Deneysel çalışmalar 400 MPa çalışma basıncı ve 600 mm/dak kesme hızında gerçekleştirilmiştir.

2.2 Örnek Özellikleri

Deneysel kullanılan örnekler Doğu Karadeniz Bölgesi'nden temin edilmiştir. Örneklere ait temel fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 1 ve 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. İkizdere (Rize) graniti temel fiziksel ve mekanik özellikleri.

Özellik	Değer
Çekme Dayanımı (MPa)	11,26
Basınç Dayanımı (MPa)	130,00
Eğilme Dayanımı (MPa)	16,17
Yüzey Aşındırma Direnci (%)	13,12
Darbe Dayanımı (kg.cm/cm ³)	12,00
Doluluk Oranı (%)	98,65
Ultrasonik Hız (m/sn)	4148,28

Çizelge 2. Yaylapınar (Bayburt) oniksi temel fiziksel ve mekanik özellikleri.

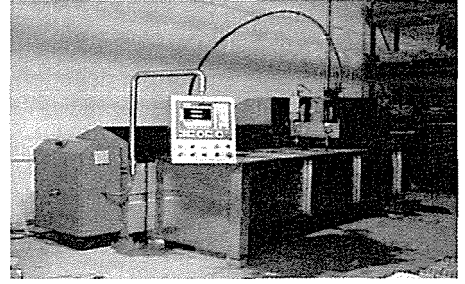
Özellik	Değer
Çekme Dayanımı (MPa)	7,30
Basınç Dayanımı (MPa)	73,12
Eğilme Dayanımı (MPa)	5,95
Yüzey Aşındırma Direnci	16,39
Darbe Dayanımı (kg.cm/cm ³)	2,50
Doluluk Oranı (%)	98,82
Ultrasonik Hız (m/s)	6380,42

İkizdere graniti makroskobik olarak grimsi-pembemsi renk gösterir. Kuvars, plajiolklas ve ortoklaz gözle ayırt edilebilecek büyüklüktedir. Ortoklazın yoğun olduğu bölümlerde kayacın rengi de pembeleşmiştir. Mikroskobik incelemelerde kayaç taneli bir yapı göstermektedir. Kuvars diğer minerallerin arasına özşekilsiz yerleşmiştir. Plajiolklas, açık renkli minerallerin yarıya yakınına oluşturur. Koyu renkli mineral olarak çoğunlukla hornblend gözlenmektedir (Tüdeş, 1994).

Oniksler beyaz, soluk krem, soluk gri renklerde. Oniks örneklerinin mikroskobik incelemelerinde, kalsit, aragonit ve çok az miktarda kuvars ve kil içerdikleri görülmüştür. Onikslerin yapılan petrografik incelemelerinde ise yüksek sıcaklık karakteristiğine sahip olduğu görülmektedir (Alp vd., 2006).

2.3 Deney Düzenegi

Deneyel çalışmalar, İstanbul'da İmes Sanayi Sitesi'nde faaliyeti sürdüren CT Kesme Tek. ve Mak. San ve Tic. Ltd. Şti. isimli firmada gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan su jeti makinesi Şekil 2'de gösterilmiştir. Makine otomatik kontrollü bir CNC tezgâhdır. Yapılacak işler kontrol odasında bulunan bilgisayarda programlanarak tezgâha gönderilir. Tezgâh birbiri ile özdeş çalışan iki kesme kafasına sahiptir ve üç eksen (X,Y,Z) hareket edebilmektedir.

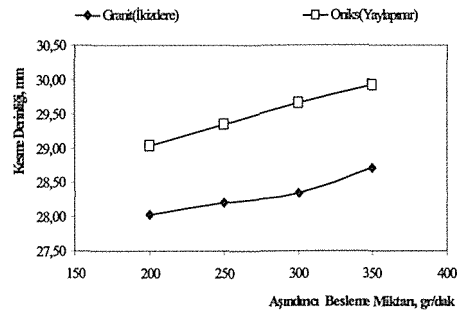


Şekil 2. Deneyel çalışmalarda kullanılan Su Jeti Makinası (CT Kesme Tek. ve Mak. San ve Tic. Ltd. Şti. izniyle, 2006)

3 BULGULAR VE İRDELEME

3.1 Aşındırıcı Besleme Miktarı Değişimi

Aşındırıcı besleme miktarının etkisini incelemek amacıyla 200, 250, 300, 350 gr/dak miktarlarında aşındırıcı beslemesi yapılmıştır. Deneyel çalışmalarda aşındırıcı olarak garnet/granat kullanılmıştır. Sertliği 7,5-8 Mohs arasında olan garnet % 36 FeO, % 33 SiO₂, % 20 Al₂O₃, % 4 MgO, % 3 TiO₂, % 2 CaO ve % MnO₂'den oluşmaktadır. Kullanılan garnetin tane boyutu 100 µm'dir. 400 MPa çalışma basıncı, 600 mm/dak kesme hızı ve 2 mm meme-örnek mesafesi seçilmiştir. İzleyen grafikte örnek kesme derinliklerinin aşındırıcı besleme miktarına bağlı değişimi gösterilmiştir.

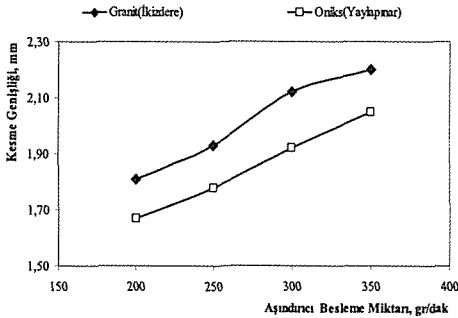


Şekil 3. Örnek kesme derinliklerinin aşındırıcı besleme miktarına bağlı değişimi.

Şekil 3'te de görüleceği üzere aşındırıcı besleme miktarındaki artış her iki örnekte de kesme derinliklerinin artmasını sağlamıştır.

Onikte hemen hemen örnek kalınlığına yakın derinlikler elde edilirken granitte daha düşük kesme derinlikleri elde edilmiştir. Kesme derinliğindeki artış granitte 300 gr/dak aşındırıcı miktarına kısıtlı bir aralıkta gerçekleştiği halde bu değerden sonra artış hızlanmıştır.

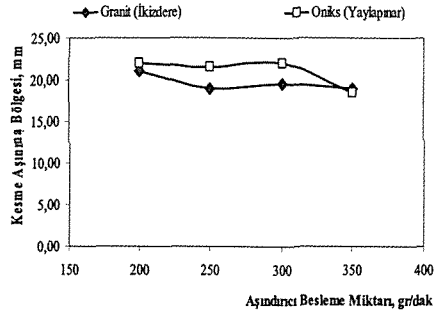
Aşındırıcı besleme miktarındaki artışın örnek kesme genişliklerine olan etkisi genişliğin artması yönünde olmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. Örnek kesme genişliklerinin aşındırıcı besleme miktarına bağlı değişimi.

Şekil 4'te de görüldüğü gibi aşındırıcı besleme miktarındaki artış granitte daha fazla olmak üzere kesme genişliklerinin artmasına sebep olmuştur. Onikte ise daha düzgün bir artış elde edilirken granitteki değişim 250 gr/dak besleme miktarına kadar düzgün bir artış göstermiş ve bu artış 300 gr/dak besleme miktarından sonra daha da hızlanmıştır.

Kesme yüzey kalitesinin belirlenmesinde etken olan kesme aşınma bölgesi derinliği aşındırıcı besleme miktarı artışı ile azalma eğilimi gösterse de düzenli bir değişim söz konusu değildir (Şekil 5). Aşındırıcı besleme miktarının artışı her iki örneğin de genel olarak kesme aşınma bölgesi derinliklerinin azalması yönünde etki etmiştir. Her iki örnekte de 200-300 gr/dak aralığında azalma kısıtlı oranda gerçekleşirken 300 gr/dak besleme miktarından sonra onikte meydana gelen düşüş hızlanmıştır. Granitte ise 250 gr/dak'dan sonra görece sabit bir gidış söz konusudur.



Şekil 5. Örnek kesme aşınma bölgesi derinliklerinin aşındırıcı besleme miktarına bağlı değişimi.

Aşındırıcı besleme miktarının kesme derinliğinden daha çok kesme genişliği ve kesme yüzey kalitesi üzerindeki etkileri önemlidir. Zira artan aşındırıcı miktarı kesme genişliği ve kesilen yüzeylerdeki dalgalılığın artmasına neden olmaktadır. Literatürde gerek kayaç gerekse farklı malzemelerde yapılan çalışmalarda da bu sonuca işaret eden çalışmalar mevcuttur (Chen ve Siores (2003) ve Chen vd. (2003)).

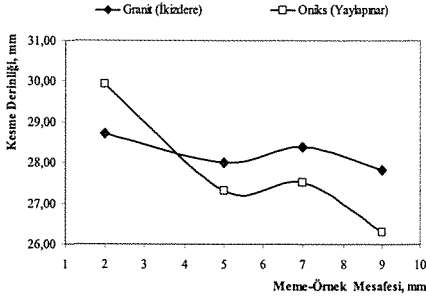
Deneyisel çalışmalarda, aşındırıcı besleme miktarı artışı ile kesme derinlikleri artmıştır. Bu olumlu etkiye karşın, kesme genişliklerinin artması ve kesme aşınma bölgesi derinliklerinin düşmesi aşındırıcı artışının kesme kalitesi üzerine olumsuz bir etki yaratmasına neden olmuştur. Aşındırıcı besleme miktarı artışı ile yüzey dalgalılığı ve pürüzlülüğü granitte daha kötü olmak üzere her iki örnekte de artmıştır.

3.2 Meme-Örnek Mesafesi Değişimi

Deneyisel çalışmalarda meme-örnek mesafesi değişimi, 2, 5, 7 ve 9 mm değerlerinde araştırılmıştır. Çalışma basıncı 400 MPa iken kesme hızı 600 mm/dak olarak seçilmiştir.

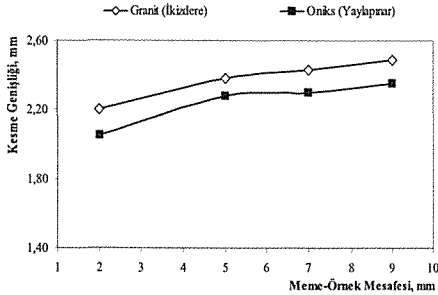
Yapılan çalışmalarda meme-örnek mesafesi artışı her iki örnekte de kesme derinliklerinin azalmasına neden olmuştur (Şekil 6). Artan meme-örnek mesafesi ile kesme derinliği değişimi her iki kayaç da yaklaşık benzer bir davranış göstermiştir. 5 mm meme-örnek mesafesine kadar granitte daha yavaş olmak üzere her iki örnekte de

kesme derinliğinde azalama meydana gelirken 5-7 mm aralığında her iki kayacda da kesme derinliğinde artış meydana gelmiştir. Ancak 7 mm'den sonra onikste daha hızlı olmak üzere kesme derinlikleri tekrar düşme eğilimine girmiştir.



Şekil 6. Örnek kesme derinliklerinin meme-örnek mesafesine bağlı değişimi.

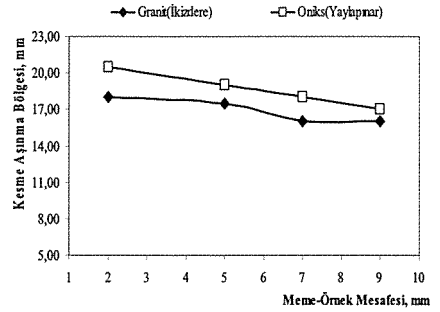
Meme-örnek mesafesinin artışı ise kesme genişliklerinin artmasına neden olmuştur (Şekil 7). Şekil 7'de görüleceği gibi meme-örnek mesafesi artışı ile çalışılan kayaclarda kesme genişlikleri benzer bir artış eğilimi göstermişlerdir. Bu artış 5 mm'ye kadar görece hızlı gelişirken, 5-7 mm aralığında kısıtlı bir aralıkta gerçekleşmiştir.



Şekil 7. Örnek kesme genişliklerinin meme-örnek mesafesine bağlı değişimi

Meme-örnek mesafesi değişimi kesme aşınma bölgesi derinliklerinin düşmesi yönünde etki etmiştir (Şekil 8). Her iki örnekte de kesme aşınma bölgesi derinliklerinde düşüşler meydana gelmiştir. Düşüş granitte 5 mm'ye kadar kısıtlı aralıkta

meydana gelirken 5-7 mm aralığında hızlanmıştır. Ancak 7-9 mm aralığında ise düşme hızı tekrar azalmıştır.



Şekil 8. Örnek kesme aşınma bölgesi derinliklerinin meme-örnek mesafesine bağlı değişimi.

Literatürde farklı örneklerle yapılan çalışmalarda, meme-örnek mesafesinin düşük tutulmasının kesme derinliği, kesme genişliği ve kesme aşınma bölgesi derinliği üzerinde olumlu etkisi kadar kesme yüzey kalitesinin iyileştirilmesi için uygun olacağı belirtilmiştir (Ma ve Deam, 2006; Momber ve Kovacevic, 1997).

Deneyisel çalışmalarda, gerek meme-örnek mesafesi gerekse de aşındırıcı besleme miktarı değişimi ile kesme derinliği, kesme genişliği ve kesme-aşınma bölgesi derinliği parametrelerinin değişimleri incelendiğinde her iki kayacın ortaya koyduğu davranışının genel olarak benzerlikler gösterdiği görülecektir. Ancak izlenen aralıklarda genel eğilimden sapmalar olarak tanımlanabilecek farklılaşmalar görmek mümkündür. Bu farklılaşmalar kayac özellikleri ile kesme/aşınma mekanizmasının toplam sonucudur. Genel fiziksel ve mekanik özelliklerine ek olarak granit ve oniksin mineralojik ve dokusal özellikleri ile aşındırıcı taneciklerinin kesme/aşındırma etkisine bağlı olarak iki kayacın aşınma/kesilme davranışları farklılıklar göstermiştir.

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, aşındırıcı su jeti yönteminin iki farklı kayadaki kesme performansı araştırılmıştır. Çalışmada kesme sisteminin çalışma parametreleri olan aşındırıcı besleme miktarı ve meme-örnek mesafesi incelenmiştir. Bu amaçla kesme performans göstergesi olan kesme derinliği, kesme genişliği ve kesme aşınma bölgesi derinliğinin ölçülmesi ile elde edilen değerler incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. İncelenen kayalar ve denenen çalışma parametreleri temel alındığında optimum yüzey kalitesi ve kesme performansı için her iki kayaç için de meme-örnek mesafesinin 1-3 mm alınabileceği belirlenmiştir.
2. Aşındırıcı besleme miktarının ve meme-örnek mesafesinin arttırılması her iki kayaçta da kesme genişliğinin artması ve yüzey kalitesinin düşmesine neden olmuştur.
3. Aşındırıcı besleme miktarındaki artış kesme derinliklerinde artışa sebep olsa da kesme genişliği ve yüzey kalitesi üzerinde olumsuz bir etkiye neden olmuştur.
4. Kayalarda aşındırıcı su jeti ile kesme uygulamalarında yüksek performans için kayaca göre meme-örnek mesafesinin düşük ve kesilen malzemeye göre uygun aşındırıcı miktarı seçilmesi gereklidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu tarafından desteklenen 2005.112.008.2 referans numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Sağlanan destek için **K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Fonuna** teşekkür ederiz

Ayrıca, deneylerde kullanılan örneklerin temini ve hazırlanması konusunda yardım ve katkılarından dolayı GÜVENCEM Mermer ve Madencilik Şirketi ile KAFMER Dış Tic. Ltd. Şti.'ne teşekkür ederiz.

5 KAYNAKLAR

- Abdel-Rahman, A. A. ve El-Domiati, A. A., 1998, Maximum Depth of Cut Ceramics Using Abrasive Waterjet Technique, Wear, 218, 216-222.
- Akkurt, A., Kulekci, K. M., Seker, U. ve Ercan F., 2004, Effect of Feed Rate on Surface Roughness in Abrasive Waterjet Cutting Applications, Journal of Materials Processing Technology, 147, 389-396.
- Alp, İ., Yılmaz, A. O., Çavuşoğlu, İ., Arslan, M., Kolaylı, H. ve Er, M., 2006, Bayburt Yaylapanar Oniksinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Ed., Ersoy, M. ve Ergün, E., Türkiye V. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu, 2 - 3 Mart 2006, Afyonkarahisar.
- Bortolussi, A., Yazici, S. ve Summers, D.A., 1988, The Use of Waterjets in Cutting Granite, 9th International Symposium on Jet Cutting Technology, 4 - 6 October, Sendai - Japan.
- Chen, L. F., Siores, E., Patel, K. ve Momber, W. A., 2002, Minimising Particle Contamination at Abrasive Waterjet Machined Surfaces by a Nozzle Oscillation Technique, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Design, Research and Application, 42, 1385 - 1390.
- Chen, L. F. ve Siores, E., 2003, The Effect of Cutting Jet Variation on Surface Striation Formation in Abrasive Waterjet Cutting, Journal of Materials Processing Technology, 135, 1-5.
- Chen, L. F., Wang, J., Lemma, E. ve Siores E., 2003, Striation Formation Mechanisms on The Jet Cutting Surface, Journal of Materials Processing Technology, 141, 213-218.
- Hagan, P.C., 1992, The Cuttability of Rock Using a High Pressure Water Jet, The University of New South Wales (UNSW), Sydney, Australia.
- Hu, G. X., Momber, W. A. ve Yin, G. Y., 2002, Hydro-Abrasive Erosion of Steel-Fibre Reinforced Hydraulic Concrete, Wear, 253, 848-854.
- Huang, Z. C., Hou, G. R., Wang, J. ve Feng, X. Y., 2006, The Effect of High Pressure Abrasive Water Jet Cutting Parameters on Cutting Performance of Granite, Key Engineering Materials, 304-305, 560-564.
- Lemma, E., Deam, R. ve Chen, L., 2005, Maximum Depth of Cut and Mechanics of Erosion in AWJ Oscillation Cutting of Ductile Materials, Journal of Materials Processing Technology, 160, 188-197.

- Liu, Y. ve Chen, X., 2004, A Study on The Abrasive Water Jet Cutting for Granite, Key Engineering Materials, 257-258, 527-532.
- Ma, C. ve Deam, R. T., 2006, A Correlation for Predicting The Kerf Profile from Abrasive Water Jet Cutting, Experimental Thermal and Fluid Science, 30, 337-343.
- Miranda, M. R. ve Quintino, L., 2005, Microstructural Study of Material Removal Mechanisms Observed in Abrasive Waterjet Cutting of Calcareous Stones, Materials Characterization, 54, 370 – 377.
- Momber, W. A. ve Kovacevic, R., 1997, Test Parameter Analysis in Abrasive Water Jet Cutting of Rocklike Materials, International Journal of Rock Mechanic and Minerals Science, 34, 17-25.
- Momber, W. A., 2003, Wear of Rocks by Water Flow, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 41, 51 – 68.
- Savanick, A. G. ve Krawza, G. W., 1996, An Abrasive Water Jet Rock Drill, Twin Cities Research Center Bureau of Mines,U.S. Department of the Interior Minneapolis, Minnesota.
- Tüdeş, Ş.,1994, İkizdere (Rize) Yöresindeki Granitik Kayaçların Mermer Olarak Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- URL-1,
http://www.mfg.mtu.edu/cyberman/machining/no_n_trad/waterjet,
Waterjet Cutting, 25.09.2006.
- Yazıcıoğlu, O., Kurt, M. ve Çetinkaya, Y.U., 1993, Sert Parçaların Kesilmesinde Basınçlı Su Jetinin Kullanılması, 6. Makine Teorisi Sempozyumu, Eylül 1993, Trabzon.

Dairesel Testerelerle Kesme Yönteminde Kesim Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne ve Özgül Enerjiye Etkisinin İncelenmesi

Investigation of the Effect of Cutting Parameters to Specific Energy and Surface Roughness in Circular Sawing Method

Y. Özçelik, F. Bayram, N.E. Yaşıtlı, E. Yılmazkaya, E.S. Kanbir
Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

S. Şile

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Maden İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara

ÖZET Doğal taşların işlenmesi aşamasında kullanılan makinelerden biri de dairesel testereli kesim makineleridir. İşleme aşamasında kullanılan diğer makinelere oranla daha esnek kullanım olanağının olması nedeniyle yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Doğal taş sektöründe yaygın şekilde kullanılan bu makinelerde, optimum kesim koşullarının belirlenmesi önemli bir konuyu teşkil etmektedir. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, dairesel testerelerde optimum çalışma koşullarının belirlenmesi için farklı yöntemler ve parametreler kullanılmış, ancak özgül enerji ve yüzey pürüzlülük değerlerinin beraber kullanıldığı çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışma kapsamında, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde geliştirilen tam otomatik bilgisayar kontrollü dairesel testereli kesim makinesi kullanılarak Afyon Sarı ticari isimli doğal taş numunesi üzerinde farklı çalışma koşullarında kesimler yapılmıştır. Kesim esnasında oluşan titreşim, özgül enerji değerleri ile kesilen yüzeyin pürüzlülük değerleri ölçülerek kesimi yapılan doğal taş numunesi için optimum kesme koşulları belirlenmeye çalışılmıştır. Böylelikle hem daha ekonomik kesme koşullarının belirlenmesi amaçlanmış hem de sonraki aşamalarda yapılacak olan kalibrasyon, cilalama-parlatma işlemlerinin ekonomikliğine katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

ABSTRACT One of the machines used for production and processing of natural stones is circular sawing machines. These machines are used in stone processing spreadly because of having a flexible usage opportunity according to other processing machines. Therefore, determination of optimum operating conditions for circular sawing machines is an important subject for stone processing. In previous studies, different methods and parameters were used for determination of optimum operating conditions of circular blades. However, there is no study in which specific energy and surface roughness are used together for determination of optimum operating conditions. In scope of this study, sawing tests were performed on natural stone sample commercial named as Afyon Honey with full automatic model circular sawing machine developed in Hacettepe University Department of Mining Engineering. Vibration values were recorded during sawing, specific energy and surface roughness values were also determined. The optimum operating conditions were tried to determine for natural stone sawn. Thus, both the determination of more economical sawing conditions and to assist other processing stages such as calibration, polishing etc. were aimed.

1 GİRİŞ

Doğal taşların işlenmesindeki gelişmeler ve farklı amaçlarla kullanılması, uygarlığın gelişiminde önemli bir yer tutmuştur. İnsanoglunun yaşam standardı yükselmiş, bir devrin kapanmasına neden olurken, başka bir devrin açılmasına ışık tutmuştur. Günümüzde, insanoğlu yaşam kültürünün ve teknolojinin gelişmesine paralel olarak doğal taş kullanımının artması sonucunda doğal taş işlemeciliği ülkemizde madencilik sektörünün en önemli alanlarından biri olmuştur. Son yıllarda bu sektörün önemi giderek artmış ve doğal taş sektörü üretici ülkelerin belirgin bir gelir kaynağı haline gelmiştir.

Türkiye ekonomisinde madenciliğin durumuna bakıldığında, son yıllarda mermercilik sektörünün lokomotif durumda olduğu görülmektedir. 1993'den sonra Türkiye'nin işlenmiş mermer ihracatının artmaya başlamasıyla mermer sektörü yurtdışında kendine yer edinmeye başlamış, ülkemizde mermer makineleri sanayisi de hızla gelişmiş, dünyada imal edilen tüm yeni makine teknolojileri Türkiye'ye getirilerek üretilmeye başlanmıştır. Bu faktörler sektörün katlanarak gelişme göstermesini sağlamıştır. Dünyada 1998 yılında yaşanan ekonomik krizden pek çok sektör büyük zararlar görürken, doğal taş sektörü krizden pek etkilenmemiş, ancak yükseliş hızı kesilmiştir. Dünya ekonomisindeki toparlanmaya karşın Türkiye ekonomisi bu krizden kurtulamamıştır. Bu süreçte doğal taş sektörü ihracat özelliğinin artarak ön plana çıkması ve sağladığı yüksek istihdam nedeniyle ülke ekonomisindeki ağırlığını artırmıştır (Şile, 2007).

Ülke ekonomisinde önemli bir yer tutan doğal taş sektörünün rekabet gücünü artırması için üretim aşamasından mamul hale gelinceye kadar ki süreçlerde kullanılan makine ve sistemlerin optimum çalışma koşullarının sağlanması gerekmektedir. Doğal taş sektöründe, blokların üretimi ve işlenmesi aşamasında kullanılan makinelerden biri de dairesel testereli kesim makineleridir.

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, dairesel testerelerin optimum çalışma

koşullarının belirlenmesi için farklı yöntemler ve parametreler kullanılmıştır. Ancak; farklı çalışma koşullarında (çevresel hız, ilerleme hızı) elde edilen titreşim, özgül enerji değerleri ile kesilen yüzeyin pürüzlülük değerlerinin ölçülerek, kesilen kayaç için optimum çalışma koşullarının belirlenmesine yönelik bir çalışma yapılmamıştır.

Bu çalışma kapsamında, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde geliştirilen tam otomatik model dairesel testereli kesim makinesi kullanılarak Afyon Sarı ticari isimli doğal taş numunesi üzerinde farklı çalışma koşullarında kesimler yapılmıştır. Kesim esnasında oluşan titreşim ve özgül enerji değerleri ile kesilen yüzeyin pürüzlülük değerleri ölçülerek kesimi yapılan doğal taş numunesi için optimum kesme koşulları belirlenmeye çalışılmıştır. Optimum kesme koşullarının belirlenmesinde, en az enerji tüketimi ile kesim aşamasında en düzgün yüzey elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmayla doğal taşların dairesel testerelerle kesiminde, hatalı kesme koşullarının önüne geçilmesi, bu tip makinelerin daha verimli ve ekonomik kullanılması için yapılması gerekenlerin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu şekilde yapılan çalışma hem kesme yönteminin ekonomikliğine hem de ileriki aşamalarda yapılacak (kalibrasyon, cilalama ve parlatma gibi) işlemlerin ekonomikliğine katkıda bulunacaktır.

2 DAİRESEL TESTERELİ KESİM MAKİNELERİ

Doğal taş işleme tesislerinde bloklardan levha/plaka üretimi için kullanılan makinelerden biri de dairesel testereli kesim makineleridir. Dairesel testereli kesim makineleri, yarı şekilli veya şekilsiz doğal taş bloklarından levha/plaka üretimi için kullanılmaktadır. Bir dairesel testereli kesme tezgahı (makinesi) aşağıdaki kısımlardan oluşur (Bayram, 2005). Bunlar;

- a) Kesme düzeneği (testere sistemi) ve kesme motoru,

- b) Bu motor ve düzeneğin ileri-geri ve aşağı-yukarı hareket ettiği çelik bir köprü düzeneği
- c) Köprüyü taşıyan çelik ve/veya beton iki-dört ayak (kolon)
- d) Köprü altında yer alan hareketli veya hareketsiz tabla (tezgah masası)
- e) Tabla üzerinde blok sabitleme ve taşıma arabası

Dairesel testerele kesim makinelerinin kullanım amaç ve kıstaslarına göre yukarıda belirtilen beş ana unsur değişiklik gösterir. Bununla birlikte, kesimin bloktan yarı mamul veya mamul ürün elde edilmesi ve ürünlerin boyutlandırılmasında kullanılması da kesim makinelerinin adlandırılmasında kullanılmaktadır.

Dairesel testerele kesme yönteminin ve teknolojinin avantajları aşağıda verildiği gibi özetlenebilir (Primavori, 2002);

- Makine ilk yatırım maliyetinin benzer makinelerle göre düşük olması
- Blok kesme makinesinin çok amaçlı kullanılabilmesi, esnekliği
- Düzensiz boyutlu blokların verimli kesilebilmesi ve ekonomiye kazandırılması
- Küçük miktarlarda üretim için ekonomik olması
- Yarı mamul ve mamul ürün elde edilebilmesi
- Değişik kalınlıklarda levha/plaka kesilmesine olanak sağlaması

• Kullanılan elmas soket çeşidine göre her çeşit kayaç kesiminin yapılabilmesi Dairesel testerele blok kesme makinelerinin temel yapısı, iki veya dört adet ayak (kolon) üzerinde bulunan bir köprü, köprü üzerinde bulunan kesim motoru ve testerelelerden oluşmaktadır. Bloktan plaka kesimi için bir ana kesim motoru, buna bağlı düşey kesim yapan ana dairesele testere ve daha küçük motor gücünde yatay kesim yapan daha küçük çaplı testereden oluşmaktadır. Bu sistemde kesilecek bloğun yer aldığı ana tabla üzerinde yerleşim ve kilitleme sistemi bulunan vagon yer alır. Ayrıca sistemin bir kumanda merkezi vardır. Dairesel testerele kesim makinelerinde dikey dairesele elmaslı testere, bloğun levhalar halinde dilimlere ayrılmasında kullanılır. Yatay testere ise dilimlere ayrılmış bloktan levhaların alt kenarlarının kesilerek tamamen levhanın serbest kalmasında kullanılır (Bayram, 2005; Şentürk vd., 1996).

Doğal taş bloklarından yarı mamul ve mamul elde edilmesinde öncelikle kullanılan testerelelerin seçiminde ve kullanılmasında göz önüne alınması gerekli bir takım şartlar ve kesmeyi etkileyen bazı parametreler bulunmaktadır. Kayaç özellikleri dışında uygun bir dairesele testere seçimine ve dairesele kesicilerle kesmeye etkileyen parametreler Çizelge 1'de verilmiştir (Bayram, 2005).

Çizelge 1. Dairesel testere seçimine ve dairesele testerelelerle kesmeye etkileyen parametreler (Bayram, 2005).

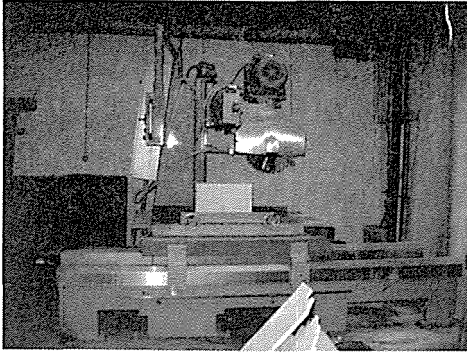
<i>Değişmez Özellikler (değiştirilemez)</i>	<i>Değiştirilebilir ve/veya yarı denetlenebilir değişkenler</i>	
Kesilecek Malzemenin Mühendislik Özellikleri	Kesme Ekipmanın Özellikleri	Kesme Ortamında Çalışma Koşullarının Teknik Özellikleri
<ul style="list-style-type: none">• Fiziki ve mekanik özellikler• Kimyasal özellikler• Mineralojik özellikler• Petrografik özellikler• Tane-yönlenmesi ve dolgulu süreksizlikler• Dokusal özellikler• Yapısal özellikler• Bozunma karakteristiği	<ul style="list-style-type: none">• Testere çapı• Soket durumu• Metalürjik matriks yapı• Tolerans limitleri• Elmas tipi ve oluşumu• Çevresel hız• Testerelelerdeki aşınma şekilleri	<ul style="list-style-type: none">• Besleme kuvveti• Su miktarı• İlerleme hızı• Motor gücü ve devri• Kesme derinliği• Aşağı ve yukarı kesme yöntemleri• Titreşim• Kesme hızı

Dairesel testereli kesim makinelerinde verimli bir kesim yapılabilmesi için, kesilecek malzemenin sabit parametreleri düşünülerek değiştirilebilir ve/veya yarı denetlenebilir parametrelerin en uygun şekilde ayarlanması gerekmektedir.

3 ÇALIŞMADA KULLANILAN DENEY SETİ

3.1 Tam Otomatik Model Dairesel Testereli Kesim Makinesi

Çalışmada kullanılan tam otomatik model dairesel testereli kesim makinesi, genel olarak dikey testereli bir yan kesme makinesidir (Şekil 1). Makinenin mekanik olarak düşey düzlemde yukarı-aşağı ve yatay düzlemde sağa-sola testere hareketi bulunmaktadır. Kesme işlemi, yatay düzlemde ileri-geri vagon hareketiyle sağlanmaktadır. Makine üzerine istenildiğinde 400, 500 ve 600 mm çaplı testere takmak mümkündür. Makinedeki tüm işlemler elle kumanda edilebildiği gibi bilgisayar yardımıyla da kontrol edilmekte olup, bu durum operatör becerisi ile ilgili kullanım hatalarını en aza indirmektedir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan tam otomatik model dairesel testereli kesim makinesi

Otomasyon programı yardımıyla makine üzerinde ölçülebilen veriler aşağıda verilmektedir:

- Kesim hızı
- Testere çevresel hızı
- Kesme derinliği
- Kesme işleminde kullanılan su miktarı

- Kesme işleminde kullanılan enerji miktarı
- Kesim sırasında testerenin sağa-sola doğru hareketinde oluşan titreşim
- X, Y ve Z yönlerinde kesim sırasında etki eden kuvvetler

Bu veriler bir saniyede 4 adet olarak alınıp bilgisayar ortamına Excel dosyası olarak kaydedilebilmektedir.

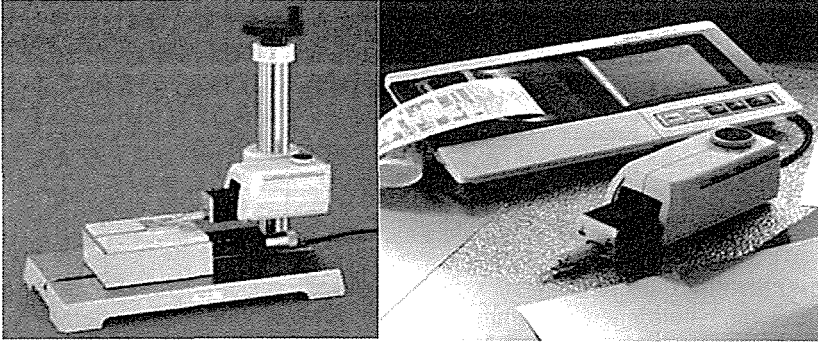
Kesme deneylerinde, seçilen mermer grubuna uygun 50 cm çapında testere kullanılmıştır. Bu testerenin elmas konsantrasyonu 24 (konsantrasyon 100 = 4,4 karat elmas/cm³) olan elmas soketler bulunmaktadır. Testere üzerinde toplam 30 adet soket bulunmakta olup soket genişlikleri 5,5 mm, soket boyları 40 mm ve soket yükseklikleri 7 mm'dir. Deneylerde kullanılan su miktarı ortalama 15 -20 lt/dak olacak şekilde belirlenmiştir.

3.2 Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

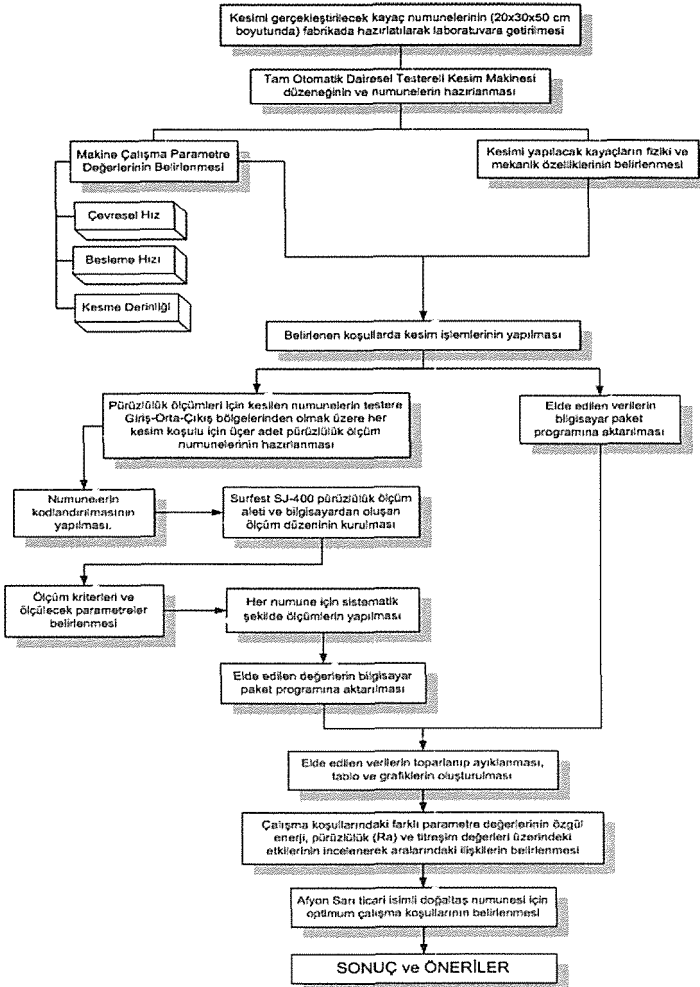
Kesim yapılan yüzeyin pürüzlülüklerinin belirlenmesinde, yüzeye direkt temas halinde çalışan SurfTest SJ-400 Portable Surface Roughness Tester cihazı kullanılmıştır (Şekil 2). Cihaz üzerinde bir adet kaydedici uç mevcuttur. Söz konusu uç ölçüm yapılan yüzey üzerinde bir düzlem boyunca hareket ettirilirken yüzeyde var olan pürüzlerin içerisine girip çıkmakta, meydana gelen titreşimler 100.000 kata kadar büyütülerek, hareketli bir şerit üzerine kaydedilmekte veya göstergeden okunmaktadır. Böylece yüzeyin pürüzlülük profili mikron düzeyinde çıkartılmaktadır. Ölçüm sonuçları dijital ve grafiksel olarak ekranda görüntülenebilmekte veya yazıcıdan çıktı olarak alınabilmektedir. Aynı zamanda elde edilen veriler bilgisayar ortamına da aktarılabilir.

4 YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çalışmalarda Afyon Sarı ticari isimli doğal taş üzerinde tam otomatik model dairesel testereli kesim makinesinde kesimler yapılmıştır. Kayacın bazı fiziki ve mekanik özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Yapılan çalışmanın genel akım şeması Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 2. SJ-400 pürüzlülük ölçer cihazı ve ilgili ekipmanın genel görünüşü



Şekil 3. Çalışmalar süresince izlenen yöntem

Çizelge 2. Afyon Sarı ticari isimli doğal taşın bazı fiziki ve mekanik özellikleri.

Birim Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Ağırlıkça Su Emme (%)	Shore Sertliği	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)
2.71	0.29	48	77.8	6.79	12.20

Kesimlerde kullanılmak üzere 20 x 30 x 50 cm boyutlarında belirlenen numuneler hazırlanıp, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Mermer Teknolojileri Laboratuvarına getirilmiştir. Kesimlerde çevresel hızlar 25 / 35 / 45 / 55 / 65 m/sn, ilerleme hızları 100 / 300 / 500 / 700 / 900 mm/dak ve kesme derinliği 20 mm olarak alınmıştır. Kullanılan çevresel ve ilerleme hızları düşünüldüğünde 25 farklı kesim koşulunda kesimler gerçekleştirilmiştir. Her kesim koşulu 4 defa tekrarlanmış olup toplam 100 adet kesim yapılmıştır.

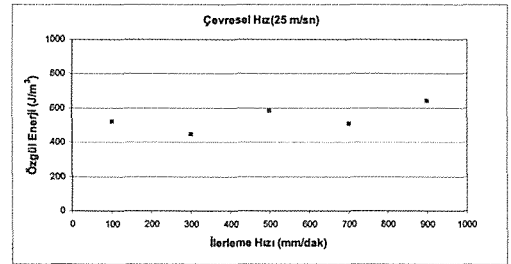
Kesimler sırasında kullanılan enerji miktarları belirlenmiş ve her kesim için özgül enerji hesaplaması yapılmıştır. Özgül enerji, birim zamanda kesilen hacim için gerekli olan enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca kesim sırasında oluşan yanıl titreşim değerleri de kaydedilmiştir. Dairesel testereyle kesme işlemleri bittikten sonra 50 cm. uzunluğunda kesilen numunelerin giriş-orta-çıkış kısımlarından 10-12 cm uzunluğunda parçalar kesilerek pürüzlülük ölçümü için özel 300 adet numune hazırlanmış ve hazırlanan bu numuneler üzerinde kesim sırasında testerenin sağında ve solunda kalan yüzeyler için ayrı ayrı pürüzlülük ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada her kesim koşulu için toplam 24 adet pürüzlülük ölçümü gerçekleştirilmiştir. Pürüzlülük ölçümleri sonucu her farklı kesim koşulu için elde edilen pürüzlülük (Ra) değerlerinden ortalama pürüzlülük değerleri hesap edilmiştir.

4.1 Verilerin Değerlendirilmesi

Yapılan kesimler sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi aşamasında ilk etapta, kesim koşullarıyla özgül enerji, pürüzlülük ve titreşim değerleri arasındaki

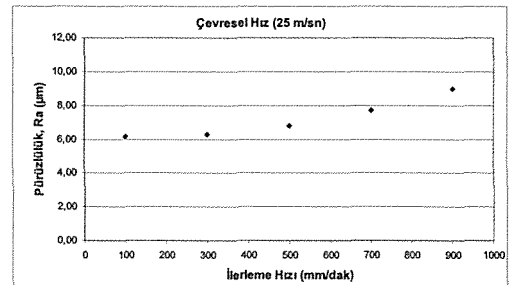
ilişkiler incelenmiştir. Bu amaçla, her bir çevresel hız için farklı ilerleme hızının özgül enerjiye ve pürüzlülüğe etkisi incelenmiştir. Bu incelemelerde farklı ilerleme hızlarında meydana gelen yanıl titreşim değerleri dikkate alınarak incelenen çevresel hız için en uygun ilerleme hızı tespit edilmiştir.

25 m/sn çevresel hızla yapılan kesimlerde, özgül enerji değerleriyle ilerleme hızı arasındaki ilişki Şekil 4'te verilmiştir.



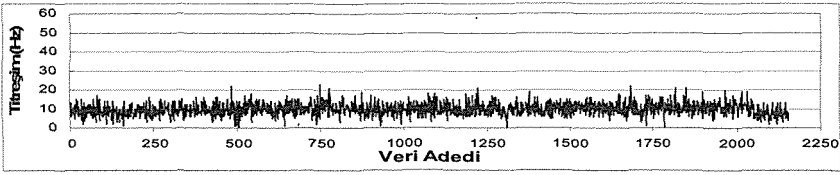
Şekil 4. 25 m/sn çevresel hızda özgül enerji-ilerleme hızı ilişkisi.

Benzer şekilde, 25 m/sn çevresel hızla yapılan kesimlerde, pürüzlülük değerleriyle ilerleme hızı arasındaki ilişki Şekil 5'te verilmiştir.

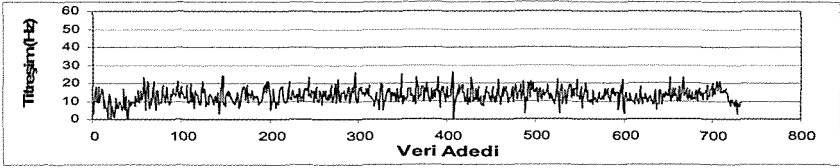


Şekil 5. 25 m/sn çevresel hızda pürüzlülük-ilerleme hızı ilişkisi.

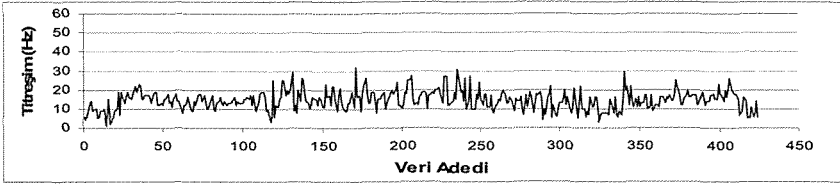
25 m/sn çevresel hızla yapılan kesimlerde verilmiştir. oluşan yanıl titreşim değeri ise Şekil 6'da



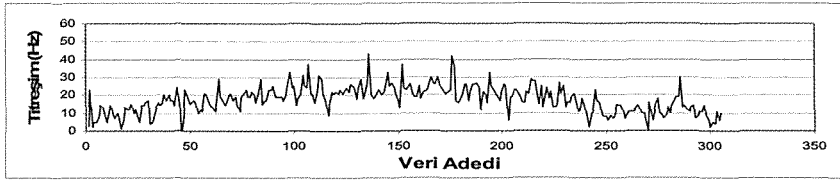
(a) İlerleme hızı 100 mm/dak



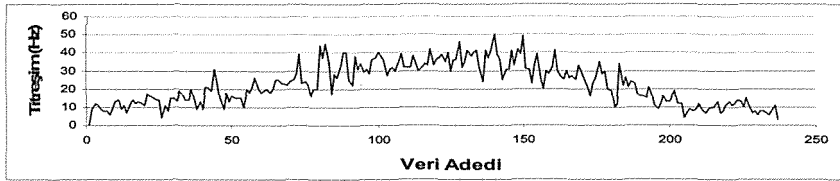
(b) İlerleme hızı 300 mm/dak



(c) İlerleme hızı 500 mm/dak



(d) İlerleme hızı 700 mm/dak



(e) İlerleme hızı 900 mm/dak

Şekil 6. 25 m/sn çevresel hız ve farklı ilerleme hızlarında oluşan titreşim eğrileri.

Dairesel testereli kesim makinelerinde en uygun kesim koşulu için kriter, en hızlı-en düşük enerjili-en az soket aşınmalı ve en düzgün yüzey elde edilen kesim olmalıdır. Şekil 4 incelendiğinde, 25 m/sn çevresel hızda en uygun kesim koşulunun özgül enerji değerlerinin en düşük olduğu 100, 300 ve 700 mm/dak ilerleme hızında olduğu tespit edilmiştir. Bu kesim koşullarından hangisinin 25 m/sn çevresel hıza uygun olduğu ise, harcanan enerjinin ne kadarının etkin olarak kesimde kullanıldığının ve en düzgün kesim yüzeyinin tespiti ile mümkündür. Bu tespit kesimlerde meydana gelen titreşim seviyelerinin yorumlanmasıyla yapılabilir. Kesimlerde meydana gelen yanıl titreşim grafikleri (Şekil 6a, b, c, d ve e) incelendiğinde ise, titreşim seviyesinin en yüksek 700 mm/dak ilerleme hızıyla yapılan kesimde meydana geldiği görülmektedir. Bu yüzden 700 mm/dak ilerleme hızıyla yapılan kesimin hızlı olmasına rağmen, gerek kullanılan enerjinin etkin olarak kesimde

harcanmaması gerekse oluşan kesim yüzeylerinin yüzey kalitesinin düşük (daha pürüzlü) olması sebebiyle tercih edilmemesi gerekmektedir. Şekil 5 incelendiğinde ise, 700 mm/dak ilerleme hızında meydana gelen pürüzlülüğün 100 ve 300 mm/dak ilerleme hızlarında meydana gelen pürüzlülüğünden daha fazla olduğu görülmektedir. Bu nedenle, 25 m/sn çevresel hızla yapılan kesimlerde ilerleme hızının düşük seçilmesi gerektiği tespit edilmiş ve bu ilerleme hızının ise, Şekil 5'te görüldüğü gibi kesim yüzeyinde en düşük pürüzlülüğe neden olan 100 mm/dak olduğu sonucuna varılmıştır.

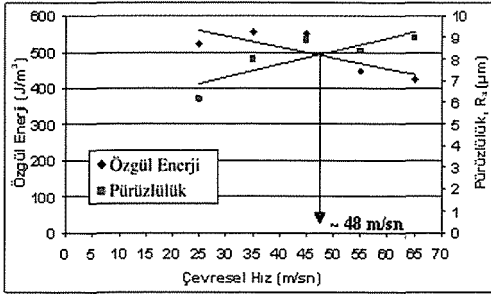
Yukarıdaki benzer değerlendirmeler diğer çevresel hız değerleri için de (35, 45, 55 ve 65 m/sn) yapılmış ve elde edilen sonuçlar toplu olarak Çizelge 3'te verilmiştir. Değerlendirmenin ikinci aşamasında, her bir çevresel hız için belirlenen ilerleme hızlarına karşılık gelen özgül enerji ve pürüzlülük değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar da Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Kesimlerde uygulanan çevresel hızlar için önerilen ilerleme hızları ve bu koşullara ait özgül enerji ve pürüzlülük değerleri

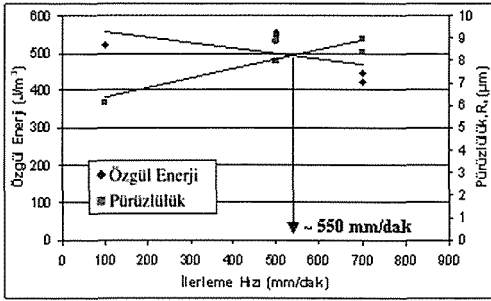
Çevresel Hız (m/sn)	Önerilen Uygun İlerleme Hızı (mm/dak)	Önerilen Kesim Koşuluna Ait Özgül Enerji (J/m ³)	Önerilen Kesim Koşuluna Ait Pürüzlülük R _a (µm)
25	100	520	6,15
35	500	554	7,96
45	500	549	8,86
55	700	444	8,37
65	700	423	8,97

Önerilen kesim koşulları incelendiğinde, çevresel hız ve ilerleme hızının artmasıyla özgül enerji seviyesinin düştüğü, pürüzlülük seviyesinin ise arttığı belirlenmiştir. Buna göre üzerinde çalışılan doğal taş için, 20 mm kesim derinliğinde optimum kesim koşulları (optimum çevresel hız ve optimum ilerleme hızı) Şekil 7 ve 8'de görüldüğü gibi denge noktaları belirlenerek elde edilmiştir.

Şekil 7 ve 8 incelendiğinde, üzerinde çalışma gerçekleştirilen Afyon Sarı ticari isimli doğal taş için 20 mm sabit kesme derinliğinde, özgül enerji-pürüzlülük değerlerine göre belirlenen optimum kesim koşulu, 48 m/sn çevresel hız ve 550 mm/dak ilerleme hızı olarak tespit edilmiştir.



Şekil 7. Çevresel hız-özellülük ve pürüzlülük ilişkisi.



Şekil 8. İlerleme hızı-özellülük ve pürüzlülük ilişkisi.

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, Afyon Sarı ticari isimli doğal taş numunesi üzerinde farklı çalışma koşullarında tam otomatik model dairesel testerele kesme makinesiyle kesimler yapılmış, kesimlerden elde edilen özgül enerji, pürüzlülük ve titreşim değerleri göz önüne alınarak optimum kesim koşullarının belirlenmesine çalışılmıştır.

Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- 20 mm sabit kesme derinliğinde, özgül enerji değerlerinin ilerleme hızı arttıkça belirli değerlere kadar düştüğü, dolayısıyla ters orantılı olarak değiştiği belirlenmiştir. Ancak, 900 mm/sn ilerleme hızlarında ise ani yükseliş gösterdiği tespit edilmiştir.
- 20 mm sabit kesme derinliğinde, ilerleme hızı arttırıldıkça, pürüzlülük değerinin genelde arttığı, dolayısıyla doğru orantılı bir ilişki gösterdiği tespit edilmiştir.

- 20 mm sabit kesme derinliğinde, pürüzlülük değerinin, özgül enerji değeri ile genelde ters orantılı olarak değiştiği belirlenmiştir.
- Afyon Sarı ticari isimli doğal taş numunesi için 20 mm kesim derinliğinde farklı çalışma koşullarında yapılan kesimler sonucunda özgül enerji, pürüzlülük ve titreşim değerleri göz önüne alındığında optimum kesim koşulunun 48 m/sn çevresel hız ve 550 mm/dak ilerleme hızında olduğu tespit edilmiştir.

Kesme işlemlerine başlanılmadan önce kesilecek doğal taşın ne amaçla kullanılacağı belirlenmesi, optimum kesme koşullarının ne yöne doğru kaydırılabileceğinin belirlenmesinde etkili olacaktır. Yüzey kalitesi iyi (düşük pürüzlü) olması istenilen kesimlerde, optimum kesme koşullarının özgül enerji değerini düşük düzeyde tutacak şekilde ayarlanması gerektiği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Bayram, F., 2005, Doğal Taş (Mermer) Bloklarından Levha/Plaka Üretim Yöntemleri ve Kesim Teknolojileri, *Doğal Taş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri*, Editör: Prof. Dr. Seyfi Kulaksız, Maden Mühendisleri Odası Yayını, No:102, Ankara, s. 431-499.
- Primavari, P., 2002, Technological Developments and the State-of-the Art in Machinery and Installations For Extracting and Processing Stone Materials, *Marmomacchine Directory 2002*, Associazione Italiana Marmomacchine, pp.40-197.
- Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y.İ. ve Sarıışık, A., 1996, Mermer Teknolojisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 237 s.
- Şile, S., 2007, Afyon Sarı Mermerinin Dairesel Testerele Kesiminde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Özgül Enerjisine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 89 s.

Elmas Telli Kesmede Kasnak Çapının Kesme Performansına Etkisinin İncelenmesi

Investigation of Effect of Pulley Diameter to Cutting Performance in Diamond Wire Cutting

Y. Özçelik, E. Yılmazkaya, F. Bayram, N.E. Yaşıtılı, E.S. Kanbir
Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

N. Kekeç
Portsan A.Ş., Burdur

ÖZET Bu çalışmada, elmas telli kesme makinasının kasnak çapının kesme performansına etkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla öncelikle Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde geliştirilmiş olan Model Elmas Telli Kesme Makinasına uygun 4 farklı çap değerinde kasnak (50, 60, 70 ve 80 cm) imalatı yaptırılmış ve bu kasnaklar kullanılarak kesimler gerçekleştirilmiştir. Bu kesimlerde, kasnak devri 1000 rpm ve gerdirme amperajı 28 amper olacak şekilde sabit tutulmuştur. Kesim işlemleri sırasında, kesimi gerçekleştiren boncuklarda meydana gelen aşınma değerleri ölçülmüş, yapılan kesimlerdeki ortalama kesim hızları ve kesimler sırasında makinada meydana gelen titreşim değerleri kaydedilmiştir. Kasnak çapı değişimi ile elmas boncuklarda meydana gelen aşınmalar, ortalama kesim hızları ve makinada meydana gelen titreşimler arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Sonuç olarak, elde edilen ilişkiler kullanılarak kasnak çapının elmas telli kesme yönteminde kesme performansına etkisi ortaya konulmuştur.

ABSTRACT. In this study, it is tried to show the effect of pulley diameter of diamond wire cutting machine to cutting performance. For this purpose, firstly, 4 different diameters of pulleys (50, 60, 70 and 80 cm) were manufactured for Model Diamond Wire Cutting Machine developed in Hacettepe University Department of Mining Engineering and natural stone blocks were cut using these pulleys. On these cutting operations, pulley rotation (1000 rpm) and tensioning amperage (28 amperes) were constant. After the cutting operations, unit wear on beads were measured and average cutting rate and vibration values that occurred on diamond wire cutting machine were recorded. The relationships among diameter of pulley with unit wear on diamond beads, average cutting rate and vibration on the machine were investigated. As a result, the effects of pulley diameter to cutting performance have been investigated.

1 GİRİŞ

Elmas telli kesme makineleri, doğal taş ocaklarında blok üretiminden nihai ürüne kadar olan birçok aşamada kullanılan vazgeçilmez makinelerdir. Günümüzde, doğal taş ocaklarının % 90'ından fazlasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanıcıların talepleri doğrultusunda geçmişten günümüze kadar sürekli gelişim

göstermiştir. Elmas telli kesme makinesinin ocaklarda kullanımının yaygınlaşması, doğal taş madenciliğinde yeni bir dönem açmıştır. Ancak, makinanın performansını etkileyen çok sayıda parametrenin (Çizelge 1) olması ve kesmede kullanılan yüksek tel maliyetinden dolayı bu makinanın optimum çalışma koşullarının belirlenmesi bir zorunluluk oluşturmaktadır (Özçelik vd., 2005).

Çizelge 1. Elmas telli kesmede kesme performansına etki eden parametreler (Özçelik, 1999; Özçelik vd., 2005).

Sabit Parametreler	Yarı Değişken/Değişken Özellikler	
	Kesilecek Kayacın Özellikleri	Çalışma Koşulları
<ul style="list-style-type: none">• Kayacın sertliği• Kayacın dayanımı• Su içeriği• Alterasyon derecesi• Kayaç içerisindeki süreksizlikler• Mineralojik bileşim ve doku	<ul style="list-style-type: none">• Motor gücü ve telin dönüş hızı• Elmas telin ve boncuğun yapısı• Kesilen bloğun boyutları• Kesme süresi boyunca, telin kesim geometrisi• Makina titreşimi• Su tüketimi• Kasnak çapı• Metredeki boncuk sayısı	<ul style="list-style-type: none">• Kalifiye eleman• Kullanılan teknik

Çizelge 1'de görüldüğü gibi, elmas telli kesmede kesimi etkileyen parametreler; sabit ve yarı değişken/değişken özellikler olarak iki ana başlık altında düşünülebilir. Burada yarı değişken/değişken parametreler makina parametreleri ve değiştirilemez özellikler ortam kayaç parametreleri (kayaçların fiziki, mekanik ve mineralojik-petrografik özellikleri) olarak nitelendirilmiştir. Bu parametrelerden biri olan kasnak çapı da elmas telli kesme yönteminde kesme performansı olarak bilinen elmas boncuklarda meydana gelen aşınma miktarını ve kesim hızını doğrudan etkilemektedir (Özçelik vd., 2005).

Elmas telli kesme işleminde kesme performansına etki eden parametrelerle ilgili (Çizelge 1) çeşitli bilim adamları tarafından bugüne kadar birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bazı araştırmacılar, elmas boncuğun aşınmasının (Özçelik, 1999; Özçelik vd. 2002), motor gücü ve tel hızının (Hawkins et. al., 1990; Wright, 1992), telin yapısının (Özçelik, 1999), kesilecek mermer bloğun boyutlarının (Berry et. al., 1989; Özçelik ve Bayram, 2004), kesim esnasındaki kesme geometrisinin (Özçelik, 1999; Özçelik, 2005), boncuğun yapısının (Özçelik, 1999; Özçelik ve Bayram, 2004; Özçelik vd. 2002 Capuzzi, 1989; Biasco, 1993; Cook and Smith, 1993) ve elmas telli kesimin bilgisayarlı modellemesinin (Bortolussi et. al., 1990 and 1994) kayaç özellikleri üzerine etkisini

araştırmışlardır. Fakat şimdiye kadar kasnak çapının kesme performansına etkisi konusunda herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu amaçla ve Çizelge 1'de verilen diğer parametrelerin detaylı olarak incelenmesi için Özçelik vd. (2005) tarafından model elmas telli kesme makinası tasarlanmıştır.

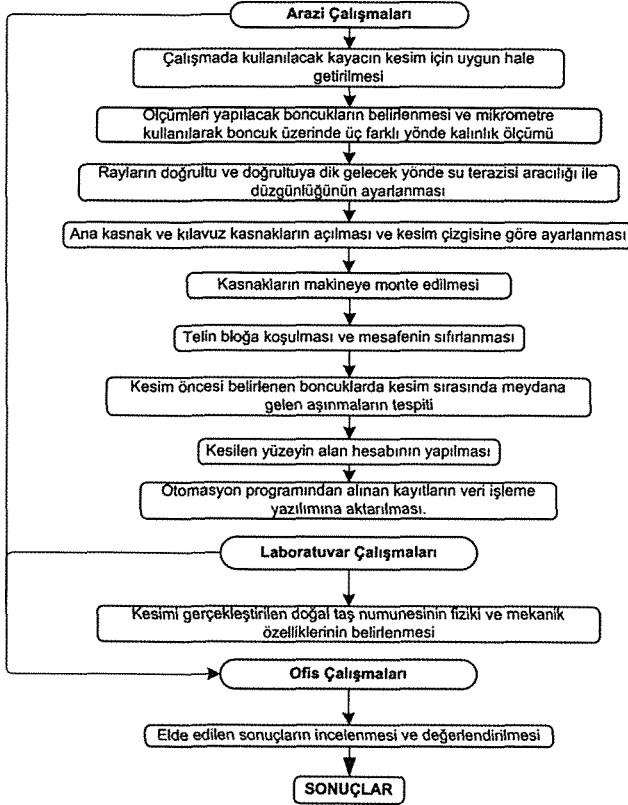
Bu çalışma kapsamında Krem-Krema (Burdur-Bucak) ticari isimli doğal taş üzerinde, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde geliştirilen tam otomatik bilgisayar kontrollü elmas telli kesme makinasıyla, farklı kasnak çaplarında kesimler gerçekleştirilmiştir. Yapılan kesimler sonucunda kasnak çapındaki değişimin kesim performansına etkisi, elmas boncuklardaki aşınma miktarına ve kesim hızına bakılarak incelenmiştir.

2 YAPILAN ÇALIŞMALAR

Farklı kasnak çaplarının elmas telli kesme yönteminde kesme verimliliğine etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada izlenen yöntem Şekil 1'de verilmiştir. Çalışmada Krem-Krema (Burdur-Bucak) ticari isimli doğal taş üzerinde makinanın kasnak çapı değiştirilerek kesimler yapılmıştır. Kayacın fiziki ve mekanik özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Farklı kasnak boyutları için, çapları 50, 60, 70 ve 80 cm olan 4 adet kasnak özel olarak imal ettirilmiştir. Model elmas telli kesme

makinası ve kasnakların görünümü Şekil 2'de verilmiştir. 4 farklı kasnak çapında tam otomatik model elmas telli kesme makinasıyla kesimler gerçekleştirilmiştir. Bu kesimler yapılırken daha kolay yorum yapabilmek amacıyla elmas telli kesme makinasının kasnak devir hızı (1000 RPM)

ve gerdirme amperajı (28 A) sabit tutulmuştur. Kesimler sırasında kesim hızları ve makinada oluşan üç yönlü (X, Y ve Z) titreşim değerleri kaydedilmiştir. Aynı zamanda, kesim sırasında elmas boncuklarda meydana gelen aşınmalar da belirlenmiştir.



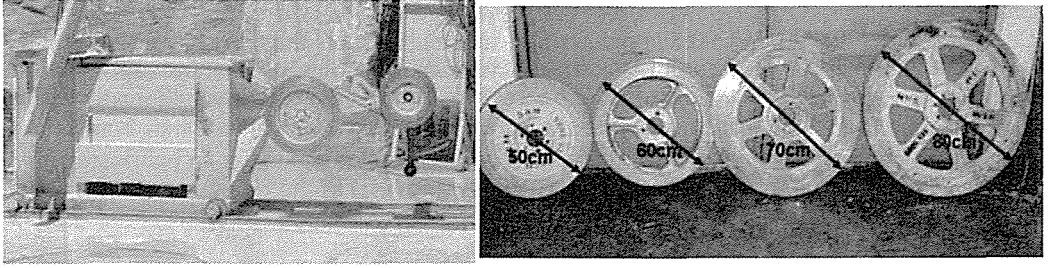
Şekil 1. Çalışmada izlenen yöntem.

Çizelge 2. Krem Krema ticari isimli doğal taşın bazı fiziki ve mekanik özellikleri.

Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	Ağırlıca Su Emme (%)	Görünür Gözeneklilik (%)	Mohs Sertliği	Shore Sertliği	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
2,690	0,25	0,68	3-4	51	79,40	6,39

En son aşama olarak çalışmalardan elde edilen sonuçların birlikte değerlendirilmesi ve sonuçların ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu amaçla farklı kasnak çaplarının kesme performansı olarak

kabul edilen (Özçelik vd., 2005) birim aşınma ve kesme hızı ile olan ilişkileri incelenmiştir. Ayrıca, kasnak çapının kesim sırasında makinada meydana gelen titreşime etkisi de ortaya konulmuştur.

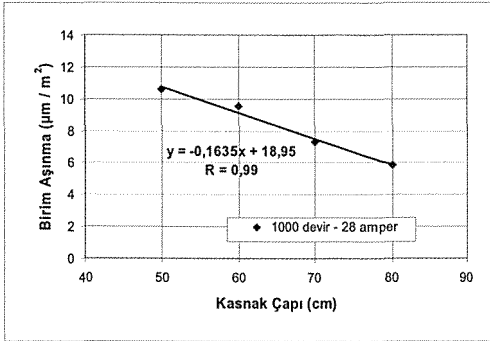


Şekil 2. Model elmas telli kesme makinesi ve farklı çaplarda imal ettirilen kasnaklar.

3 FARKLI KASNAK ÇAPLARININ KESİM PERFORMANSINA VE MAKİNA TİTREŞİMİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

3.1 Kasnak çapı-birim aşınma ilişkisi

Çalışma kapsamında arazide yapılan kesimler sonucunda, elmas boncuklarda meydana gelen birim aşınmalar ile elmas telli kesme makinasındaki kasnak çapı değişimi arasındaki ilişki incelendiğinde, kasnak çapıyla birim aşınma arasında yüksek dereceli bir ilişki olduğu görülmüştür (Şekil 3).

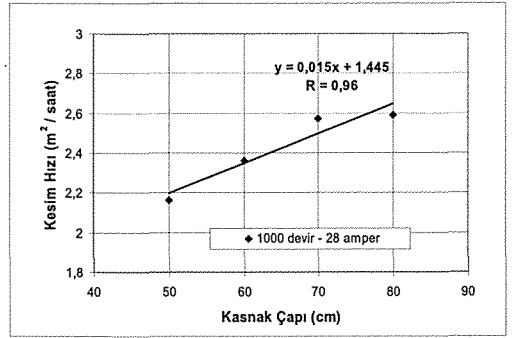


Şekil 3. Kasnak çapı-birim aşınma ilişkisi.

Buna göre, kasnak çapı arttıkça elmas boncuklarda meydana gelen birim aşınma miktarı azalmaktadır.

3.2 Kasnak çapı-kesim hızı ilişkisi

Yapılan kesim işlemlerinde belirlenen ortalama kesim hızları ile kasnak çapı arasındaki ilişki Şekil 4'te verilmiştir.



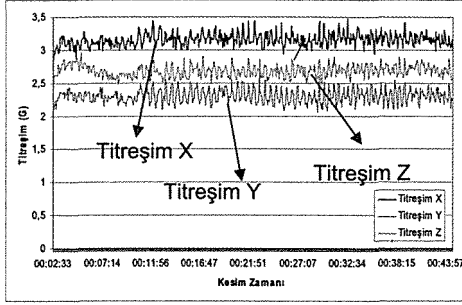
Şekil 4. Kasnak çapı-kesim hızı ilişkisi.

Şekil 4 incelendiğinde, kasnak çapının ortalama kesim hızıyla yüksek ilişkili olduğu ($R=0,96$) görülmektedir. Buna göre, elmas telli kesme makinasının kasnak çapının artmasıyla elmas telin kesim hızı da artmaktadır.

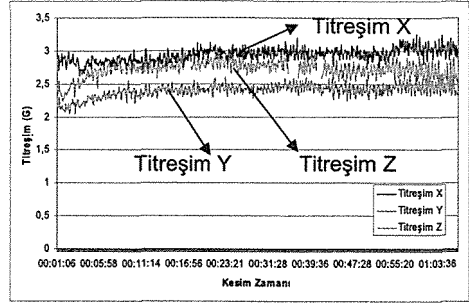
3.3 Kasnak çapı- titreşim ilişkisi

Kesimler sırasında kaydedilen üç yönlü (X, Y ve Z) titreşim değerlerinin kesim zamanına bağlı değişimi farklı kasnak çaplarına göre Şekil 5'te verilmiştir.

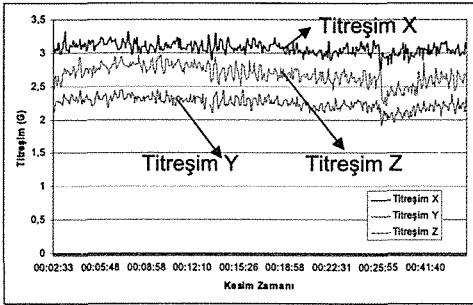
Şekil 3'te de görüldüğü gibi, birim aşınmanın en düşük olduğu 80 cm kasnak çapında yapılan kesimde titreşim genliği ve seviyesi en düşük, yine birim aşınmanın en yüksek olduğu 50 cm kasnak çapında yapılan kesimde titreşim genliği ve seviyesi daha yüksektir. Dolayısıyla elmas telli kesme yöntemiyle yapılan kesimlerde, makinada oluşan titreşimin kasnak çapıyla ters bir ilişki içerisinde olduğu söylenebilir.



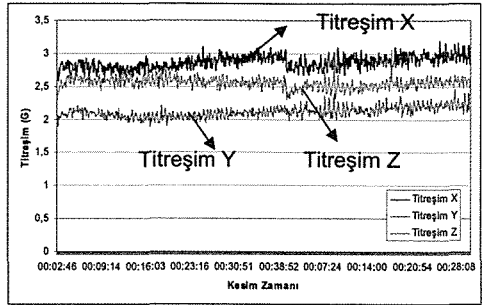
50 cm



70 cm



60 cm



80 cm

Şekil 5. Farklı kasnak çaplarında yapılan kesimlerdeki üç yönlü titreşim grafikleri.

4 SONUÇLAR

Elmas telli kesme yönteminde, kasnak çapının kesim performansına etkisinin incelenmesi amacıyla sabit kesim koşulları altında yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Elmas telli kesmede kasnak çapı değişimiyle boncuklarda meydana gelen birim aşınma arasında ters bir ilişkinin olduğu ($R=0,99$) tespit edilmiştir. Kasnak çapının artmasıyla birim aşınmanın azaldığı belirlenmiştir.
- Yapılan kesimlerde kasnak çapının artmasıyla kesim hızının da arttığı belirlenmiştir. Kasnak çapıyla kesim hızı arasında doğrusal bir ilişki tespit edilmiştir ($R=0,96$).
- Yapılan çalışmada aşınmanın en düşük olduğu 80 cm çaplı kasnak kullanılarak yapılan kesimde titreşim genliğinin ve seviyesinin en düşük, yine aşınmanın en yüksek olduğu 50 cm çaplı kasnak kullanılarak yapılan kesimde titreşim

genliğinin ve seviyesinin en yüksek olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Berry, P., 1989, Optimum use of diamond wire equipment in stone quarrying, 21st APCOM, Las Vegas, pp 351-365.
- Biasco, G., 1993, Diamond Wire for Quarrying Hard Rocks, Industrial Diamond Review, No: 5, pp. 252-255.
- Bortolussi, A., Ciccu, R., Manca, P.P. and Massacci, G., 1990, Simulation and Optimization of Rock Cutting with Diamond Wire, XXII. International Symposium APCOM, Berlin, pp. 163-176.
- Bortolussi, A., Ciccu, R., Manca, P.P. and Massacci, G., 1994, Computer Simulation of Diamond-Wire Cutting of Hard Rock and Abrasive Rock, IMM, Vol. 103, August, pp. A55-A128.
- Cappuzi, Q., 1989, Diamond Wire Cutting Technology in Granite Quarry, ACIMM for Marble, November-December, 24, pp
- Cook M. and Smith, B. A., 1993, A Study of Diamond Wire Bead Rotation, Industrial Diamond Review, (2) pp 79-81.

- Hawkins, A. C., Antenen A. P., and Johnson, G., 1990, The Diamond Wire Saw in Quarrying Granite and Marble, Dimensional Stone, September, pp 44-50.
- Özçelik, Y., 2005, Optimum working conditions of diamond wire cutting machines in marble industry, Industrial Diamond Review, IDR, (65) pp 58-64.
- Özçelik, Y.; Ay, A.M.; Bayram, F. ve Yaşıtılı, N.E., 2005. Model Elmas Tel Kesme Makinası Düzeneginin Oluşturulması ve Kesmede Etken Parametrelerin İncelenmesi, Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi, Proje No: 02 02 602 011, 91 s.
- Özçelik, Y., 1999. Mermercilikte Elmas Tel Kesme Makinalarının Çalışma Koşullarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 242 s.
- Özçelik, Y., Kulaksız S. and Çetin, M. C., 2002, Assessment of the Wearing on Diamond Beads in the Cutting of Different Rock Types by the Ridge Regression', Journal of Materials Processing Technology, (127/3) pp 392-400.
- Özçelik Y. and Bayram, F., 2004, Optical Investigations of Bead Wear in Diamond Wire Cutting, Industrial Diamond Review, IDR, (64) pp 60-65.
- Özçelik, Y., 2005, Effect of Mineralogical and Petrographical Properties of Marble on Cutting by Diamond Wire, CIM Bulletin, January/February, (98) No. 1085, pp 1-6.
- Wright, N. D., 1992, Marble and Granite Quarries Turn to Diamond Wire, Stone World, October, pp 77-80.

Jeoteknik Mühendisliği
Geotechnical Engineering

Yer Radarı (GPR) ve Kayaç Petrografisi Yöntemleri ile Bir Mermer Ocağındaki Yapısal ve Dokusal Süreksizliklerin Görüntülenmesi

Visualization of Structural and Textural Discontinuities in a Marble Quarry Using Ground Penetrating Radar (GPR) and Rock Petrography Methods

S. Kadioğlu

Ankara Üniversitesi Müh. Fak. Jeofizik Müh. Böl. 06100 Tandoğan/ANKARA

Y.K. Kadioğlu

Ankara Üniversitesi Müh. Fak. Jeoloji Müh. Böl. 06100 Tandoğan/ANKARA

ÖZET Mermer işletmeciliğinde en önemli problem işletim öncesi bir ocağın blok kapasitesinin ve ocağın homojenliğinin nasıl anlaşılacağıdır. Bu çalışmanın amacı yer radarı (GPR) ve kayaç petrografisi yöntemlerini kullanarak kırıklar, kalınlık değişimi, mineral kümelenmeleri gibi süreksizlikleri belirlemek ve görüntülemektir. Bu amaç altında ilk adım çalışma bölgesinde işletim öncesi yapısal ve dokusal özellikleri tanımlamak ve (x,y) koordinatlarında GPR verisini toplamaktır. İkinci adım işlenmiş GPR verilerinin (x,y,z) koordinatlarında 2B/3B görüntülenmesi ile ana süreksizliklerin belirlenmesidir. Son adım mikro süreksizlikleri, soğuma eklemlerini, anklav yığılımlarını ve alterasyon zonlarını belirlemek için mermer blokları üzerinde ayrıntılı mikroskobik özellikleri tanımlamak ve 800-1600 MHz antenler kullanarak GPR yöntemini uygulamaktır. Bu iki yöntem Kırşehir'in Akpınar ilçesindeki sert kaya (sienitoid) mermer işletiminde mineral kümelenmesi ile birlikte kırık ve kalınlıkların belirlenmesi ve haritalanmasında başarıyla uygulanmıştır.

ABSTRACT The major problems of a marble quarry management are how to understand the block capability and the homogeneity of a quarry before the management. The aim of this study is to determine and visualize the discontinuities such as fractures, variation in thickness, mineral segregations using ground penetrating radar (GPR) and rock petrography methods. The first step under this aim is defining of general structural and textural features and measuring of the GPR data on the (x, y) coordinates in the study area before managements. Second step is determination of main discontinuities with 2D/3D visualization of the processed GPR data on the (x, y, z) coordinates. The last step is definition of detailed microscopical features and application of GPR method by using 800-1600 MHz antennas on the marble blocks to determine micro discontinuities, cooling joints, enclave accumulations and alteration zones. These two methods were successfully applied to detect and map the thickness, fractures with the mineral segregations in a hard rock (sienitoid) marble management of Kırşehir Akpınar town region.

1 GİRİŞ

Bir kayaç kütesinin kesilip levhalanıp ve cilalanarak mermer adı altında sunulması için renk, doku ve rezervin uygun olması gerekmektedir. Mermer adı altında kayaçların sedimanter, metamorfik ve

magmatik kökenleri belirlenerek incelenmelidir. Her ne kadar sadece metamorfizmaya uğramış, tane boyutu 0.5mm' den büyük ve ana bileşeni kalsitten oluşan mermer tanımını oluştursa da inşaat sektöründe kesilip uygun boyutlara getirilen

tüm kayaçlar mermer adı altında tanıtılmaktadır. Magmatik kayaçların dokusal özellikleri; katılaştıkları derinlik ve süreçleri ilgili bilgiler sunarken mineralojik bileşimleri ise, geldikleri derinlik ve komşuluk ettikleri yan kayaç ve içine almış oldukları yabancı kayaç parçalarının türleri hakkında önemli veriler sergilerler. Kayaçlar içerisindeki mafik ve feslik minerallerin oranı kayacın rengini belirlemektedir. Magmatik kayaçlarda tane boyutu kristalleşmenin yavaş veya hızlı gerçekleşmesi hakkında, tanelerin oransal büyüklükleri ise kristalleştikleri derinlikleri hakkında bilgi sunarlar. Bu verilerin tümü kütlelin kalınlığı ve büyüklüğü (rezervi) hakkında bilgi vermektedir. Ancak magmatik kayaçların atmosferik şartlar altında ayrışması ve topraklaşma ile oluşan gevşek dokudaki örtü birimi çoğu zaman bu verileri gizlemektedir. Bu örtünün oluşmadığı durumlarda kayaçların petrografik özelliklerinden ve örtünün oluştuğu durumlarda ise yer radarı yönteminden yararlanarak fiziksel devamlılığı hakkında bilgi edinmek olasıdır.

Yer radarı (GPR) yöntemi, yakın yüzey araştırmalar için kullanılan yüksek frekanslı elektromanyetik alandan yararlanan bir jeofizik yöntemdir.

GPR yönteminin uygulama alanı oldukça geniştir. Genel olarak jeoloji, maden, arkeoloji, zemin etüdü, kara ve demiryolu araştırmaları, çeşitli inşaat yapım ve onarım çalışmaları olarak sınıflandırma yapılabilir. Jeolojide, maden arama ve işletmede başlıca yapısal araştırmalarda toprak stratigrafisinin ortaya çıkarılmasında (Davis and Annan 1989, Kadıoğlu ve diğ. 2006b), yüzeye yakın jeolojik birimlerin tespitinde, fay, kırık ve çatlakların haritalanmasında (Grandjean and Gourry 1996, Green et al. 2003, Kadıoğlu ve Kadıoğlu 2006a, b, c; Kadıoğlu vd. 2005; 2006a, Koralay ve diğ. 2006, Aldaş ve diğ. 2006), yeraltı karstik boşluklarının aranmasında (Kadıoğlu ve Ulugergerli 2004, Kadıoğlu ve diğ. 2006a), yeraltısuyu seviyesinin tespitinde (Bano et al. 2000, Dannowski and Yaramancı 1999), işletilebilir özellikteki mermer kalınlığının ortaya çıkarılması ve kırıkların

haritalanmasında (Orlando 2002, Grasmueck 1996, Grasmueck vd. 2005, Kadıoğlu ve Kadıoğlu 2006a, b, c) yaygın olarak kullanılır.

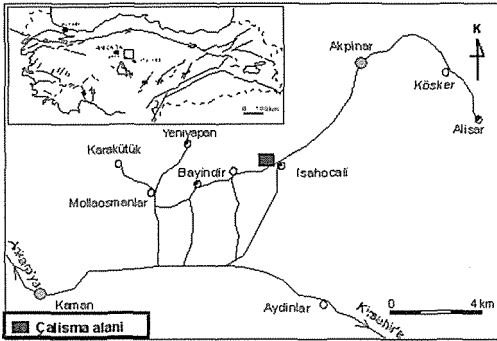
Kaplama veya yer döşemesinde kullanılan levha şeklinde kesilen kayaçların parlatma ve kendisine özel yapı ve dokusuna bağlı olarak geçmişten günümüze dek pek çok alanda kullanılabilirliği artmaktadır. Bu tür kayaçlar, jeolojik olarak mermer tanımına girmese de, mermer olarak adlandırılmaktadır. Bu tür mermerlerin renk, desen, doku ve kesilebilirliğinin yanında blok verimi oldukça önemlidir (Kadıoğlu ve Kadıoğlu 2006a). Günümüzde mermer işletmeciliğindeki ocak ağız ve ayna açılmaları daha çok gözlemsel mineral bileşimi, yapısal konumu ve bazen kısıtlı sondaj çalışmaları ile desteklenerek yapılmaktadır. Ancak çoğu kez bu veriler kayacın gömülü bölümündeki fiziksel davranışı hakkında yeterli veriyi vermediğinden, harcanan emek karşılanamamaktadır.

Bu çalışmada, Kırşehir İshahacı çevresindeki foid siyenit bileşiminde oluşan magmatik kütlelin blok verimi ve içerisindeki süreksizlikleri ortaya koymak için petrografi ve yer radarı yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, GPR ve kayaç petrografisi yöntemlerini kullanarak kırıklar, kalınlık değişimi, mineral kümelenmeleri gibi süreksizlikleri belirlemek ve görüntülemektir. Bu amaçla çalışma alanındaki granitlerin petrografik davranışları (mineralojik ve dokusal özellikler) ve GPR verilerinin işlenerek 2B ve 3B görüntülenmesi ile süreksizlikler değerlendirilmiş ve her iki yöntem bulguları karşılaştırılarak birimin derinlere doğru yapısal konumları sondaj yapılmadan ortaya konulmuştur. Ayrıca çıkarılan bloklar içerisindeki mikro kırıklar belirlenerek mermer işletmeciliğinde işletme öncesi ve işletme sırasında karşılaşılan pek çok sorunun önceden kestirilmesine yardımcı olunmuştur.

2 JEOLJİ VE PETROGRAFI

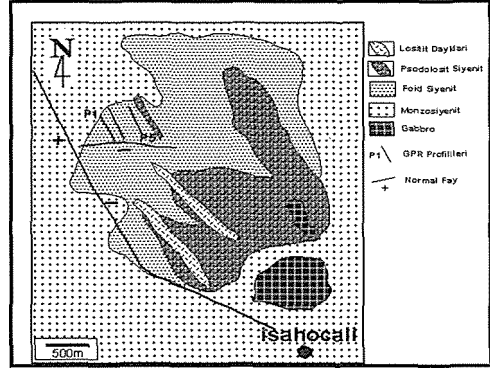
Çalışma sahası Kırşehir ilinin yaklaşık olarak 40km GD yer alan Akpınar ilçesinin İshocacı beldesi çevresinde yer almaktadır (Şek.1). Çalışma alanı Kırşehir metamorfilerine sokulum yapan alkali magmatizmaya bağlı siyenit üst takımının bir bölümünü oluşturmaktadır (Kadıoğlu ve diğ., 2006). Bölge başlıca gabro ve iri kristalin fanaritik dokulu kahvemsı-gri renkli foid siyenit bileşimli ana birimden oluşmaktadır (Şek. 2). Bunlar yer yer KD ana eklem sistemine uygun açık pembemsi ve oldukça ince taneli alkali feldispatça zengin ve mafik minerallerce fakir lösitit daykları tarafından kesilmektedir. Ana birim yer yer porfiro fanaritik dokulu, iri psodosit içeren, mafik minerallerce zengin ve daha çok yağmur damlası görünümündeki psodolösit siyenit daykları tarafından kesilmektedir. Bu birimi de aynı zamanda haritalanamayacak büyüklükte ve oldukça koyu renkli afanitik dokulu fonolit daykları da kesmektedir. Ayrıca, yayılımları ve boyutları az da olsa, mafik ve feslik minerallerin yığışımından oluşan uzun düzgün olmayan çizgisellikler şeklinde şiliren yapıları içermektedir. Şilirenler ana kütlelerin homojenliğini ve rengini belirgin bir şekilde bozmaktadır.



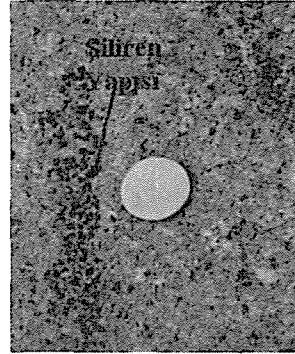
Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.

Ana birimi oluşturan foid siyenitler; mikroskop altında holokristalin tanesal dokulu ve başlıca ortoklaz, nefelin, amfibol minerallerinden oluşmaktadır (Şek. 3). Kankrinit, melanit, piroksen, titanit, apatit ve zirkon tali bileşenler şeklinde yer almaktadır. Kayaç içerisinde yer yer amfibollerin

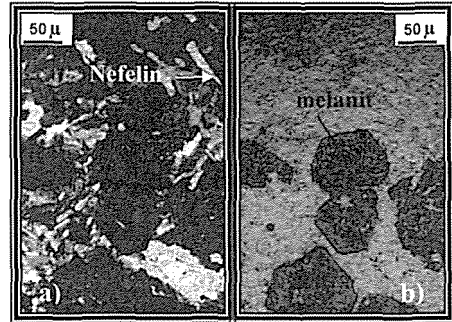
kümelenecek mafik mineral ve nefelinlerin kümelenecek feslik minerallerin segregasyonlarını oluşturdıkları belirlenmiştir (Şek.4). Kayaç göstermiş olduğu dokusal ve mineralojik bileşim özelliklerine göre derinde ve oldukça yavaş bir kristalleşme sürecinde geliştikleri söylenebilmektedir.



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası.



Şekil 3. Foid siyenit el örneği.



Şekil 4. Foid siyenitin mikrofotografı: a) tek nikol ve b) çapraz nikol görünümü.

3 YER RADARI (GPR) UYGULAMASI

3.1 Verilerin Toplanması ve İşlenmesi

Çalışma alanında GPR verilerini toplamak amacıyla öncelikle her profilin başlangıç ve bitiş düzenek sınırları kireç tozu ile sabitlenmiştir. Böylece x- profil yönü, y- profil artırım yönü olmak üzere 44x7 m² lik bir alanda 1m aralıklarla paralel konuşlandırılmış 44 m boyundaki 8 profil üzerinde GPR verileri toplanmıştır. Ölçümler için RAMAC CU II GPR sistemi ve 250 MHz kapalı anten kullanılmıştır. Her bir profilde ölçüm aralıkları 10 cm olarak alındı. Profillerin güzergahları Şekil 2 de verilen jeolojik harita üzerinde gösterilmiştir.

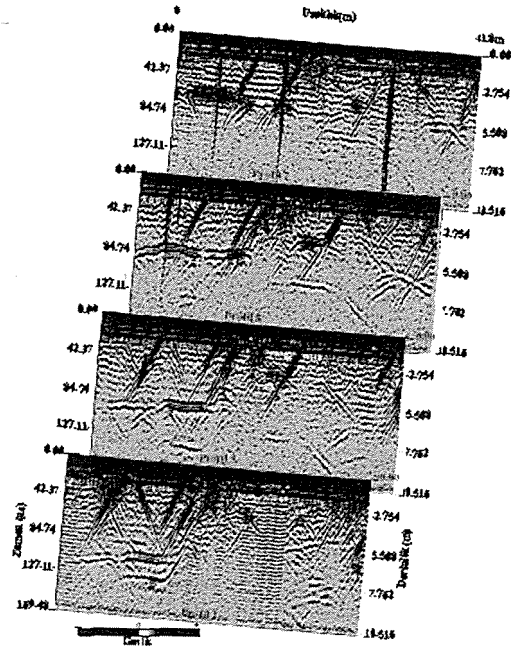
Çalışma alanından çıkarılan bloklardan, mikro kırıkları belirlemek amacıyla, yüzeyi 1.20x1.30m² ve derinliği 1.15m olan bir bloğun yüzeyi 10cm aralıklarla gridlenmiş ve 1.6 GHz kapalı sistem anten kullanılarak 4.4mm ölçüm aralığı ile GPR profil verileri toplama uygulaması ilk bu çalışmada gerçekleştirilmiş ve enine 10 profil, boyuna 12 profil veri toplanmıştır.

Toplanan GPR verileri IDL 5.5 programlama dili ile yazılmış GPHYZ (Daniels, 2002) programı kullanılarak düzenlenip işlenmiştir. Tüm radar verilerine uygulanan başlıca veri-işlem aşamaları sırasıyla aşağıdaki gibidir. Öncelikle profil başlangıç noktalarına göre ters yönde verisi toplanan profil verilerinin yönü düzeltilerek tüm profillerin yönünün aynı olması sağlanmıştır. Tüm profillere çok düşük ve çok yüksek frekanslı gürültüleri atmak için band geçişli süzgeç uygulanmıştır. Zamanla zayıflayan genlik değerlerini artırmak amacıyla lineer genlik kazanç fonksiyonu düzenlenerek süzgeçlenmiş veri üzerinde genlik kazanç işlemi yapılmıştır. Nanosaniye (ns) zaman birimi ile temsil edilen radar kesitlerini (radagramlar) derinlik birimine dönüştürmek için gerekli olan, ortama ait elektromanyetik (EM) dalga hız analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu mermer tabakasının ortalama EM dalga yayılım hızının 0.13 ve 0.135 m/ns arasında değiştiği gözlenmiş ve daha ağırlıklı olan 0.13 m/ns mermerin EM dalga hızı olarak alınmıştır. Bu hız değeri kullanılarak zaman eksenini

derinlik eksenine dönüştürülmüştür. Şekil 5, veri-işlemi tamamlanmış 2B GPR profil kesitleri (radagramlar) sırasıyla 1, 3, 5 ve 7 nolu profilleri göstermektedir. Bu kesitlerin yatay eksenini; profil doğrultusu üzerindeki uzaklık değerlerini, dikey eksenini sol taraf nanosaniye cinsinden kayıt zamanı değerlerini, sağ taraf ise derinlik değerlerini göstermektedir.

3.2 Verilerin İki ve Üç Boyutlu Görüntülenmesiyle Kırıkların ve Mineral Yığılımlarının Belirlenmesi

İki boyutlu (2B) birbirine paralel ve her birinin başlangıcı aynı eksen üzerinde olan profil verileri sıralanarak üç boyutlu (3B) görüntülenebilir (Kadioğlu ve Daniels 2004, Kadioğlu 2005, Aldaş vd. 2006, Kadioğlu ve diğ. 2006a, b, Kadioğlu ve Kadioğlu 2006a, b, c, Koralay vd. 2006). Bu görüntü ancak 3B bloğun dış yüzeylerindeki veriyi net olarak görüntüleyen, içini görüntüleyemeyen, katı blok olarak adlandırılan (kadioğlu ve Kadioğlu 2006a, Kadioğlu vd. 2006a) bir veridir.

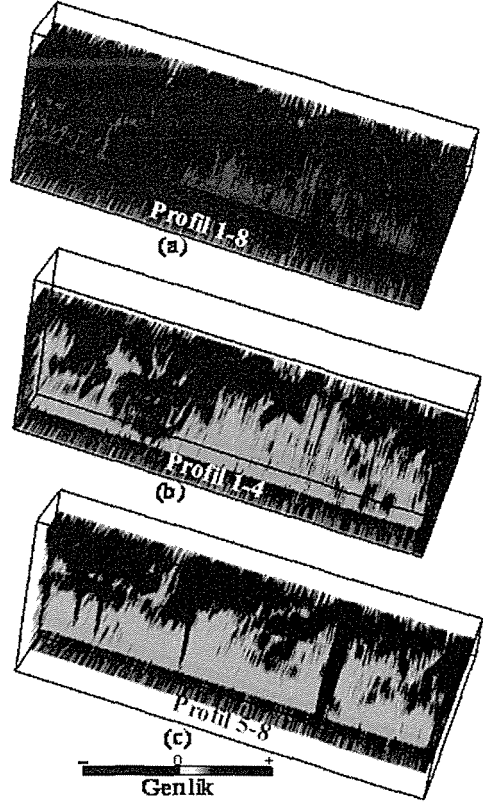


Şekil 5. İşlenmiş 2B GPR profil kesitlerinin (radagramlar) sırasıyla önden arkaya doğru profil 1, 3, 5 ve 7 görüntüleri.

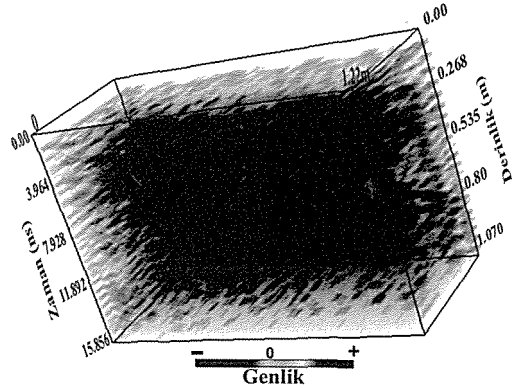
Ancak istenirse profil dilimleri, derinlik ve iz dilimleri ayrı ayrı görüntülenebilir. Bu görüntüleme stiliyle kısıtlı olsa 3B veri değerlendirmesi yapılabilir. Ancak 3B katı blok görüntü içinin tamamen görüntülenmesi; sade bir renk fonksiyonu ve bu renkleri aktif veya pasif hale dönüştüren uygun bir opaklık fonksiyonu işleme dahil edildiğinde mümkün olabilmektedir. Kadioğlu ve Daniels (2002, 2004) tarafından geliştirilen ve birçok uygulamalarda kullanılan (Aldaş vd. 2006, Kadioğlu 2006, Kadioğlu ve Kadioğlu 2006a, Kadioğlu vd., 2006a), saydam 3B blok olarak adlandırılan bu uygulama ile aranan kırık, boşluk, metalik ve/veya metal olmayan nesnelere içeren saydam veri hacim görüntüsü elde edilebilir. Bu görüntüleme tekniği ile herhangi bir tabakanın kalınlık değişiminin, kırıkların, boşlukların, mineral yığılmasının saydam 3B içindeki değişimi incelenebilir. Görüntüyü daha net izlemek için alt bloklara bölerek ayrını elde edilebilir.

Burada, 8 paralel profil 1m aralıklarla sıralandıktan sonra uygun genlik-renk fonksiyonu ve opaklık fonksiyonu oluşturulmuştur. Elde edilen saydam 3B blok görüntünün (Şek. 6a) ayrıntılı olarak blokları ayrıca sunulmuştur (Şek. 6b ve c).

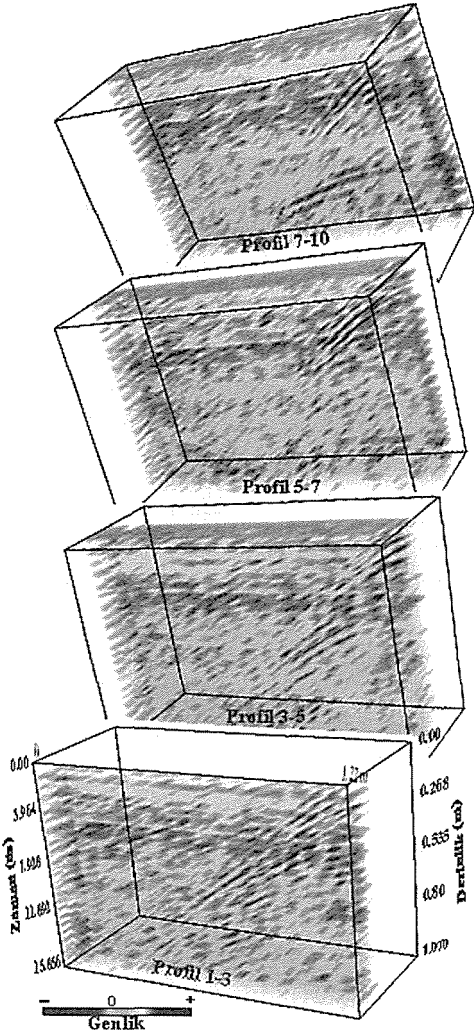
Eni 1.2m, boyu 1.3m ve derinliği 1.15m olan blok üzerinde 1.6GHz ile 10cm aralıklarla 4.4mm ölçüm aralığı ile enine ve boyuna toplanan GPR blok verisinin enine profilleri sıralanmış ve yine veri özelliğine uygun opaklık fonksiyonu düzenlemesi ile 3B görüntülenmiştir (Şek. 7). Yine profil alt bloklarıyla ayrıntılar ortaya konulmuştur (Şek. 8).



Şekil 6. 3B saydam GPR veri bloğu görüntüleri, a) tüm profil kesitlerinin oluşturduğu saydam blok görüntü, b) profil 1, 2, 3 ve 4 nolu kesitleri içeren alt blok görüntü c) profil 5, 6, 7 ve 8 nolu kesitleri içeren alt blok görüntü.



Şekil 7. Blok granite ait 3B saydam GPR veri görüntüsü.



Şekil 8. Şekil 7' de verilen blok görüntüye ait önden arkaya doğru sırasıyla profil 1-3, profil 3-5, profil 5-7 ve profil 7-10 verilerini içeren alt bloklar.

4 VERİLERİN YORUMLANMASI

Şekil 5 ve 6' da verilen 2B ve 3B saydam veri bloğu görüntüleri yorumlandığında en önemli süreksizlerin çalışma bölgesinde jeolojik olarak da belirlenen lösitit dayk yapılarından kaynaklandığı gözlenmektedir. Bu süreksizliklerin yaklaşık birbirine paralel ve eğiminin yüksek olduğu gözlenmektedir. Yansıma yüzeyinin oldukça dik olması, EM

dalgasının saçılma doğrultusunun yüzeydeki profil doğrultusuna göre dik doğrultuya yakın olması nedeniyle derinliğe göre dayklardan gelen saçılma genliklerinin zayıfladığı gözlenmektedir. Bu saçılmaların daykların en üst yüzeyine ait olduğu düşünülmektedir (Şek. 5).

Profil 1' e göre yaklaşık 6m derinlikten, profil 8' e göre derinliği 3m' ye kadar azalan yatay ve yüksek yansıma genlikleri ile kendini gösteren geniş ve yataya yakın, 5m den daha derinlerde genlikleri biraz daha zayıf ve yer yer eğimli süreksizlikler gözlenmiştir. Bu süreksizlikler önce çok az bir eğime sahip, geniş yatay kırıklar ve ince eğimli kırıklar olarak düşünülmüştür. Ancak bu süreksizliklerin daykların kolları arasında parçalı olması ve bu yataya yakın süreksizlik parçalarının uçlarında çok düşük saçılma genliklerinin görülmesi, bu anomaliye bir kıraktan daha çok daha yüksek hızlı başka bir birimin parçalarından oluştuğu kararlaştırılmıştır. Jeoloji ile yapılan karşılaştırmada bu süreksizliklerin jeolojik olarak mafik mineral kümelerinin ve feslik mineral kümelerinin segregasyonlarından meydana geldiği sonucuna varılmıştır.

Kırık yapılarının daha çok yüzeydeki bozunmadan meydana gelen ve derinlikleri yer yer 2-4m' yi bulan ince kırıklar yüzeye yakın saçılma verisi olarak görülmektedir. Ayrıca profil 5 ve profil 7' de görülen yüksek genlikli düşey saçılma verisi, blok çıkarma amaçlı yapay olarak açılan delik şeklindeki boşluklardan kaynaklandığı arazi gözlemlerinden tespit edilmiştir. Tüm bu süreksizliklerin konumları ve devamlılığı Şekil 6' daki saydam blok görüntülerde ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.

Bölgeden alınan blok verinin 3B saydam görüntüleri (Şek. 7 ve 8) yorumlandığında bloğun sağ ön ucundan sağ arka ucuna kadar sabit eğimli kırık yüzeyinden gelen saçılma verisi açıkça gözlenmektedir. Ancak profil 5 ten itibaren bu kırığın derinliği azalmaktadır. Şekil 9' daki profil 7-10 nolu kesitler arasında, 0.9-1.0m derinliklerinde çok az eğimli, profil yönünde 0.55-1.22m uzaklıklar arasında ikinci bir kırık daha gözlenmektedir.

5 SONUÇLAR

Mermer işletmelerinde verimlilik oranı genellikle %30'un üzerine çıkılamamaktadır. Bunun ana nedenlerinden biri de blok çıkartılmadan ocaktaki kırık, çatlak, düzensiz ve istenmeyen yapıların önceden bilinmemesidir. Bu nedenle mermer ocaklarındaki işletmelerde zaman kaybının yanı sıra önemli ölçüde maddi kayıplar da görülmektedir. Bu çalışmanın en önemli özelliği ocak açılmadan veya ocak açıldıktan sonra mermer ocağındaki yüzeyden görünmeyen kırık, boşluk, verimli mermer kalınlığı ve diğer süreksizlikler yer radarı ile 2B ve 3B görüntülenerek belirlenmesidir. Bu sayede mermer ocağının işletmesi sırasında belirlenen süreksizlikler dikkate alındığında blok kesilmeden nasıl bir blok kesileceği önceden görüntüleyerek bilmektir. Yine blok işlenmesi sırasında blok üzerinde yapılan çok yüksek frekanslı radar veri yorumlama sonucunda belirlenen kırık ve çatlaklar dikkate alınarak kesim yönünün ve aralıklarının belirlenmesi bu çalışmanın önemini artırmaktadır. Yer radarı ile belirlenen verimli mermer kalınlığı doğru anlamda rezerv hesaplamasına yardımcı olabilmektedir. Böylece ekonomik anlamda mermer işletme maliyetinin düşürülmesinin yanında verimlilik oranının da %50' nin çok üstüne çıkabileceği aşikardır. Blok verimi, renk, devamlılık ve tekdüze (homojen) mermer işletmesine yön veren faktörleri temsil etmektedir. Renk ve birlikteliğin kayaçların petrografik özellikleri ile ortaya konulması olasıdır. Ancak, jeoloji ve petrografik incelemeler; örtü birimleri ve derinlerdeki görünmeyen süreksizliklerden dolayı yeterli bilgi sunamamaktadır. Bu nedenle sadece jeoloji ve petrografi gözlemlerine dayanarak açılan işletmelerde beklenmeyen olumsuz sonuçlarla karşılaşabilmektedir. Bu çalışmada da jeolojik ve petrografik incelemelerle gözlenmeyen dayk, şiliren ve kırık yapılarının x-y düzlemi ve derinliğe göre konumları yer radarı yöntemi ile başarılı bir şekilde belirlenmiş ve görüntülenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma; Ankara Üniversitesi ve DPT tarafından desteklenen DPT 2003-K-120-190-4-1 ve A.Ü.BAP 2005-07-45-030 nolu projelerin desteği ile yapılmıştır.

KAYNAKLAR

- Aldas, G.U., Kadioglu, S., and Ulugergerli, E.U., 2006. The Usage of Ground Penetrating Radar (GPR) in Designing Blast Pattern. Rock Mechanics and Rock Engineering Vol.39, No. 3, 281-290.
- Bano, M., Marquis, G., Niviere, B., Maurin, J.C., Cushing, M., 2000. Investigating alluvial and tectonic features with ground penetrating radar and analyzing diffractions patterns, Journal of Applied Geophysics, 43, 3-41.
- Daniels, J. J., 2002. Updated 'GPHYZ' IDL 5.5 for GPR interpretation, <http://www.geology.ohio-state.edu/~jeff/>.
- Dannowski, G., Yaramancı, U., 1999. Estimation of water content and porosity using combined radar and geoelectric measurements, European Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 4, 71-85.
- Davis, J.L. and Annan, A.P., 1989. Ground-penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. Geophysical Prospecting, 37, 531-55.
- Grandjean, G. and Gourry, J.C., 1999. GPR data processing for 3D fracture mapping in a marble quarry (Thassos, Greece). Journal of Applied Geophysics, 36, 19-30.
- Grasmueck, M., 1996. 3-D ground penetrating radar applied to fracture imaging in gneiss, Geophysics, Vol. 61, No.4, 1050-1064.
- Grasmueck, M., Weger, R., and Horstmeyer, H., 2005. Full-resolution 3D GPR imaging. Geophysics, Vol. 70, No.1, K12-K19.
- Green, A., Gross, R., Holliger, K., Horstmeyer, H., Baldwin, J., 2003. Results of 3-D georadar surveying and trenching the San Andreas fault near its northern landward limit. Tectonophysics, 368, 7-23.
- Kadioğlu, S. and Daniels, J. J., 2002. A Hybrid 2D/3D Ground Penetrating Radar (GPR) Survey of Brownfield Site Along Lake Street in Chicago, Illinois (USA), International Conference on Earth Sciences and Electronics-2002(ICESE-2002), Vol.2, 255-261.

- Kadioglu, S. and Daniels, J. J. 2004, Integrated 3D visualization of GPR data and EM-61 data, 13th Annual V.M. Goldschmidt Conference Copenhagen, Denmark, June 5-11. Supplement to *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Pergamon, V. 68, N. 11S, p. A468.
- Kadioğlu, S. and Ulugergerli, E.U., 2004. Determination of Cavities Using Ground Penetrating Radar In Dalaman-Akköprü Dam Construction Area, The 16th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey, 7-10 December, MTA Cultural Center-Ankara, Abstract Book, 372-375.
- Kadioğlu, S., 2005. Mühendislik Jeofiziği ve Uygulamaları, Meslek İçi Eğitim ve Belgelendirme Kurs Notları-1., Bölüm 9, Yer Radarı Yöntemi, Yazarlığı sh. 275-309, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, ANKARA.
- Kadioğlu, S., Aldaş, G.U., Karpuz, C., Düzgün, Ş.B., Kadioğlu, Y.K., 2005. Taş Ocağı Seçiminde Mühendislik Disiplininin Önemi: Gölbaşı Andezitlerinde Bir Uygulama, Madencilik, Cilt 44, Sayı 3, Sh. 25-33, ISSN:0024-9416.
- Kadioglu, S., 2006. Yer Radarı Yönteminde Genliklerin İşlenmesi: Uygulamalı Örnekler. 17th Uluslararası jeofizik Kongre ve Sergisi 14-17 Kasım, Ankara-Türkiye, CD.
- Kadioglu, S., and Kadioglu, Y.K., 2006a. Measuring the Thickness and Figuring out the Discontinuities of a Marble Quarry with GPR. 11th International Conference on Ground Penetrating Radar, June 19-22, 2006, Columbus-Ohio, USA.
- Kadioglu, S., and Kadioglu, Y.K., 2006b. Yer Radarı Yöntemi ile Bir Mermer Sahasındaki Kırıkların, Sağlam ve Bozuk Alanların Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fak. Dergisi, Cilt 21, Sayı 1.
- Kadioglu, S., and Kadioglu, Y.K., 2006c. Yer Radarı (GPR) yöntemi ile Bir mermer Ocağındaki kalınlıkları ve Süreksizlikleri Görüntüleme. 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 20-24 Mart 2006, MTA Kültür Sitesi, Ankara.
- Kadioglu, S., Ulugergerli, E.U., and Daniels, J. J., 2006a. 3D visualization to map cavities by GPR method: Dalaman Akkoprü dam reservoir area, Mugla, southwest Turkey. 11th International Conference on Ground Penetrating Radar, June 19-22, 2006, Columbus- Ohio, USA,
- Kadioglu, Y.K., Dilek, Y., Foland, K.A., 2006b. Slab Breakoff and Syncollisional Origin of the Late Cretaceous Magmatism in the Central Anatolian Crystalline Complex, Turkey. Geological Society of America Bulletin 409, 381-415.
- Kadioglu, Y.K., Kadioglu, S., Kibar, M., Bayramin İ., Erpul, G. Koralay, T., Zoroğlu, O., 2006. A new method in determination of soil horizons by Ground Penetrating Radar: Akpınar (Kırşehir) Central Anatolia. 18th International soil meeting (ISM) on "Soil Sustaining Life on Earth, Managing Soil and Technology", May 22-26, Şanlıurfa, TURKEY.
- Koralay, T., Kadioglu, S., and Kadioglu, Y.K., 2006. New approximation in determination of zonation boundaries of ignimbrite by ground penetrating radar: Kayseri, Central Anotalia, Turkey, Environmental Geology, DOI 10.1007/s00254-006-0581-x.
- Orlando, L., 2002. Ground penetrating radar in massive rock: A case history. European J. of Env. and Eng. Geophysics, 7, 265-279.

Patlatmaların Kontrol Edilebilen Parametrelerinin Sismik Sinyaller Üzerine Etkileri

The Effect of Controlled Blast-Parameters on Seismic Signals

G.G.U. Aldaş, B. Ecevitöğlu

Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Ankara

ÖZET Patlatmalardan açığa çıkan sismik sinyallerin doğrusal davranış gösterdiği varsayılır. Bu varsayım, gerek titreşimleri azaltmada kullanılan “gecikme süreleri” nin ayarlanmasında, gerekse de parçalanmayı iyileştirme çalışmalarındaki hesaplamalarda kolaylık sağlar. Bu tip çalışmalarda kullanılan “pilot” patlatma sinyalinin, gerçek bir “grup” patlatma sinyalinin imzasını taşıyabilmesi için kalibre edilmesi gerekir. Bu da, patlatmaların kontrol edilebilen parametrelerinin sismik sinyaller üzerindeki etkilerinin bilinmesi ile yapılabilir.

Bu çalışmada, patlayıcı miktarının, delik derinliğinin, yüzey gecikmelerinin, delik içi gecikmelerinin ve ayna önü patlatmalarının sismik sinyaller üzerindeki etkileri incelenmiştir.

ABSTRACT Blasting induced seismic signals are assumed to behave linearly. This assumption, provides easiness both in adjusting “delay times” to minimize ground vibration and in fragmentation process of blasting. Being the signature of a group blast, signal from pilot blast should be calibrated. This calibration requires a knowledge of the effects of controllable parameters of blasts on seismic signals.

In this study, the effects of explosive amount, depth of the hole, surface and inside-hole delays and bench-blasts on the seismic signals were examined.

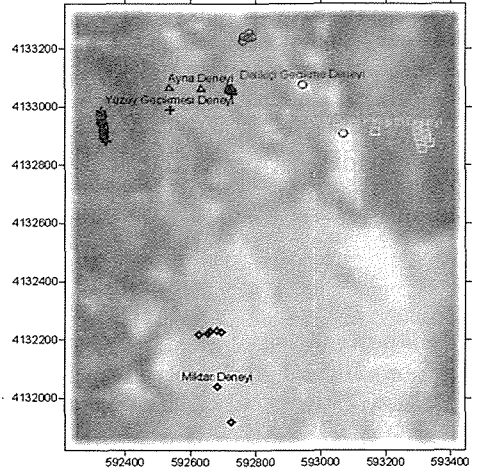
1 GİRİŞ

Kaya kazısı amacıyla yapılan patlatmaların sismik dalga üretme özellikleri, yer parametrelerini belirleme amaçlı yapılan patlatmalarından farklıdır: Maden, taş ocağı, tünel, baraj inşaatı ve alt yapı gibi çalışmalardaki patlatmalar, kayacı parçalamak amaçlı, çoklu nokta kaynak olan patlatmalardır. Patlayıcı tipi, miktarı, ateşleme sistemi ve gecikme elemanlarının seçimi kullanıcıya bağlıdır. Delik derinlikleri sığdır (genelde 30 metreyi geçmez). Düşük frekanslı dalgalar ürer. Bu durum zeminle ve yapıyla olan rezonansı arttırmaktadır. Delik derinliklerinin sığ olması daha çok miktarda yüzey dalgalarının üremesine neden olur. Yüzey dalgaları en tahripkar dalgalardır.

Kaya kazısı amaçlı patlatmaların sismik dalga özelliklerini etkileyen faktörler aşağıda sıralanmıştır (Aldaş vd. 2006):

- Patlayıcı-Kayaç Etkileşimi: Patlama sonucu kayacın parçalanma ve deforme olma özelliğidir. Patlama ile ortaya çıkan enerjinin ne kadarının elastik dalga yayılımında kullanılacağını belirler.
- Patlatmanın yapıldığı kaya biriminin patlama ile ortaya çıkan sismik enerjiyi öteleme özelliği (Örnek: Kömür tabakası içinde yapılan patlatma sonucu oluşan sismik dalgalar kömür tabakası içinde kalarak yönlendirilmiş dalgalar oluştururlar. Bu durum yönlendirilmiş dalgaların çok uzak mesafelere taşınmasına neden olur).

- Patlatma parametreleri:
 - Delik sayısı
 - Deliklerde atılan patlayıcı miktarı ve tipi
 - Deliklerin derinliği
 - Delik tasarımı
 - Gecikme
 - Ayna etkisi
- Atış ile hedef arasındaki uzaklık. Sismik dalgaların soğrulması ve yüzey dalgalarının dispersiyonu katedilen uzaklığa bağlıdır (Ünüçök vd. 2006).
- Jeolojinin etkisi: Katedilen jeolojik birimlerin elastik özellikleri (hız, yoğunluk, soğurganlık vb) ve jeolojik yapı (temel kaya derinliği, ortamın fay durumu, tabakanma sistemi, tektonizma vb).
- Hedefin jeolojik özellikleri: Kayaçların fiziksel özellikleri ve yeraltı yapısının durumu.



Şekil 1. Yatağan TKİ-Eskihisar kömür sahasında, 2005 ve 2006 yazlarında yapılmış olan patlatma deneylerini gösterir harita.

Bu çalışmada, patlatmanın kontrol edilebilir parametrelerinin sismik sinyaller üzerindeki etkileri incelenmiştir. Titreşim kontrolü ve optimal parçalanma işlemleri için gereken en uygun “gecikme süreleri” nin belirlenmesi çalışmalarında kullanılan ve grup patlatmayı temsil eden pilot patlatma sinyallerinin kalibre edilmesi, ancak bu etkilerin bilinmesi ile olur.

2 PATLATMA DENEYLERİ

Kaya kazısı amaçlı yapılan patlatmaların kontrol edilebilir parametreleri arasında, patlayıcı miktarı, delik derinliği, yüzey ve delik içi gecikmeleri yer almaktadır. Bu parametrelerin ve ayna önü patlatmaların sismik sinyaller üzerindeki etkilerini incelemek amaçlı bir dizi deney yapılmıştır. Deneyler Türkiye Kömür İşletmesi GELİ’ne bağlı Eskihisar kömür ocağında gerçekleştirilmiştir. Şekil 1, patlatma deneylerinin yapıldığı bölgenin koordinatlarını göstermektedir.

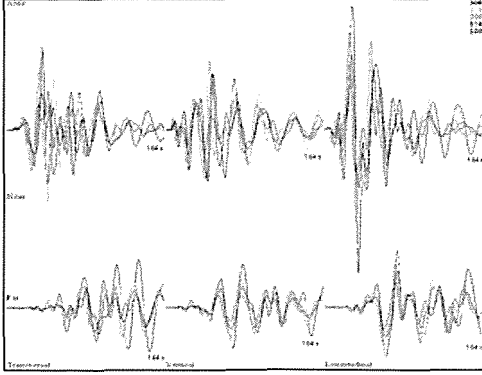
2.1 Patlayıcı Miktarının Etkisi

Deneyin yapıldığı yer Şekil 1’de gösterilen “Miktar Deneyi” sahasıdır. Yakın (Near) ve Uzak (Far) istasyonlar, patlatma grubuna sırasıyla 200 m ve 400 m uzaklıktadırlar. 12 m derinlikli delikler içine, 1 kg yemleme dinamiti ve sırasıyla 100 kg, 150 kg, 200 kg, 250 kg ve 300 kg ANFO yerleştirilmiştir. Her delik ayrı ayrı patlatılmış, sismik sinyaller 3-bileşende (Transversal-Enine, Vertical-Düşey, Longitudinal-Boyuna) kaydedilmiştir.

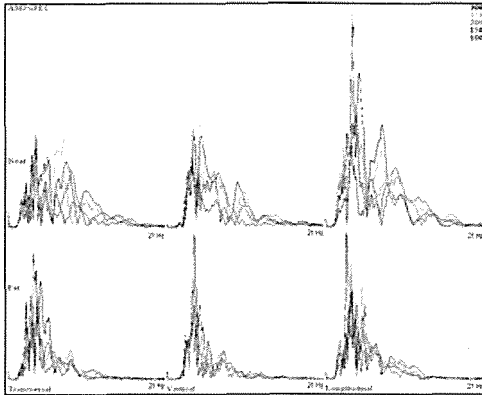
Beklenildiği gibi, patlayıcı miktarı arttıkça sinyal genlikleri de artmaktadır. Zaman (Şek.2) ve frekans (Şek.3) ortamlarında bu durum açık bir şekilde görülmektedir. Oransal olarak incelendiğinde, büyük miktarlarda yapılan patlatmalarda ortaya çıkan düşük frekanslı titreşimlere ait genlikler, aynı patlatmaya ait yüksek frekanslı titreşim genliklerinden birkaç kez daha büyük olduğu görülür (Şek.3). Bu durum titreşim sürelerinin uzamasına ve düşük frekanslı, büyük genlikli sismik dalgaların daha uzak mesafelere ulaşabilmesine neden olmaktadır.

Yüksek frekanslı titreşimler, yer tarafından daha çabuk soğruldukları için, kısa mesafelerde genliklerini hızla yitirirler (Şek.

3, alt). Yüzeysel dalgaların tipik özelliği olan dispersiyon (sismik hızın frekans bağımlı olması), dalga biçiminin, katedilen mesafeyle, hızla değişmesine neden olur (Şek. 2, üst ve alt). Şekillerde AMP:Genlik, AMPSPEC: Genlik spektrumudur. Near: Yakın istasyon, Far: Uzak istasyon sismik kayıdır.



Şekil 2. Patlayıcı miktarının etkisi. 300 kg (koyu-mavi), 250 kg (açık-mavi), 200 kg (yeşil), 150 kg (kırmızı) ve 100 kg (pembe) ANFO patlatmalarına ait sismik kayıtlar.



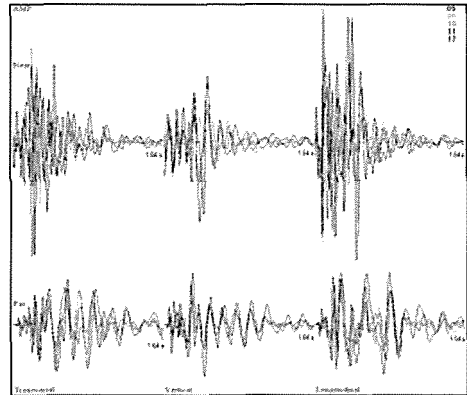
Şekil 3. Patlayıcı miktarının etkisi. Şekil 2'de görülen sismik kayıtlara ait genlik spektrumları.

2.2 Delik Derinliğinin Etkisi

Deneyin yapıldığı yer Şekil 1'de açık-mavi renkle gösterilen "Derinlik ve Karışım Deneyi" sahasıdır. Yakın (Near) ve Uzak (Far) istasyonlar, patlatma grubuna sırasıyla

100 m ve 200 m uzaklıktadırlar. Sırasıyla 8 m, 9 m, 10 m, 11 m ve 12 m derinlikli deliklere, 1 kg yemleme dinamiti ve 100 kg ANFO yerleştirilmiştir. Her delik ayrı ayrı patlatılmış, sismik sinyaller 3-bileşende (Transversal-Enine, Vertical-Düşey, Longitudinal-Boyuna) kaydedilmiştir.

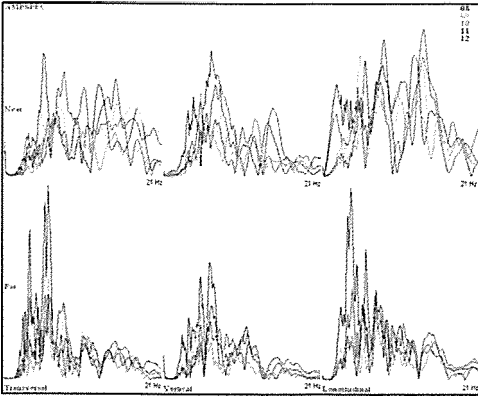
Şekil 4 ve 5 incelendiğinde, sığ delik derinliğinde yapılan patlamaların, daha düşük frekanslı ve daha büyük genlikli yüzeysel dalgaları ürettiği görülmektedir. Bu tür dalgalar çok daha uzak mesafelere ulaşabilmekte, yarattıkları titreşimlerin süreleri çok daha uzun olmaktadır. Düşük frekanslı bu titreşimlere ait dalga boyları uzun olduğu için gerek zemini, gerekse de yapıları çok daha kolay rezonansa getirebilmekte ve daha çok hasara neden olmaktadır.



Şekil 4. Delik derinliğinin etkisi. 8 m (koyu-mavi), 9 m (açık-mavi), 10 m (yeşil), 11 m (kırmızı) ve 12 m (pembe) derinliklerdeki patlatmalara ait sismik kayıtlar.

2.3 Yüzeysel Gecikmelerinin Etkisi

Deneyin yapıldığı yer Şekil 1'de kırmızı renkle gösterilen "Yüzeysel Gecikmesi Deneyi" sahasıdır. Yakın (Near) ve Uzak (Far) istasyonlar, patlatma grubuna sırasıyla 250 m ve 500 m uzaklıktadırlar. Sismik sinyaller 3-bileşende (Transversal-Enine, Vertical-Düşey, Longitudinal-Boyuna) kaydedilmiştir.



Şekil 5. Delik derinliğinin etkisi. Şekil 4'de görülen sismik kayıtlara ait genlik spektrumları.

Deneyin amacı, komşu deliklerdeki gecikmeli patlatmaların birbirleri üzerinde olan etkilerinin incelenmesidir. Aşağıdaki Şekil 6'da birbirlerine komşu olan delik çiftleri görülmektedir. Deliklerden biri 0 ms zamanında patlatılırken, ikincisi 0 ms, 25 ms, 50 ms, 75 ms, 100 ms, 125 ms, 150 ms, 175 ms, 200 ms, 225 ms ve 250 ms gecikmeli patlatılmıştır. Delik derinlikleri 7 m, delik çiftleri arası 3 m, delik grupları arası 6 m'dir. Deliklerde 1 kg yemleme dinamiti ve 75 kg ANFO patlatılmıştır.



$$t_0=0 \text{ ms} \quad t_1=2 \text{ ms} \quad t_2=7 \text{ ms} \quad t_3=10 \text{ ms} \quad t_4=12 \text{ ms}$$

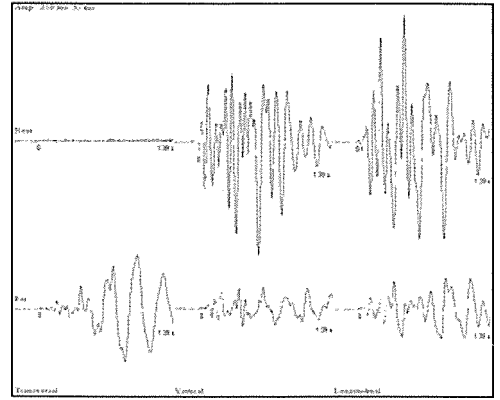
$$t_5=15 \text{ ms} \quad t_6=17 \text{ ms} \quad t_7=20 \text{ ms} \quad t_8=22 \text{ ms} \quad t_9=25 \text{ ms}$$

Şekil 6. Yüzey gecikmesi deney düzeneği.

Bu deneyde doğanın ne kadar doğrusal (linear), ne kadar doğrusal-olmayan (non-linear) bir şekilde davrandığı araştırılmıştır. Doğrusal davranan sistemlerde (linear-systems), bir bileşke (resultant) olay, bu olayı doğuran bileşen (component) olayların her biri bireysel davrandıkları zaman ortaya çıkan toplam olaya eşdeğerdir. Bu olgu üst-üste binme (superposition) prensibi olarak da bilinir (Oppenheim 1975).

Şekil 7'de kırmızı renkle gösterilen modellemeyle elde edilmiş genlik spektrumu

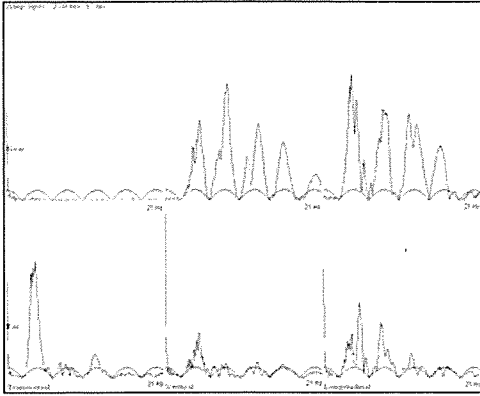
eğrisi, doğrusal davranan bir sistemin spektral tepkimesi olan siyah renkli periyodik eğriyle aynı noktalarda frekans eksenine yaklaşmaktadır. Halbuki gerçekleşen sismik kayda ait açık-mavi renkli genlik spektrumu eğrisi (Şek.8), doğrusal olmayan sistemler gibi davranmaktadır. Delik çiftleri arasındaki mesafenin kısa olması (3 m), gecikmeli ikinci patlamanın akibetinin, birinci patlamaya bağlı olmasına neden olmaktadır. İlk patlamayla ortam parçalanır, veya parçalanmaya devam ederken, orijinal özelliklerini yitirmeye başlar. Bu durum, ikinci patlama için, ortam şartlarını tamamen değişmesi anlamına gelmektedir. Buna rağmen, kırmızı ve açık-mavi renklerdeki genlik eğrileri, erken zamanlarda uyum göstermektedirler (Şek. 7).



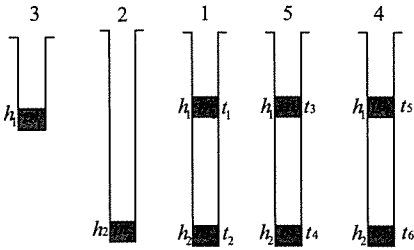
Şekil 7. Yüzey gecikmelerinin etkisi. 250 ms geciktirme elemanı kullanıldığında modellenen (kırmızı) ve gerçekleşen (açık-mavi) sismik kayıtlar.

2.4 Delik İçi Gecikmelerinin Etkisi

Deneyin yapıldığı yer Şekil 1'de pembe renkle gösterilen "Delikiçi Gecikme Deneyi" sahasıdır. Yakın (Near) ve Uzak (Far) istasyonlar, patlatma grubuna sırasıyla 215 m ve 430 m uzaklıktadırlar. Şekil 9'da görülen her delik ayrı ayrı patlatılmış, sismik sinyaller 3-bileşende (Transversal-Enine, Vertical-Düşey, Longitudinal-Boyuna) kaydedilmiştir. Delikler üzerindeki numaralar, patlama sıralarını göstermektedir.



Şekil 8. Yüzey gecikmelerinin etkisi. Şekil 7'de görülen sismik kayıtlara ait genlik spektrumları.



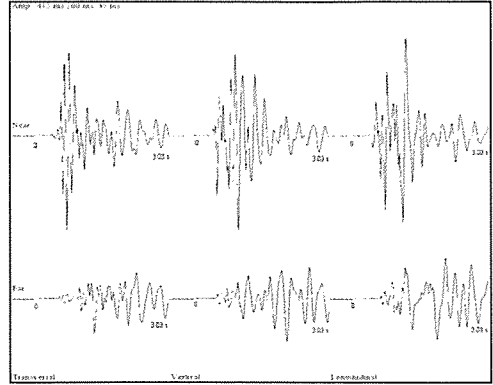
Şekil 9. Delik içi gecikme deney düzeneği

$m_1=m_2=100\text{kg}$ Anfo + 1kg Yemleme
 $h_1=7\text{m}$ $h_2=14\text{m}$
 $t_1=t_2=0\text{ ms}$ $t_3=450\text{ms}$
 $t_4=500\text{ms}$ $t_5=475\text{ms}$ $t_6=500\text{ms}$ 'dir.

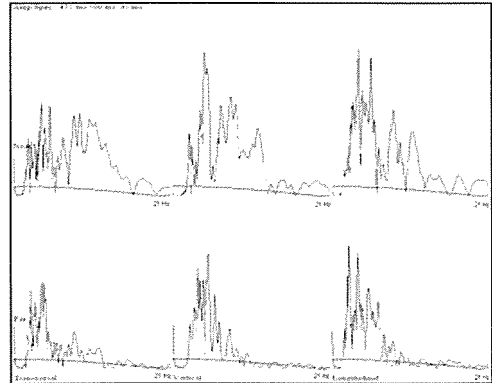
Şekil 10 ve Şekil 11'de, 475 ve 500 ms'lik geciktirme elemanlarının kullanıldığı delikiçi patlatmaya (4. delik) ait sonuçlar görülmektedir. 3. ve 2. patlatmalardan elde edilen sismik sinyallerden yararlanılarak, doğrusal sistemler esasına göre modellenmiş sismik sinyal (kırmızı), gerçekleşen sismik sinyalden (açık-mavi) daha büyük genliklere sahiptir. Önce gerçekleşen 450 ms gecikmeli patlatmanın, daha sonra gerçekleşen 500 ms gecikmeli patlatmanın kaderini nasıl etkilediği açıktır.

500 - 475 = 25 ms'lik bir gecikmeye karşılık gelen ve doğrusal davranan bir sistemin spektral tepkimesini ifade eden siyah renkli periyodik eğrinin (Şek. 11),

pencere dışında kalan yüksek frekanslarda eksene yaklaşması nedeniyle, gerçekleşen sismik sinyal üzerinde (açık-mavi) herhangi bir girişim etkisi yoktur.



Şekil 10. Delikiçi gecikmelerin etkisi. 475 ve 500 ms geciktirme elemanları kullanıldığında modellenen (kırmızı) ve gerçekleşen (açık-mavi) sismik kayıtlar.



Şekil 11. Delikiçi gecikmelerin etkisi. Şekil 10'da görülen sismik kayıtlara ait genlik spektrumları.

Bununla beraber delik içi patlatmaların, düşük frekans bileşenlerini güçlendirici bir etki yarattığı (integral etkisi) söylenebilir (Şek. 11).

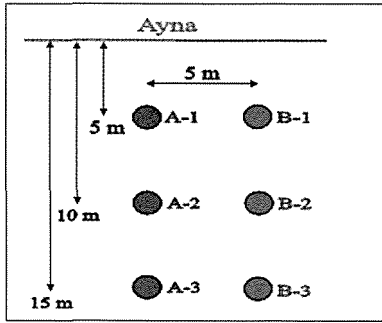
25 ms boyutundaki küçük gecikmeler, yıkıcı dalga girişimi anlamında titreşimleri minimize etmezler. Ancak, ortamın sismik dalga üreten ve ileten sağlam yapısı, 25 ms gibi küçük gecikmeli patlatmalar yardımıyla

bozulursa, takip eden patlatmaların yarattığı titreşimlerin etkisi azalmaktadır.

2.5 Ayna Önü Patlatmalarının Etkisi

Deneyin yapıldığı yer Şekil 1’de mor renkle gösterilen “Ayna Deneyi” sahasıdır. Yakın (Near) ve Uzak (Far) istasyonlar, patlatma grubuna sırasıyla 100 m ve 200 m uzaklıktadırlar. Sismik sinyaller 3-bileşende (Transversal-Enine, Vertical-Düşey, Longitudinal-Boyuna) kaydedilmiştir.

Şekil 12’de görüldüğü gibi, ayna düzlemine dik, araları 5 metre uzaklıklı iki eksen boyunca, aynadan 5 m, 10 m ve 15 m uzaklıklarda, üçerli iki sıra halinde, 6 m derinlikli, toplam 6 delik açılmış, içlerine 25 kg ANFO + 1 kg yemleme dinamiti yerleştirilmiştir.

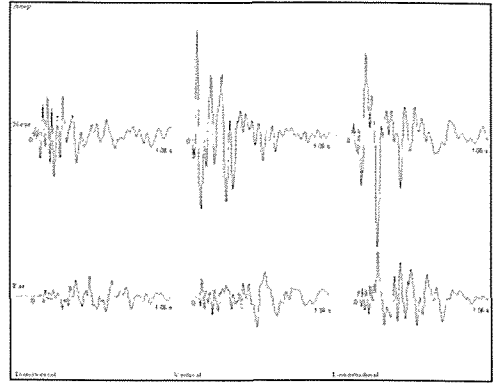


Şekil 12. Ayna önü patlatma deney düzeni

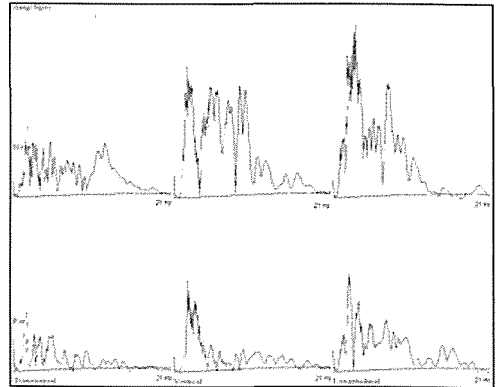
Birinci sıradaki A-1, A-2 ve A-3 delikleri tek tek patlatılmış, elde edilen sismik kayıtlardan, doğrusal davranan sistemler esasına göre, bir sismik sinyal modellenmiştir (Şek. 13 ve 14, kırmızı). İkinci sıradaki B-1, B-2 ve B-3 delikleri birlikte patlatılarak, gerçekleşen sismik kayıt elde edilmiştir (Şek. 13 ve 14, açık-mavi). Delikiçi gecikme deneyi’nden elde edilen sonuçlarla uyum içinde, modelleme ile elde edilen sismik sinyalin titreşim veya spektral genlikleri (Şek. 13 ve 14, kırmızı), gerçekleşen sismik sinyalden (Şek. 13 ve 14, açık-mavi) daha büyüktür. Bunun başlıca nedenleri, ilk patlamayı takiben ortamın, sismik dalgaları uzağa taşıyan elastik özelliklerini yitirmiş olması; açılmaya başlayan yarık, çatlak ve göçüklerden kaçan

patlama kökenli gazların patlama gücünü azaltmasıdır.

Patlatma deliklerinin aynaya olan uzaklıklarının yarattığı uzaklık-bağımlı zaman gecikmeleri küçük olduğundan, bunlara karşılık gelen ve doğrusal davranan bir sistemin spektral tepkimesini ifade eden siyah renkli periyodik eğrinin (Şek. 14), pencere dışında kalan yüksek frekanslarda eksene yaklaşması nedeniyle, gerçekleşen sismik sinyal üzerinde (açık-mavi) herhangi bir girişim etkisi yoktur. Bununla beraber aynanın, yüksek frekans bileşenlerini güçlendirici bir etki yarattığı (türev etkisi) söylenebilir (Şek. 14).



Şekil 13. Ayna önü patlatmalarının etkisi. Tek tek patlatmalarla modellenen (kırmızı) ve grup patlatmayla gerçekleşen (açık-mavi) sismik kayıtlar.



Şekil 14. Ayna önü patlatmalarının etkisi. Şekil 13’de görülen sismik kayıtlara ait genlik spektrumları.

SONUÇLAR

Patlatmaların kontrol edilebilen parametreleri üzerinde yapılan değişikliklerin, sismik dalga biçimleri üzerinde yarattığı etkilerin incelenmesi ile aşağıdaki sonuçlara varılabilmektedir:

- i. Patlayıcı miktarının sismik dalga genlikleri üzerinde doğrusal bir etkisi olduğu açıktır. Miktar arttıkça ortaya çıkan düşük frekanslı dalgalar, titreşim sürelerinin uzamasına neden olur ve bu büyük genlikli dalgalar çok uzaklara taşınabilir.
- ii. Sığ delik derinliğinde yapılan patlamalar, daha düşük frekanslı ve daha büyük genlikli yüzey dalgaları üretmektedir ki bu dalgalar çok daha uzak mesafelere ulaşabilmekte, yarattıkları titreşimlerin süreleri çok daha uzun olmaktadır. Düşük frekanslı bu titreşimlere ait dalga boyları uzun olduğu için gerek zemini, gerekse de yapıları çok daha kolay rezonansa getirebilmekte ve daha çok hasara neden olmaktadır.
- iii. Yüzey gecikmesi verilerek yapılan patlatmalarda, delik çiftleri arasındaki mesafenin kısa olması (3 m gibi), gecikmeli ikinci patlamanın akibetinin, birinci patlamaya bağlı olmasına neden olmaktadır. İlk patlamayla ortam parçalanır, veya parçalanmaya devam ederken, orijinal özelliklerini yitirmeye başlar. Bu durum, ikinci patlama için, ortam şartlarını tamamen değişmesi anlamına gelmektedir.
- iv. Patlatmalarda, 25-50 ms gibi küçük gecikme elemanlarının kullanılması (delik içi gecikmeleri örneğindeki gibi), sismik dalgaların yıkıcı girişimlerini sağlayamadığı gibi, sismik sinyal üzerinde tümlleme (integral) etkisi yaratılmasına neden olur. Bu durum büyük genlikli, uzun dalga boylu yüzey dalgalarının güçlenmesi anlamına gelir. Uzak mesafelere ulaşabilen bu tür dalgalar, gerek zemini, gerekse yapıları kolayca rezonansa getirerek hasar miktarını arttırmaları. 25-50 ms gibi küçük gecikme elemanları kullanmanın tek faydası, ortamın sismik dalga üreten

ve ileten sağlam yapısını bozarak ortamı plastik hale getirmek, böylece takip eden patlatmaların titreşim etkilerini azaltmaktır. Öte yandan, açılmaya başlayan yarıklar, çatlak ve göçüklerden kaçan patlama kökenli gazlar da, patlama gücünü azaltırlar.

- v. Yüzey gecikmeleri deneyi, delik içi gecikmeleri deneyi ve ayna önü patlatmaları deneyi, patlatmaların doğrusal olmayan davranışları hakkında ilk bilgileri vermektedir. Doğrusal olmayan davranışların ayrıntılı incelenmesi başka bir çalışma konusu olup, araştırma grubumuz tarafından halen sürdürülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aldas G.G.U., Ecevitöglü B., Can A., Ünüçok B., Sağol Ö., 2006. *TKİ GELİ Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Azaltılması-Final raporu*.
- Ünüçok B., Can A., Aldas G.G.U., Ecevitöglü B., 2006. Yüzey dalgalarının absortif ve dispersif özellikleri, 17. Uluslararası Jeofizik Kongresi Genişletilmiş Özetler Kitabı.
- Oppenheim A.V., Schafer R.W., Digital Signal Processing, 1975, Book, Prentice Hall, pp.585.

İş Güvenliği ve Çevre
Safety and Environment

Doğu Karadeniz Bölgesinde Terkedilmiş Maden Galerileri: Riskler, Kazalar, Önlemler ve Kurtarma Çalışmaları

Abandoned Mine Entries in Eastern Black Sea Region: Risks, Accidents, Safety and Rescue

A.O. Yılmaz, İ. Alp, K.Aydiner
KTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

M. Vıçıl
KTÜ Leoloji Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET Doğu Karadeniz Bölgesi'nde madencilik faaliyetleri çok eski çağlara kadar uzanmaktadır. Bölgenin birçok yerinde izabesi yapılmış maden atıklarına rastlanılmaktadır. Bölgenin metal madenciliği açısından zengin olması nedeniyle atıkların büyük bir çoğunluğu metal madenciliğine aittir. Halen çeşitli yerlerde söz konusu maden galerileri mevcut olup, birçoğu eski çağlara ait olmakla birlikte yakın zamana ait arama-işletme amaçlı kullanılan galeriler de bulunmaktadır. Terk edilme esnasında genellikle galerilerde gerekli güvenlik tedbirleri alınmamakta, bu durum zaman zaman yaralanmalara hatta can kayıplarına neden olmaktadır. Bu bildiride veri toplayan bir üniversite öğrencisinin hayatına mal olan bir olayın etrafında, eski maden galerilerinde iş güvenliği açısından saklı riskler incelenmekte, değişik amaçlarla (inceleme, numune alma, kurtarma vb.) bu galerilere girecek değişik meslek grubundaki kişilerin alması gereken önlemler belirli bir çerçevede incelenmektedir.

ABSTRACT Mining activities date back to ancient ages in Eastern Black Sea Region. Mine wastes after smelting can be encountered in many parts of the region. The region has quite a high number of metallic ore reserves and therefore, the majority of these wastes come from metal mining. In addition to the old entries found at the region, there are new entries constructed for exploration/production purposes. After closure of mines or terminating exploration work, these entries are not left taking necessary safety measures and this may cause serious injuries and even deaths. Based on an event causing a death of a university student, this paper investigates the risks found in the abandoned mine entries and discusses the measures to take when entering to these entries for different purposes (investigation, sampling, rescuing etc.).

1 GİRİŞ

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde oldukça fazla sayıda terkedilmiş maden işletmesi bulunmaktadır. Bu işletmelerin tarihi MÖ 2000 yılına kadar uzanmaktadır. İşletilen madenlerin hemen hepsini metalik madenler oluşturmaktadır (Pb, Zn, Cu). Bu madenlerin yakınında bulunan cürüflardan, üretilen cevherlerin maden ocağının yakınında izabesinin yapıldığı anlaşılmaktadır. Çizelge 1'de bölgede yer alan, terkedilmiş maden

işletmelerine ilişkin bilgiler verilmektedir. Yapılacak detaylı bir araştırma ile daha çok sayıda eski maden galerilerinin ortaya çıkarılması mümkündür. Eski maden işletmelerden günümüze kadar ulaşmış galeri girişi, tahkimat parçaları ve izabe tesisi kalıntılarına ait örnekler Şekil 1-8'de görülmektedir. Özellikle eski galeriler, çeşitli amaçlar doğrultusunda çalışma yapmak için buralara girecek kişiler için emniyet açısından birçok risk barındırmaktadır.

Çzelge 1. Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunan eski işletmeler (Güner, 2000; Oelsner, 1935).

Adı	Açıklama
Bayburt-Helva maden sahası	Rum Pontus-Osmanlı Dönemi işletilmiştir. Sahada eski galeriler, pasa ve cüruf bulunmaktadır
Giresun-Şebinkarahisar-Şaplıca	İlk kez Cenevizler, Venedikler, Osmanlı döneminde işletilmiştir. Sahada kalıntılarının varlığı, eski yıllarda işletildiğini göstermektedir. Cevher sahasında eski işletmelere ait galeri ve yarmalar izlenmektedir
Artvin-Murgul-Damar Sahası	M.Ö. 2000 yıllarında işletilmiştir. Bizans ve Cenevizler zamanında galerilerde işletme devam etmiştir. 1967 yılında eski devirlere ait bir galerinin içinde tahtadan oyularak yapılmış bir madenci küreği bulunmuş, bu materyalin C-14 yöntemiyle yapılan yaş tayininde M.Ö. 1500 zamanına ait olduğu bulunmuştur.
Artvin-Kuvarshan (Bakırköy) Sahası	Bizans, Osmanlı döneminde işletilmiştir. Hidrotermal volkanik tortul tipte masif cevher yatağıdır. Sahada eski işletmelere ait yıkıntılar ve baca bulunmaktadır.
Giresun-Tirebolu Köprübaşı sahası	Rum Pontus ve Osmanlı Döneminde işletilmiştir. Köprübaşı maden çevresinde mevcut eski galeri, kuyu ağızları, pasa ve cüruf yığınları bulunmaktadır.
Giresun-Çanakçı-Akköy Sahası	Rum Pontus ve Osmanlı döneminde işletilmiştir. Sahada eski galeri ve yaygın pasa-cüruf yığınları bulunmaktadır.
Giresun-Akköy (Baltama) Sahası	Akköy yöresinde rastlanan eski galerilerin çok eski çağlara değil Cumhuriyet döneminde yapılan işletmelere ait olduğu düşünülmektedir.
Giresun-Tirebolu-İsrail Maden	Rumların yaşadığı bu bölgede madeni İngilizlerin işlettiği söylenmektedir. Sahada çok eskiden işletilmiş çökmüş 6 adet galeri ve yaygın cüruf yığınları bulunmaktadır.
Giresun-Tirebolu-Harkköy Sahası	İlk kez Rum Pontus zamanında işletildiği düşünülmektedir. Harkköy madeninin çok eski devirlerden beri işletme yapıldığını gösteren galeriler ve cürufur mevcuttur
Giresun-Bulancak-Tekmezar Sahası	İlk kez Rum Pontus ve Osmanlı zamanında işletilmiştir. Sahada birçok eski galeri ve yaygın cüruf yığınlarının vardır. Eski bir galeri içinde bir adet cevher taşıma teknesinin bulunduğu ifade edilmektedir. Teknenin yaşı 10-11. yüzyıl olarak belirlenmiştir.
Şebinkarahisar-Asarcık sahası	Cenevizler, Venedikler ve Osmanlılar zamanında işletilmiştir. Eski galeri mevcudiyeti madenin eski yıllarda işletildiğini göstermektedir.
Giresun-Espiye-Çınaklı sahası	Persler (İranlılar) zamanında işletilmiş. Kapalı galeri içinden yoğun yağmurlarda çıkan ahşap malzemenin C-14 yöntemiyle yapılan yaş tayininde, yaşı MÖ 600 bulunmuştur.
Giresun-Espiye-Lahanos Sahası	Rum Pontus, Osmanlı döneminde çalışmıştır. İncelemelerde 50000 ton bakır cürufu bulunmuştur. Bazı araştırmacılara göre MÖ 2000 yıllarından beri bölgede madencilik yapıldığı tahmin edilmektedir.
Giresun-Espiye-Kızılköy sahası	Rum Pontus, Osmanlı döneminde işletilmiştir. Kızılköy madeninde eski işletmelere ait yaygın cüruf yığını vardır.
Giresun-Espiye-Ağalık Sahası	Cenevizliler, Rum Pontus döneminde çalıştırılmıştır. Sahada eski galeriler ve yaygın pasa cüruf yığınları bulunmaktadır.
Giresun-Espiye-Killik Sahası	11-13. Yüzyılda Cenevizliler, Pontus Rumlar işletmiştir. Sahada eski galeri ve yaygın pasa-cüruf yığınları bulunmaktadır.
Giresun-Espiye-Karılar Sahası	İlk Kez Cenevizliler ve Rum Pontuslar zamanında (11-13. YY) işletilen bu madenlerde kadın işçilerin çalıştığı söylenmektedir. Bu nedenle Karılar Madeni olarak bilinmektedir.
Giresun-Espiye-Karaerik Sahası	Cenevizliler, Rum Pontus dönemi. Sahada eski işletme artıkları galeri ve yoğun cüruf yığınları mevcuttur. Buradaki cüruf yığınlarının yaklaşık 400 000 ton kadardır.
Gümüşhane Kromni sahası	Pontus Rum ve Osmanlı döneminde işletilmiştir. Eski galerilerin mevcudiyeti bu madenin eski yıllarda işletildiğini göstermektedir.
Gümüşhane-Torul Karadağ Sahası	M.Ö. 2000 yılları. Sahada eski galeri ve yaygın cüruf yığınları bulunmaktadır.
Eski Gümüşhane-Kırkpavli Sahası	Pontus Rum ve Osmanlı dönemi. Sahada eski yıllara ait galeri, yarma, pasa ve cürufur bulunmaktadır
Eski Gümüşhane Hazine Mağara	Pontus Rum ve Osmanlı dönemi. Sahada eski yıllara ait galeri, yarma, pasa ve cürufur bulunmaktadır
Trabzon-Şalpa-zarı-Ken Sahası	Pontus Rum ve Osmanlı dönemi. Eskiden kalma galeri, kuyu ve pasa-cüruf yığınları bulunmaktadır.
Trabzon-Tonyafol Sahası	Pontus Rum ve Osmanlı dönemi. Eski yıllardan kalma galeri, kuyu ve pasa-cüruf yığınlarının bulunmaktadır.

2 TERKEDİLMİŞ GALERİLERDE MEVCUT TEHLİKELER

Bölgede mevcut terk edilmiş maden galerilerinde karşılaşılabilecek başlıca tehlikeler şu şekilde sıralanabilir;

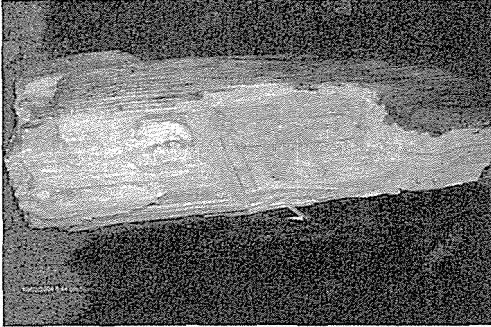
- i) tavan, duvar duraylılığının bozulması,
- ii) kirlenmiş hava,
- iii) yanıcı ve patlayıcı gaz birikimi,
- iv) su birikintisi ve bataklık oluşumu

Tavan/duvar duraylılığının bozulması sonucu oluşabilecek tehlikeler kavlak düşmesi, blok düşmesi ya da tavan/duvar göçmesi gibi deformasyonlardır. Bu tür tehlikeler açıklık civarındaki yük dağılımının bozulmasına bağlı olarak deformasyon oluşturabilecek yüklemeler sonucu gelişir. Özellikle ahşap tahkimat uygulanan yerlerde sıcaklık ve nem etkisinde mikroorganizmalar ile tahkimat üniteleri kolaylıkla deforme olur. Terkedilmiş maden galerilerinde uzun yıllar beklemeden dolayı tahkimat sistemleri büyük ölçüde çürüyerek taşıyıcılık özelliklerini yitirmiş ve galeriler içinde yer yer göçükler meydana gelmiştir. Her an yeni göçüklerin oluşması beklenerek tedbir alınması gerekmektedir. Diğer yandan tavan ve duvarlardan galeriye sızan sular, çevre kayacın dayanımını azaltarak göçük oluşumunu hızlandırmada etkili olmaktadır.

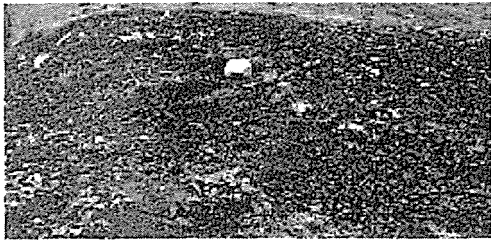
Eski dönemlerde terk edilmiş maden galerileri genelde sığ derinliklerdedir. Duvarlardan galeriye gelen sular galeri tabanında ve eğimi düşük kısımlarda birikintiler oluşturmaktadır. Bu tür su birikintileri derinlikleri tahmin edilemediği için tehlike oluşturmaktadır. Maden kazısı yapılmış çukurların yumuşak malzemeler tarafından doldurulması ile bataklıkların oluşması da mümkündür. Zemin yoklaması yapmadan ilerlenmesi, bu bataklık ve su birikintileri içerisine düşerek boğulmalara sebep olabilir. Başyukarılarda biriken suların, galeri içinde yapılan çalışmalar sonucu boşalarak galeri içine yayılması, içeride bulunanlar açısından risk oluşturabilmektedir.



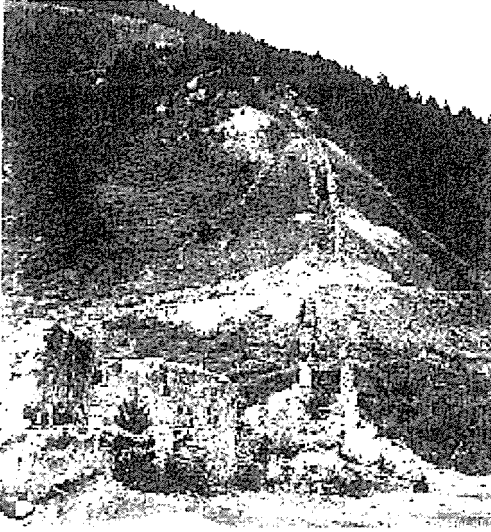
Şekil 1. Kümbet eski ergitme fırını bacası.



Şekil 2. Eskiden maden ocaklarında kullanılmış ağaç tahkimat malzemesi.



Şekil 3. Eski maden işletmelerinin hemen hepsinde gözlenen cüruf kalıntıları.



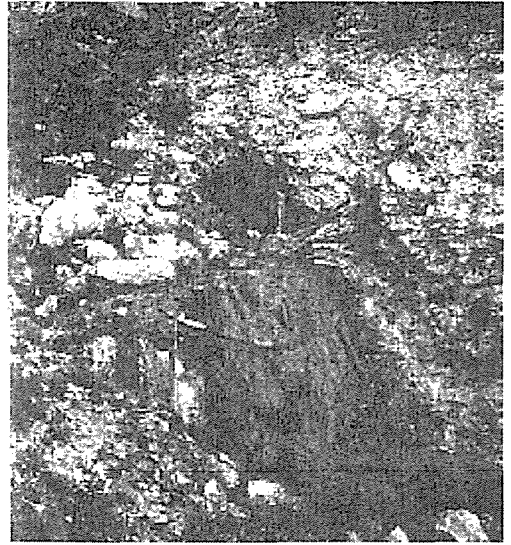
Şekil 4. Kuvarshan eski tesis ve bacası.

Ocak havası, ocakta bulunan gazlar ve bunların karışımından oluşur. Ocağa giren havaya giriş havası, imalattan itibaren kirlenerek ocağı terk eden havaya ise dönüş havası denir. Temiz hava % 20,93 O₂, % 79,04 N₂ ve % 0,03–0,04 CO₂ içeren havadır. Kirli hava ise içeriğine göre; pis hava, zehirli hava, patlayıcı hava ve tozlu hava olarak gruplandırılabilir.

Oksijen içeriği % 20'den az olan hava pis hava olarak tanımlanırken, zehirli hava; CO, H₂S, azot oksitleri (NO, NO₂), SO₂ ve radon gibi organizmayı olumsuz etkileyen gazları içeren havadır. Patlayıcı hava; CH₄, C₂H₆, C₃H₈, H₂, CO gibi yanıcı, patlayıcı gaz içeriği yüksek havadır. Tozlu hava ise içerisinde taş veya kömür tozu bulunan patlayıcı ve sağlığa zararlı olabilen havadır (Demirel ve ark., 2001). Kirli-zehirli hava yaygın olarak çürümeler ve su birikiminden kaynaklanan bozunma sonucu oluşmaktadır. Çürümeler birçok zehirli gazın ortama yayılmasına neden olmaktadır. Kirli hava ortamda oksijen azalmasına neden olduğu için insan sağlığını olumsuz etkilerken, zehirli hava doğrudan zehirlenmeye neden olarak insan yaşamını tehdit eder. Doğu Karadeniz Bölgesinde eski maden

işletmelerinde sülfürlü minerallerin yaygın olmasından dolayı, maden galerilerinde zehirli gazların ve özellikle hidrojen sülfür gazı oluşumu tehlike oluşturmaktadır. Bu gaz bölgede mevcut eski galerilerde en ciddi tehdit olarak ortaya çıkmaktadır. Bu tür galerilerin uzun yıllar havalandırılmamış olması zehirli gaz oranlarının yükselmesine neden olmalıdır.

2003 yılında Doğu Karadeniz Bölgesinde Gümüşhane ili sınırları içinde yer alan "Hazine Mağara" (Şekil 7, 8) eski maden galerisine veri toplamak için giren bir jeoloji mühendisliği öğrencisi söz konusu gazı çok kısa süre solumasından dolayı hayatını kaybetmiştir. Olayın geçtiği yer uzun süre önce terk edilen bir baş aşağı yan galerisidir. Terk edilen işletmelerde düzenli hava dolaşımı olmadığından ortamda çok hızlı gaz birikimi meydana gelebilmektedir. Bu nedenle, gerekli önlemler alınmadığı takdirde söz konusu olaya benzer durumlarla karşılaşmak mümkündür. Olayda, kazaya maruz kalan öğrenci ile birlikte olay mahallinde bulunan diğer iki öğrenci ise gazdan kısmen etkilenmiş, ancak uzun süren bir tedavi sonucu sağlıklarına kavuşabilmişlerdir. İncelemeler sonucunda öğrencilerin galeriye tedbir almadan girdikleri anlaşılmıştır (Karabulut, 2005).



Şekil 5. Kırkpavli işletmesi galeri girişi.

3 MEVZUAT VE YÜKÜMLÜLÜK

Terkedilmiş maden işletmelerinde alınacak emniyet tedbirlerine yönelik yasal olarak mevzuat incelendiğinde, **5177 Sayılı Kanunla değişik 3213 Sayılı Maden Kanunu**'nda Ruhsatın Hükümden düşmesi ve alınacak tedbirler Madde 32'de belirtilerek "*Ruhsat sahibi sahasında gerekli emniyet tedbirlerini almak ve sahanın son durumunu gösterir imalât haritası ve maden jeoloji haritasını Genel Müdürlüğe vermek suretiyle terk talebinde bulunabilir....*" amir hükmü bulunmaktadır. Burada sözü edilen işletme ve tesisler terk talebinde bulunulacak sahalardır. Ancak Madde 33'de "*Arama ve işletme ruhsatının fesh olunması, yürürlük sürelerinin bitmesi veya terk sebebiyle sona ermesi hallerinde ruhsat sahibine tazminat verilmeksizin kuyular, galeriler ve bunların muhafazası için yapılmış olan iksa tesisleri Devlete intikal eder*" denmektedir (URL-1, 2007). Buradan terkedilmiş maden işletmelerinin devletin tasarrufunda olduğu yorumu yapılabilir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından çıkarılan **Maden Kanunu Uygulama Yönetmeliği**'nde ise **Madde 73**'de "*...Gerekli tedbirlerin alınmaması durumunda ruhsatın bulunduğu ilin valiliğine bilgi verilir. Gerekli tedbirler valilik tarafından yerine getirilir. Masraflar ruhsat teminatından karşılanır....*" hükmü bulunmaktadır (URL-1, 2007). Buna dayanarak uzun süreler öncesinde terkedilmiş maden galerilerinin emniyetli duruma getirilmesinde Maden İşleri Genel Müdürlüğü ve İl Valilik'lerinin sorumluluk sahibi olduğunu söyleyebiliriz. Ancak burada konu edilen bir ruhsat sahasıdır. Eski dönemlerde işletilmiş ve emniyetsiz olarak terkedilmiş maden işletmeleri için durum biraz daha kapalıdır. Bu tür sahaların öncelikle tespit edilmesi ve sonrasında da emniyetli hale getirilmesi gerekmektedir. Tüm bu işlemlerin masrafları için de yasal olarak kaynak oluşturulması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından yayımlanmış bulunan **Maden ve Taşocakları İşletmelerinde ve Tünel Yapımında Alınacak İşçi sağlığı ve İş**

Güvenliği Önlemlerine İlişkin Tüzük'ün 172. maddesinde "*Terk edilen veya yeterince havalandırılmayan yerler, işçilerin girmesini önleyecek biçimde kapatılır ve üzerlerine uyarı işareti konur....*" denmektedir. Tüzüğün 379. maddesinde İşletmenin Terk Edildiğinin Bildirilmesi, Tüzüğün 378. maddesinde Çalışılmayan Zamanlardan Sonra Yapılacak Denetim ile ilgili olarak hükümler bulunmaktadır. Tüzüğün 345. maddesinde Ocaklara Girme Yasağı ile ilgili olarak "*Ocak yönetimince yazılı izin verilmemiş kimseler ocağa giremezler. Yazılı izin almış olanlar ise ocağa, ancak yetkili bir kişinin eşliğinde girebilirler*" hükmü bulunmaktadır.

Bu maddelere göre terkedilmiş sahaların sahibi olarak devletin, bu ocakların kapatılmasından ve gerekli uyarı levhalarının asılmasından sorumlu olacağını söyleyebiliriz. Terkedilmiş eski maden işletmelerinde yapılacak faaliyetlerin yetkili makamlardan gerekli izinlerin alınmasından sonra, gereken emniyet tedbirleri alınarak yetkili birinin gözetiminde yapılabileceği anlaşılmaktadır. Burada sorumlu idare ya da makamın Maden İşleri Genel Müdürlüğü'nün olması gerekir.

Öncelikle bölgedeki terkedilmiş maden işletmeleri tespit edilerek envanteri çıkarılmalıdır. Bu işletmelerin girişleri yetkililer tarafından kapatılarak izinsiz ve bilgisiz kişilerin buralara girmesi engellenmelidir. Bu tür tehlike arz eden eski maden işletmeleri için yetkili makamlar tarafından bir iş emniyeti uzmanı ve fenni nezaretçi atanarak kontrolleri yaptırılmalıdır.



Şekil 6. Asarcık madeni galeri ve pasalar.

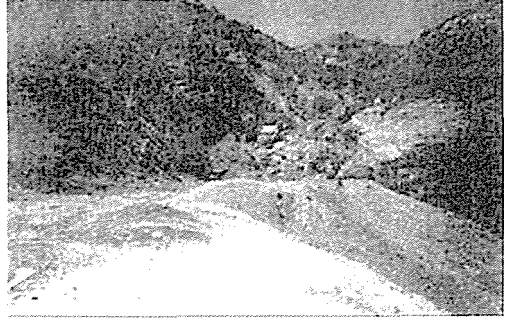
4 GALERİLERE GİRİŞ YÖNTEMİ

Maden işletmelerinde iş güvenliği hizmetleri tehlikenin önceden tespit edilmesi ve çalışma emniyetinin sağlanması ve kurtarma hizmetlerinin yapılması amacı ile yapılmaktadır (Demirel ve ark., 2001). Yukarıda adı geçen Tüzük tarafından tehlikeli durumlarda yapılacak işlemler (m.318-323), kaza sırasında ilk müdahale durumunda uygulanacak kurallar (m.325-330) ile kaza ve tehlike sırasında faaliyet göstermesi gereken Kurtarma ve İş Güvenliği Teşkilatının kuruluşu ve faaliyetleri (m.331-43) belirtilmiştir. Ancak tüzük hükümleri çalışmakta olan veya terk edilecek olan bir işletme için düşünülmüştür.

Yeraltında çalışma yapan kişilerin, ocak şartlarına karşı güvenliğini sağlama için koruyucu malzeme ve teçhizatlara ihtiyacı vardır. Ancak uzun süre girilmemiş ve ocaktaki son durumun bilinmediği terk edilmiş galerilere giriş için daha fazla teçhizatın kişi üzerinde bulundurulması gereklidir (Yürüten, 1985). Bunun için galeriye girecek kişiler üzerinde gaz ölçüm cihazları, acil kurtarma cihazları ve haberleşme teçhizatının da ayrıca bulundurulması gerekir. Yeraltı işletmelerinde içinde zehirli ve boğucu gazların yoğun olduğu veya göçük riskinin bulunduğu durumlarda yeraltına girerek kurtarma işlemini gerçekleştiren elemanlara "tahlisiyeci" adı verilir (Suvar ve İbuk, 1999). Eski tarihlerde işletilerek terk edilmiş işletmelerin içerdiği tehlikeler bu tür yerlere tahlisiyecilerin girmesini gerekli kılabacak kadar önemlidir.



Şekil 7. Hazine Mağara madeni galeri girişi.



Şekil 8. Hazine mağara pasalarının görüntüsü.

Terk edilmiş galerilere çeşitli amaçlarla girecek kişilerin aşağıda sıralanan hususlara dikkat etmeleri gerekir:

- Galerinin bulunduğu bölgenin yerel idaresinden izin alınmalıdır.
- Galeriye giriş işlemi bir ekip halinde gerçekleştirilmeli ve ekibin bir kısmı galeri dışında emniyet ve kurtarma amaçlı olarak kalmalıdır.
- Bu ekip içerisinde en az 1 kişi Fenni Nezaretçi, İş Emniyeti Uzmanı veya Tahlisiyeci uzmanı olmalıdır.
- Ekipte bulunanlar yeraltı işletmelerinde bulunan tehlikeler ve karşılaşılması durumunda yapılacak işlemler konusunda bilgilendirilmiş, ilkyardım ve kurtarma eğitimi almış olmalıdır.
- Ekipte bulunan kişilerin tümü yeraltına girecek olanlarda bulunması zorunlu olan kişisel koruyucu donanımın yanında gaz ölçme ve acil kurtarma ekipmanları ile teçhizatlı olarak bulunmalıdır.
- Galeri girişinde tahlisiye ekipmanı hazır olarak bulundurulmalıdır.
- Galeri içerisi ile girişi arasında haberleşme tesisatı bulunmalıdır.
- Galeri girişinde bulunan ekibin emniyet/sağlık kurumları ile haberleşme ve ulaşım araçları bulunmalıdır.
- Yapılacak işlemlerde Maden ve Taşocakları İşletmelerinde ve Tünel Yapımında Alınacak İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Önlemlerine İlişkin Tüzük'te belirtilen kurallara uyulmalıdır.

5 SONUÇLAR

Doğu Karadeniz Bölgesinde eskiden işletilerek terkedilmiş çok fazla sayıda yeraltı maden işletmesi bulunmaktadır. Bu işletmelerde genellikle Cu-Pb-Zn cevherleri işletilmiş olup, uzun yıllar öncesinde terk edildiklerinden içeriye girenler için birçok tehlikeleri barındırmaktadırlar. Bu tehlikelerin başında yeterli havalandırmanın olmaması sebebiyle açıklıklarda biriken zehirli gaz içeriği yüksek kirli hava ve yetersiz/deforme olmuş tahkimat sonucu meydana çıkan göçük tehlikesi gelmektedir.

Eski zamanlarda işletilerek terkedilmiş yeraltı işletmelerinin emniyetinin sağlanması konusu ile ilgili mevzuatta yasal boşluklar bulunmaktadır. Tehlike arz eden terkedilmiş maden işletmelerinin denetlenerek gerekli önlemlerin alınması çalışmalarının yetkili makamlar tarafından yapılması gerekliliği ortadadır.

Bu tür galerilere çeşitli amaçlarla girilmesi gerektiğinde öncelikle yetkili makamlardan izinler alınmalıdır. Galerilere giriş işlemi ise konusunda eğitimini almış tahlisiye ekipleri ile birlikte yapılması gereklidir.

KAYNAKLAR

- Demirel, C., Günay, E. ve Aydemir, M., 2001. *Maden İşletmelerinde Kurtarma- Tahlisiye Eğitimi-1*. TMMOB Maden Mühendisleri Odası. Ankara, 134 s.
- Güner, S., 2000. *Doğu Karadeniz'de Madenciliğin Tarihiçesi*, MTA, No.667, Trabzon, 88 s.
- Hartman H. L., 1991, Mine Ventilation and Air Conditioning, Krieger Pub. Comp. Maryland, FL
- Karabulut, E., 2005. Arazi, Tünel, Maden Ocakları ve Galeri Çalışmalarında Yer Bilimleri Mühendislerinin Dikkat Etmesi Gereken Öncelikler, *Gençjeo*, KTÜ Jeoloji Müh. Öğrencileri Dergisi, Trabzon, No: 1, s. 3
- Oelsner, O., 1935, Gümüşhane vilayetindeki maden yataklarına ait rapor, MTA, Rapor No: 408, 20 s.
- Suvar, M., İbuk, A., 1999, Tahlisiye ve Kişisel Koruyucular, *1. Fenni Nezaretçilik Semineri*, Ed. Yıldız, N., Karadağ, Y., Maden Mühendisleri Odası, Özen Yayınevi, Ankara, 350 s.
- URL-1, 2007, www.maden.org.tr
- Yürüten, A., 1985. *Maden Başçavuşları için İş Güvenliği Dersleri I-II*, TTK, İnsangücü-Eğitim Müdürlüğü Yayını No:42, Zonguldak, 163 s.

Kömürde Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlığın Termogravimetrik Açıdan Modellenmesi

A Thermogravimetric Model For Prediction Of Spontaneous Combustion Tendency Of Coal

Ö.S. Yıldırım

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara/Türkiye

M.S. Saraç

Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta/Türkiye

ÖZET 17. yüzyıldan bu yana çalışılan kendiliğinden yanma konusu günümüzde de tam olarak açıklanamamıştır. Bu çalışmada kendiliğinden yanmaya termogravimetrik açıdan yaklaşımda bulunmaktadır. Bu amaçla farklı kömürlerin tutuşma sıcaklığı, tutuşma sıcaklığı/ağırlık oranı, maksimum yanma hızı ve maksimum yanma sıcaklıkları belirlenmiştir. Kendiliğinden yanmaya yatkınlık ise kesişme sıcaklığı ile tanımlanmıştır. Kesişme sıcaklığı ile termogravimetrik parametre arasındaki ilişki araştırılmış ve bir model oluşturulmuştur. Bu model kesişme sıcaklığına anlamlı seviyede yaklaşımda bulunmaktadır.

ABSTRACT Spontaneous combustion theory, which has been studied since 17th century, cannot be explained sufficiently even today. In this study, it is aimed to present an approach to this subject thermogravimetrically. For this purpose, ignition temperature, ignition temperature to weight ratio, maximum burning rate and maximum burning temperatures of various coals have been determined. Tendency to spontaneous combustion has been characterized by crossing point temperature. The relation between crossing point temperature and thermogravimetric parameter has been investigated and the model has been set-up. This model which includes thermogravimetric parameters can be used for prediction of spontaneous combustion tendency of coal.

1 GİRİŞ

Kömürlerde kendiliğinden yanmaya yatkınlık özel deney setlerinde araştırılmaktadır. Termogravimetrik analiz ile kademeli artan sıcaklığın fonksiyonu olarak ağırlık kaybı belirlenmektedir. Termogravimetrik analizin genel olarak daha yaygın kullanıldığı bilinmektedir. Ağırlık kaybı-sıcaklık eğrisi ile tutuşma sıcaklığı, maksimum yanma hızı ve maksimum yanma sıcaklığı belirlenebilmektedir (Küçükbayrak vd., 2001).

Xiumin vd., (2002), iki farklı Çin kömürünü termogravimetrik olarak çalışmışlardır. 10-90 µm boyutlu kömürlerin

tutuşma sıcaklıklarının 340-425 °C arasında üstel olarak değiştiğini saptamışlardır.

Küçükbayrak vd., (2001), 25 değişik Türkiye linyiti üzerinde yapmış oldukları termogravimetrik çalışmada -250 µm boyut için tutuşma sıcaklıklarını 147-227 °C arasında belirlemişlerdir.

Kendiliğinden yanmanın kompleks olması nedeni ile konu; Pirit, Bakteri, Nem ve Oksidasyon kuramları ile açıklanmaya çalışılmaktadır (Banerjee, 1985).

Bununla birlikte kendiliğinden yanmanın araştırılmasında kullanılan deneysel yöntemlere bir takım eleştiriler getirilmektedir. Wade,(1988), bu eleştirileri yapaylık, tek parametrelilik olmak, yöntemler arası üstünlük olmaması, deneysel

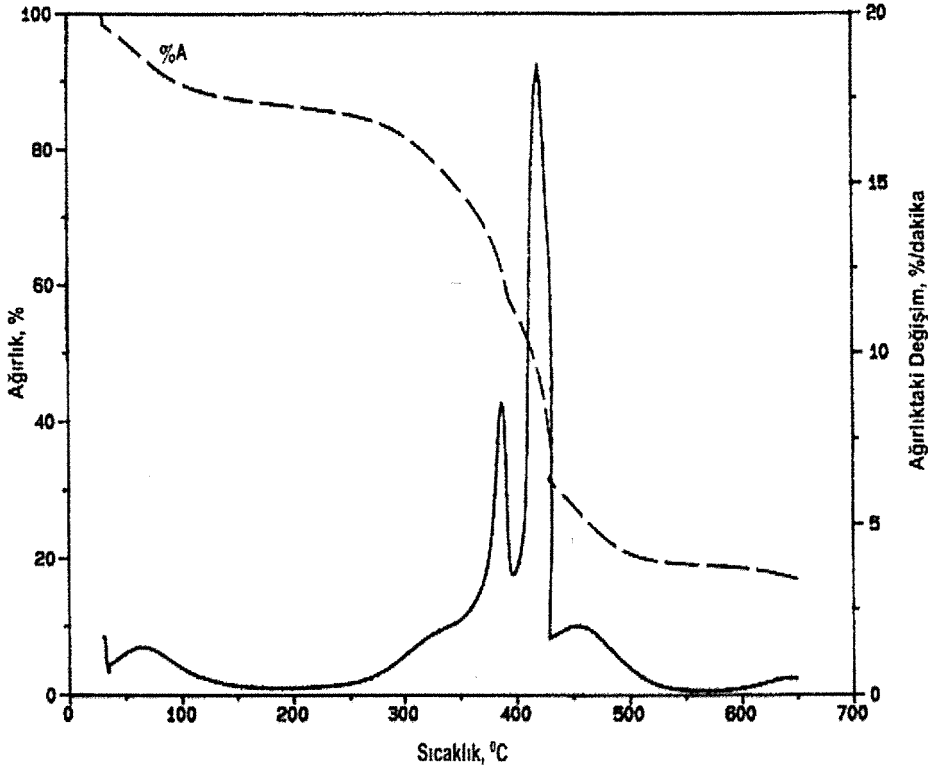
olumsuzluklar şeklinde sınıflandırmaktadır (Kaymakçı, 1998).

Söz konusu eleştirilerin dikkate alınması, termogravimetrik analizden genel bir yöntem olması, göreceli olarak daha yaygın kullanımı ve kömürün bazı yanma parametrelerinin de bu yöntemle belirlenmesi, kendiliğinden yanmaya termogravimetrik olarak yaklaşımda bulunma düşüncesini gündeme getirmektedir.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada 37 adet farklı kömürden oluşan bir örneklem kümesi kullanılmış olup, Ek 1

ve 2'de verilmektedir. Örneklem kütesinin farklı sınıflara ait kömürlerden oluşturulması ile çalışma sonucu elde edilen modellerin mümkün olduğunca kullanılabilirliğinin artırılması öngörülmüştür. Örneklem kütesindeki her bir kömür, sınıflandırma ile -38-212 µm boyut aralığında yedi fraksiyona ayrılmıştır. Termogravimetrik analizde, bu fraksiyonlardan eşit ağırlıkta alınarak oluşturulan karışım kullanılmıştır. Bu durum, termogravimetrik analizden tane boyutundan en az etkilenmesini ve kendiliğinden yanma deney örnekleri ile aynı olmasına dayanmaktadır. Şekil 1'de 1 no'lu örneğin termogravimetrik eğrisi verilmektedir.



Şekil 1. 1 no'lu örneğin termogravimetrik eğrisi

Örneklem kütesinin termogravimetrik eğrilerinden tutuşma sıcaklığı, tutuşma sıcaklığı/ağırlık oranı, maksimum yanma

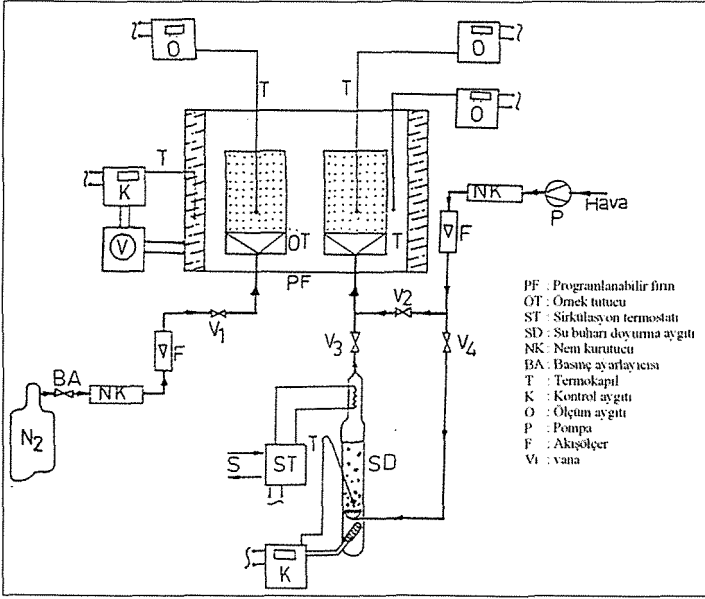
hızı, maksimum yanma sıcaklığı değerleri elde edilmiştir. Bu değerler Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Örneklerin termogravimetrik değerleri (W: Numune ağırlığı)

Örnek No	Tutuşma Sıcaklığı; °C (TS)	Tutuşma Sıcaklığında Ağırlık; % (TSA)	(TS/TSA) °C / % w	Max Yanma Hızı; % w/dak (MH)	Max. Yanma Sıcaklığı; °C (MS)
1	200	86.28	2.31	18.18	420
2	170	89.54	1.89	37.41	300
3	220	94.82	2.32	10.82	450
4	190	95.22	1.99	42.35	410
5	190	98.48	1.92	26.31	470
6	230	92.06	2.49	41.77	400
7	160	92.89	1.72	19.76	430
8	180	87.01	2.06	39.72	390
9	180	91.05	1.97	39.95	380
10	170	87.30	1.94	5.712	410
11	140	99.89	1.40	11.68	510
12	160	96.68	1.65	30.68	470
13	210	88.11	2.38	18.29	480
14	180	85.21	2.11	59.05	360
15	180	85.32	2.10	3.509	360
16	170	88.07	1.93	3.509	390
17	190	89.29	2.12	15.29	410
18	180	86.02	2.09	23.83	400
19	170	96.19	1.76	9.297	460
20	160	96.41	1.65	7.528	470
21	180	90.51	1.98	25.45	410
22	220	91.62	2.40	5.631	440
23	160	99.70	1.60	25.59	510
24	130	99.17	1.31	22.00	490
25	180	91.40	1.96	3.024	410
26	210	89.94	2.33	5.720	430
27	180	91.48	1.96	3.184	380
28	160	88.82	1.80	5.393	360
29	180	87.86	2.04	12.39	370
30	170	87.39	1.94	3.862	350
31	190	87.92	2.16	5.485	370
32	200	90.02	2.22	3.767	530
33	170	88.49	1.92	4.613	360
34	170	87.50	1.94	4.591	370
35	200	90.67	2.20	4.004	420
36	180	92.83	1.93	4.429	520
37	140	99.48	1.40	30.12	440

Kendiliğinden yanmaya yatkınlık deneyleri, diferansiyel termal analiz yöntemine dayanan Şekil 2'de verilen sette yapılmıştır. Deney seti iki örnek tutucu, hava ve azot akış sistemi ile ölçüm sistemi olmak üzere dört kısımdan oluşmaktadır. Her bir deneyde 60 gramlık tartımlar kullanılmaktadır. Örnek

tutuculara yerleştirilen örneklerden birinden azot gazı diğerinden hava geçirilmektedir. Sabit ısınma hızındaki fırından elde edilen sıcaklık zaman grafikleri ile kesişme sıcaklığı belirlenmektedir (Küçük, 1995). Örneklem kütlelerinin kesişme sıcaklıkları ise Çizelge 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Kendiliğinden yanma deney seti (Küçük, 1995).

Çizelge 2. Örneklem kütesinin keşişme sıcaklıkları.

Örnek No	Keşişme Sıcaklığı; °C	Örnek No	Keşişme Sıcaklığı; °C
1	151	20	124
2	171	21	149
3	156	22	150
4	142	23	122
5	122	24	123
6	135	25	144
7	141	26	139
8	151	27	136
9	135	28	142
10	150	29	146
11	120	30	143
12	134	31	147
13	156	32	150
14	153	33	159
15	142	34	158
16	158	35	148
17	173	36	143
18	158	37	115
19	131		

3 DEĞERLENDİRME

Bu çalışmanın amacı kendiliğinden yanmaya yatkınlığa termogravimetrik olarak yaklaşımda bulunmaktır (Yıldırım, 2002). Çizelge 3'den görüldüğü üzere; kesişme

sıcaklığı ile tutuşma sıcaklığı, tutuşma sıcaklığı/ağırlık oranı, maksimum yanma hızı, maksimum yanma sıcaklığı arasında birebir yapılan istatistiksel analizde belirlilik katsayıları düşük değer vermektedir.

Çizelge 3. Kesişme sıcaklığı ile termogravimetrik parametreler arasındaki birebir ilişki.

İlişki	Katsayı
Kesişme sıcaklığı- Tutuşma sıcaklığı	0.35
Kesişme sıcaklığı- Tutuşma sıcaklığı/ağırlık oranı	0.47
Kesişme sıcaklığı- Maksimum yanma hızı	0.01
Kesişme sıcaklığı- Maksimum yanma sıcaklığı	0.28

Bu durum bağımlı değişkeni birden çok bağımsız değişkenle açıklama gerekliliğini ortaya koymaktadır. Oluşturulan çok

değişkenli modeller Çizelge 4'de, modellerin değerlendirmesi ise Çizelge 5'de sunulmaktadır.

Çizelge 4. Kesişme sıcaklığına yaklaşımda bulunan çok değişkenli modeller.

Model	
1	$KS = 170.449 + 69.083TO - 0.626TS - 0.107MS - 0.166MH$
2	$KS = 156.057 + 76.454TO - 0.706TS - 8.071 \cdot 10^{-2}MS$
3	$KS = 121.126 + 102.487TO - 0.993TS$

KS: Kesişme sıcaklığı; TO: Tutuşma sıcaklığı/ağırlık oranı; TS: Tutuşma sıcaklığı; MS: Maksimum yanma sıcaklığı; MH: Maksimum yanma hızı

Çizelge 5. Çok değişkenli modellerin değerlendirilmesi.

Model	Korelasyon Katsayısı	Belirlilik Katsayısı	Standart Hata	Hesaplanan F	F _t
1	0.799	0.638	8.408	11.459	2.74
2	0.781	0.610	8.570	14.048	2.96
3	0.724	0.524	9.291	15.414	3.34

4 SONUÇLAR

Kendiliğinden yanmaya yatkınlığı belirleyen laboratuvar yöntemleri için deney süre, maliyet ve koşulları için çeşitli eleştiriler yapılmaktadır. Ayrıca bu deney setleri özel

nitelik taşımaktadır. Söz konusu eleştiriler doğrultusunda konuya farklı bir yöntem olan termogravimetrik açıdan yaklaşımda bulunmaktadır.

Kesişme sıcaklığı ile tutuşma sıcaklığı, tutuşma sıcaklığı/ağırlık oranı, maksimum

yanma hızı, maksimum yanma sıcaklığı arasında birebir ilişkilerin belirlilik katsayılarının düşük değer aldığı belirlenmiştir. Bu nedenle çok değişkenli modeller irdelenmiş olup, elde edilen çok değişkenli modeller arasından;

$$KS= 170,449+ 69,083TO- 0,626TS- 0,107MS- 0,166MH$$

modelinin keşme sıcaklığını belirlemede kullanılabilir olduğu düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Prof. Dr. Ender OKANDAN ve Prof. Dr. Suat BAĞCI'ya (ODTÜ) termogravimetrik analiz çalışmalarına olan katkılarından dolayı yazarlar teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Banerjee, C.S.,1985, Spontaneous Combustion of Coal and Mine Fires, Balkema, Rotterdam,168p.
- Kaymakcı, E.,1998, "Zonguldak Havzası Kömür Damarlarına Uygulanabilecek Bir Kendiliğinde Yanmaya Doğal Yatkinlığı Değerlendirme Tekniğinin Geliştirilmesi", ZKÜ Doktora Tezi, Zonguldak, 148 s.
- Küçük, A.,1995,"Aşkale Linyitinin Kendiliğinden Yanma Eğiliminin İncelenmesi,AÜ,Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 56 s.
- Küçükbayrak, S., Haykiri-Acma, H., Ersoy-Mericboyu, A., and Yaman, S., 2001. "Effect of lignite properties on reactivity of lignite", Energy Conversion and Management, 42, p. 613-626
- Xiumin, J., Chuguang, Z., Che, Y., Dechang, L., Jianrang, Q. and Jubin, L., 2002. "Physical structure and combustion properties of super fine pulverized coal particle.", *Fuel* 00, p.1-5
- Yıldırım, S.Ö., 2002. "Kömürde Kendiliğinden Yanmaya Yatkinlığın Elektriksel, Renksel ve Termogravimetrik Açından Modellenmesi", SDÜ,Doktora Tezi, Isparta, 311s.

Ek 1. Örneklem kütlesi.

Örnek No	Örnek
1	Ermenek/Karaman Polat Madencilik
2	Aydın Aydın Linyit İşl. Yemekhane Ayağı
3	Oltu/Erzurum AOLİ/Oltu-Balkaya-Susuz 18 Nolu Damar
4	Oltu/Erzurum Harmanbaca Ocağı 1. Nolu Damar Balkaya Bölüm AOLİ
5	Zonguldak Asma Dilaver Nasıfoğlu Ayak
6	Soma/Manisa 1-C Pano 402 Tavan Ayak Ayna Ömerler Yeraltı
7	Oltu/Erzurum AOLİ Oltu Karakütük Ocağı
8	Ermenek/Karaman 4 Nolu Ocak Kömür İşletmeleri Ermenek
9	Soma/Manisa ELİ Eynez Yeraltı+417 Ayak
10	Beypazarı/Ankara A.O6 Pano Ayak Arını
11	İthal Koyuncu İthal, Konya
12	İskenderun İskenderun Payas Kok Birket, Yeşilkok
13	Ermenek/Karaman Ermenek Özkar Linyit İşletmeleri
14	İlgın/Konya İlgın Gökaya Ocağı 10B Pano
15	Elbistan/K.Maraş Afşin Elbistan
16	/Konya Beyşehir
17	Ankara F.02 ve A.O8 Pano
18	Göynük/Bolu TKİ. Göynük
19	Tunçbilek/Kütahya GLİ Tunçbilek 36 Pano
20	Sorgun/Yozgat Doğan Mad. San. Tic. A.Ş. Ayırdam Kömür İşlt. Sorgun
21	Soma/Manisa Soma Kömür İşlt. A.Ş. Balcı Madeni
22	İstanbul Hüstaş A.Ş.
23	Sibirya/B.D.T. İthal, Hakan Mad. San. Tic. Ltd. Gebze
24	B.D.T. Rusya Kemerova, Tayyip Kömür A.Ş.
25	Soma/Manisa Soma Linyit İşlt., Kırkağaç Yolu Üzeri Soma Manisa
26	İstanbul TKİ, Özidaş
27	Eyüp/İstanbul Simaş Mad. Tic. AŞ, Kemerburgaz Ağaçlı Köyü Eyüp
28	Eyüp/İstanbul Uygun M.T. A.Ş., Kemerburgaz Akpınar Köyü Eyüp
29	İstanbul Çakır Linyit
30	G.O.P./İstanbul Tuna Mad. Köm. İşlt. Arnavutköy, Bolluca Köyü, Gazi Osman Paşa
31	Malkara/Tekirdağ Elmas Köm. İşlt. San. Tic. Ltd. Şti., Maymundere Mev. Malkara
32	Malkara/Tekirdağ Güzel Mad. Tic. San. Ltd. Şti., Karamurat Köyü Malkara
33	G.O.P./İstanbul Temiz Hf. Md. Sn. Tic. Ltd. Şti., Bolluca Köy. İhsaniye Mev.
34	Eyüp/İstanbul Canel Mad. Tic. San. A.Ş., Akpınar Köyü Eyüp
35	Manisa Şahin Mad., Çinge Işıklar Yolu Soma Manisa
36	Eyüp/İstanbul Akçelik Mad. Tic. San., Kemerburgaz Akpınar Eyüp
37	Şırnak TKİ Şırnak Asfaliti

Ek 2. Örneklem kütlelerinin kısa kimyasal analizi.

Örnek No	Nem, %	Uçucu Madde, %	Sabit Karbon, %	Kül, %
1	13.03	32.57	28.50	25.90
2	11.87	34.20	30.27	23.66
3	6.17	28.56	27.40	37.87
4	6.33	29.91	28.25	35.51
5	1.12	22.03	30.20	46.65
6	7.77	33.94	29.32	28.97
7	6.58	29.96	28.93	34.53
8	11.97	34.63	36.19	17.21
9	10.12	25.09	28.58	36.21
10	12.72	30.39	31.22	25.67
11	0.96	17.99	46.67	34.38
12	3.95	38.88	41.92	15.25
13	10.93	41.01	31.53	16.53
14	11.78	44.51	28.19	15.52
15	12.24	47.27	8.38	32.11
16	11.22	61.54	11.44	15.80
17	9.77	39.06	11.93	39.24
18	12.97	47.82	29.84	9.37
19	3.98	38.07	36.19	21.76
20	5.22	39.55	31.21	24.02
21	13.89	48.26	30.57	7.28
22	9.50	41.54	27.92	21.04
23	1.85	17.17	51.60	29.38
24	3.17	20.76	50.60	25.47
25	11.66	34.79	27.40	26.15
26	11.44	32.98	27.02	28.56
27	10.95	32.53	24.63	31.89
28	13.61	38.29	27.85	20.25
29	13.08	31.15	20.80	34.97
30	13.00	41.60	9.61	35.79
31	13.73	28.90	24.86	32.51
32	10.63	29.63	27.38	32.36
33	12.20	37.88	28.71	21.21
34	12.14	36.08	25.52	26.26
35	9.36	31.19	26.51	32.94
36	7.23	29.33	26.84	36.60
37	0.38	43.83	17.96	37.83

Ekonomik Ömrünü Tamamlamış Açık Maden Ocaklarının Rekreasyonel Amaçlarla Düzenlenmesi

Reclaiming of Surface Mining Area which Completing Economical Life for Recreational Purposes

M. Topay, N. Koçan

ZKÜ, Bartın Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, BARTIN.

ÖZET Açık maden ocakları ekonomik ömrünü tamamladıktan sonra doğal çevrede ekolojik, estetik ve teknik sorunlara neden olmaktadır. Özellikle kentsel yerleşmelere yakın olan açık maden ocakları, yeniden düzenlenerek geri kazanılabilmeleri için acil çözüm beklemektedirler. Ekonomik ömrünü tamamlamış açık maden ocaklarının rekreasyon amaçlı kullanımı ile geri kazanımı mümkündür. Yerleşmelere yakın ocak alanlarının gününbirlik rekreasyonel etkinlikler için yeniden düzenlenmesi kent halkının yaşamına olumlu katkılar sağlamaktadır.

Bartın kentinin yaklaşık otuz beş bin kişilik bir nüfusu olmasına karşın, kent içinde ve yakın çevresinde rekreasyonel amaçlarla düzenlenmiş birkaç alan bulunmaktadır. Bartın kenti içinde henüz ekonomik ömrünü tamamlamış açık maden ocağı bulunmamaktadır, bu nedenle konumu, ulaşılabilirliği ve yakın çevre bitki örtüsünün niteliği açısından rekreasyon için önemli bir potansiyele sahip olan BARKISAN (Bartın Kireç Sanayi) A.Ş.'ne ait maden ocağı çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışmada, alanın mevcut durumu tespit edilmiş ve bilgisayara aktarılmıştır. Daha sonra farklı rekreasyonel kullanımlara yönelik birkaç alternatif tasarım örneği ortaya konulmuştur.

ABSTRACT Surface mining area has caused some hazards as ecological, aesthetics and technical in natural environment after completing the economical life. Especially, surface mining area which is nearby settlements has waited for emerging solution to reclaim. It is possible that reclamation of surface mining area which completing economical life for recreational purposes. Surface mining area which is nearby settlements has contributed positive effects for urban people when recreate for daily recreational activities.

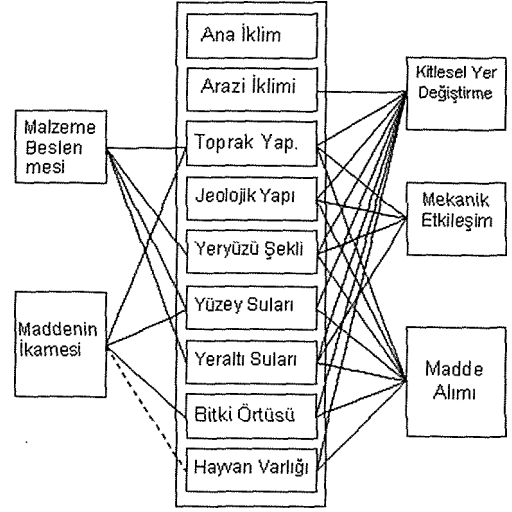
Although the population of the city of Bartın is approximately thirty-five thousand, there are several recreational areas in the city or its environs. In the city of Bartın, there are not any surface mining areas which completed economical life; therefore, the surface mining area of BARKISAN Inc. has been chosen as a case study because of its location, accessibility and nearest vegetation features which has great potential with respect of recreation. In the study, the existing land uses of the case area has been determined and transferred in to the computer. Then, some alternatives have been designed for different recreational uses.

1 GİRİŞ

Teknolojik gelişmelere paralel olarak madenlere olan gereksinim her geçen gün artış göstermektedir. Bunun sonucunda, maden amaçlı alanların sayıları artmakta ve/veya boyutlarında genişlemeler söz konusu olmaktadır. Maden ocağı sayısındaki bu artış veya genişleme, kimi zaman ekolojik, estetik veya teknik açıdan önemli çevre sorunlarına neden olabilmektedir.

Genelde açık ocak madenciliklerinin, diğer madencilik yöntemlerine göre daha büyük çevresel etkilere neden olduğu bilinmektedir. Açık ocak işletmesi doğrudan arazi varlığını hedef almaktadır. Bu işletme yönteminde, canlılar için çok önemli olan ve kısa sürelerde yenilenemeyen bir kaynak olan toprağın kaybı, bunu takiben bitki örtüsü ve topoğrafyada meydana gelen değişiklikler, verimliliğin yitirilmesi, görsel kirlilik, doğrudan veya dolaylı çevresel etkiler meydana gelmektedir (Başal vd. 1995).

Bakir durumdaki arazinin jeolojisi, milyonlarca yıl süren tabakalaşma ve tektonizma hareketlerinin sonucu oluşmuştur. Ekolojisi, arazi üzerinde ilk bitkinin yetişmesinden ve ilk hayvanın yaşamaya başlamasından itibaren onlarca türev bitkinin ve hayvan çeşidinin bölgeye yerleşmesi ile meydana gelmiştir. Ayrıca, alanda tabaka özellikleri ve topoğrafik yapıya bağlı olarak belli bir hidrolojik sistem kurulmuştur (Köse vd. 1993). Uzun yıllar sonucunda oluşan bu ekolojik sistemlerin ve sistemin unsurları olan doğal kaynakların malzeme temin amaçlı kullanımı, bu sistemi oluşturan doğal kaynakları ve sistemi oldukça köklü bir şekilde etkileyecektir. Şekil 1'de ekolojik sistem öğeleri ile malzeme alımı arasındaki etkileşim verilmiştir.



Şekil 1. Ekolojik sistem-açık ocak işletmesi etkileşimi (Köse vd. 1993).

1.1 Açık Ocak İşletmeciliği Sırasında Meydana Gelen Çevresel Etkiler

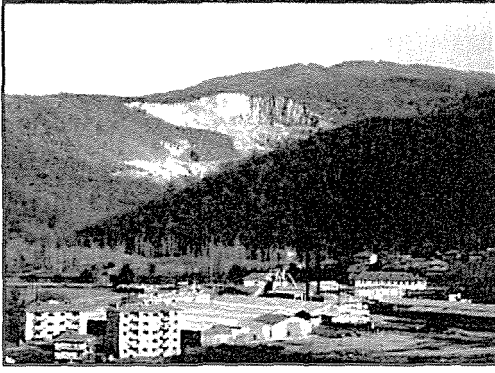
Açık ocak işletmeciliğinde, arama ve işletmeye hazırlık aşamasından başlayarak sonuçlanma aşamasına kadar yürütülen faaliyetler sırasında görülebilecek olan çevresel etkiler yerel, bölgesel ve küresel olmak üzere üç grupta toplanabilir (Akpınar, 1994):

Yerel etkiler;

- Yeraltı ve yüzeysel sularının rejiminde değişiklikler ve su kirliliği,
- Arazinin topoğrafik yapısının ve doğal görünümünün tamamen değişmesi, görsel peyzaj değerinin kaybolması (Şek. 2, Şek. 3).
- Patlayıcı madde kullanımı ile jeolojik sorunlar, heyelan ve çökmelerin olması, çevre sakinleri ve yaban yaşamının tedirgin olması,
- Bitki örtüsünün kaldırılması nedeni ile bitkisel üretimin durması, yaban yaşamının yok olması,
- Alt toprakta yapı ve bünye açısından değişikliklerin meydana gelmesi,
- Önemli bir kaynak olan verimli üst toprağın kaybolması,



Şekil 2. Doğal yapı değişimi (Bartın-Boğaz Mevkii).



Şekil 3. Topografyadaki değişiklik (Bartın-Topluca Köyü Mevkii).

- Örtü tabakasının istenmeyen fiziksel, biyolojik ve kimyasal özelliklerinin yarattığı taşlılık, tuzluluk ve pH değişimleri gibi sorunlar,
- Faaliyetler esnasında çalışan iş makinelerinin zemini sıkıştırması, atmosferik kirlilik, gürültü, titreşim ve görsel kirlilik ile bunların neden olduğu sağlık sorunları,
- Döküm alanlarında su ve rüzgâr erozyonu tehlikesi,
- Malzemenin taşınması sırasında meydana gelen atmosferik ve görsel kirlilik,
- Kazı alanına giren köylerin kaldırılması nedeniyle sosyo-ekonomik ve kültürel açıdan ortaya çıkan çevre sorunları olarak verilebilir.

Bölgesel etkiler;

- Konutlarda ve tarımda kullanılan suyun kirlenmesi,
- Tarımsal verimliliğin ve doğal örtünün yok olması,
- Partiküllerin rüzgarla uzaklara taşınması ve bunların solunması sonucu bölgede yaşayan halkta görülen kronik sağlık sorunları.

Küresel etkiler;

- Bazı çevresel etkiler yöre veya bölge ile sınırlı kalmamaktadır. Örneğin açık ocak işletmeciliği sonucunda kömürün yanması sonucu oluşan SO₂, CO₂, NO_x, gibi gazların asit yağmurlarına dönüşmesi ve sera etkisi oluşturması da açık ocak madenciliğinin küresel etkileri içinde değerlendirilebilir.

1.2 Geri Kazanım Çalışmaları

Madencilik faaliyetleri nedeniyle tahrip edilen yerlerdeki doğa onarım çalışmaları, bir iyileştirme çalışmasının ötesinde bozulan ekosistemin yeniden oluşturulması ve kurulması çalışmasıdır.

Bu ilke çerçevesinde gerçekleştirilecek bir onarım çalışması madencilik faaliyetlerine başlamadan önce planlanmalı ve madencilik faaliyetleri paralelinde yürütülmelidir. Alana getirilecek yeni kullanım biçimlerinin yöreye sağlayacağı ekonomik girdiler de doğa onarımı için yapılacak masrafın geri dönüşünü kolaylaştıracaktır. Chadwick'e (1980) göre, onarım çalışmalarıyla;

- Çevre peyzajı ile uyum sağlanır.
- Biyolojik verimlilik yeniden oluşur.
- Görsel peyzaj değeri artar.
- Yörenin sosyal-ekonomik koşulları iyileşir.
- Hava, su ve toprak kirliliği gibi çevre sorunları çözülür (Akpınar, 1994).

Maden ocaklarında alanın geri kazanımı için yapılan planlama genel anlamda, kaynak ve arazi kullanımı ile peyzajın doğası ve dinamikleri ile ilgili ilişkileri belirlemek ve

bu ilişkiler doğrultusunda alan için ekolojik, ekonomik ve estetik açılardan en uygun plan kararlarını ortaya koymaktır. Bu bağlamda maden ocaklarının onarımında arazinin bozulmadan önceki haline getirilmesi veya araziye öncekinden farklı kullanım biçimlerinin getirilmesi söz konusudur. Rekreasyon da bu kullanım biçimlerinden biridir. Özellikle kentsel alanlara yakın maden ocaklarının, malzeme alım süreci tamamlandıktan sonra rekreasyon etkinliklerine uygun olarak düzenlenmesi ve kentte yaşayan insanların kullanımına sunulması, kişilerin sosyal, fizyolojik ve psikolojik yapısı üzerine olumlu etkiler sağlayacaktır.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

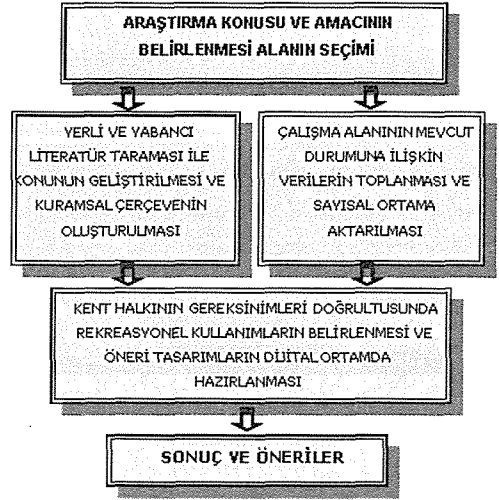
Bu çalışma kapsamında BARKİSAN A.Ş.'ne ait kalker taşı ocağı örnek alan olarak ele alınmıştır.

Çalışma alanı henüz ekonomik ömrünü tamamlamamıştır. Ancak alandan malzeme alımı bittikten sonra, kent merkezinde yaşayan insanların rekreasyonel gereksinimlerini karşılamak için yararlanılabileceği düşünülmektedir.

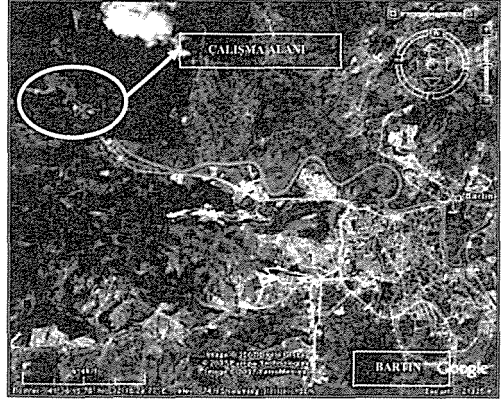
Bu doğrultuda öncelikle konu ile ilgili ayrıntılı yerli ve yabancı literatür taraması yapılarak yüzey madenciliği süreci ve peyzaja olan etkileri hakkında bilgiler elde edilmiştir. Daha sonra alanın mevcut durumuna ait görüntüler bilgisayar ortamına aktarılmış ve farklı rekreasyonel ihtiyaçlara yönelik birkaç projeksiyon, dijital tasarım olanakları (örneğin Sierra Photo LandDesigner, vb. gibi) kullanılarak ortaya konulmuştur. Çalışmaya ait genel akış Şekil 4'te verilmiştir.

3 BULGULAR

Araştırma alanı olarak belirlenen BARKİSAN A.Ş.'ne ait kalker taşı ocağı, Bartın İli Merkez İlçe Gürgenpınarı Köyü sınırları içindedir. Alanın Bartın İli içindeki konumu Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Genel akış diyagramı.



Şekil 5. BARKİSAN A.Ş.'nin kent içindeki konumu (Googleearth, 2007).

Ocağın kent merkezine uzaklığı yaklaşık 5 km, Gürgenpınarı Köyü'ne uzaklığı yaklaşık 1.5 km'dir. Alan, kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda uzanmaktadır, ocağın ana karayoluna mesafesi ise 0.9 km'dir. Ocak alanının kuzeydoğusunda Bartın Çayı bulunmaktadır (Şek. 6 ve 7).

BARKİSAN A.Ş.'ne ait ocağın çevreden görünümü Şekil 8'de verilmiştir.

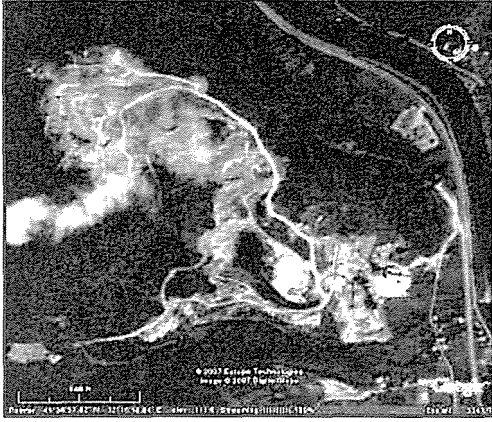
Faaliyet alanı Maliye Bakanlığı Bartın Millî Emlak Müdürlüğü'nden 30.06.1995 tarihinde 2 yıllığına kiralanmıştır. Ruhsatlı alan 75.765 m²'dir, ancak 17.000 m²'sinde üretim yapılmaktadır. Arazi devlete ait

orman arazisi vasfı taşımaktadır (Anonim, 1995).

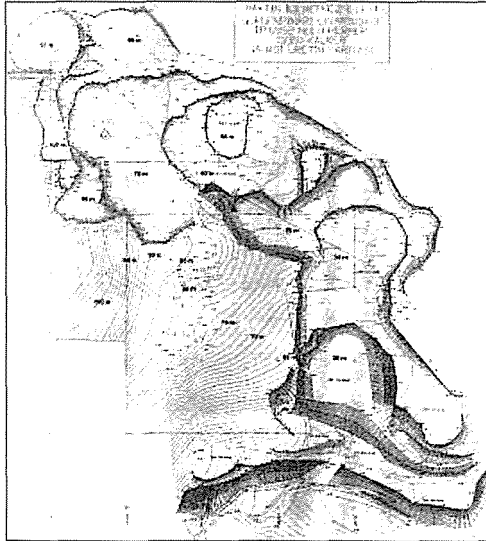
Ocakta, açık işletme yöntemi kullanılmaktadır. Malzeme patlatma ve ekskavatör yardımı ile yerinden alınmakta ve alanda kırma-eleme gibi herhangi bir işlem yapılmamaktadır. Malzeme alımı sırasında oluşturulacak basamak yükseklikleri 5-10 m, genişlikleri ise 1-65 m olacak şekilde çalışılmaktadır (Anonim, 1995).



Şekil 8. BARKİSAN A.Ş.'ne ait "Kalker Taşı Ocağı"nın uzaktan görünümü.



Şekil 6. BARKİSAN A.Ş.'ne ait "Kalker Taşı Ocağı" (Googleearth, 2007).



Şekil 7. Ocağa ait plan (BARKİSAN A.Ş. 2007).

Yıllık çıkarılacak malzeme miktarı 25.000 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Faaliyet alanında üst toprak kalınlığı 5 cm olup 17.000 m²'lik alanda elde edilen toplam hafriyat (bitkisel toprak miktarı) 875 m³'tür. Hafriyat dolayısıyla alanın floristik yapısı değişmiş dolayısıyla biomas kaybı olmuştur. Bu alan terk edildikten sonra süksesyonun ilk aşaması olarak kayaların üzerinde likenler yerleşecektir. Ardından tek yıllık ve daha sonra çok yıllık bitkiler alanda hâkim olacaktır. Faaliyet sona erdikten sonra ıslah çalışmaları yapılacaktır. Bu çalışmalarda depolanan bitkisel toprak kullanılacaktır (Anonim, 1995).

3.1 Tesisten Kaynaklanan Sorunlar

TOZ: Tesisten kaynaklanan toplam toz miktarı 0,3037 kg/saattir. Bu da "hava kalitesinin korunması yönetmeliği"nde belirtilen 1,5 kg/saat değerinin altındadır. Yine de toz miktarını azaltabilmek için malzeme taşıyan kamyonların üzeri örtülecek ve işletme alanında malzeme alınan basamaklar su ile spreylenerek toz oluşumu azaltılmaktadır (Anonim, 1995).

GÜRÜLTÜ: Üretim sırasında oluşacak gürültü (kamyon, ekskavatör vb nedeniyle) 118 dBA'dir. Bu değerdeki bir gürültü 2 km mesafede 44 dBA olarak işitilmektedir. En

yakın yerleşim yeri olan Gürgenpınarı Köyü 3,5 km mesafededir ve bu gürültüden zarar görmemektedir. Patlatma çalışmaları sırasında oluşan gürültü şiddeti 140 dBA'dır ve 2 km uzaklıkta 66 dBA olarak hissedilmektedir. Çevredeki bitki örtüsü ve topoğrafya dikkate alındığında bu değerler daha da düşmektedir (Anonim, 1995).

SU, ATIK SU, KATI ATIK: Faaliyet sırasında su kullanımına ihtiyaç yoktur. Kullanılacak su çalışan 6 kişinin ihtiyaçları ve arazideki spreyleme çalışmaları içindir. Kişisel kullanımlardan oluşacak atık su, konteynırlarda depolanacak ve alandan uzaklaştırılacaktır. Spreylemede kullanılan su miktarı buharlaşma ile kaybolacaktır. Ocakta çalışan insanlardan kaynaklanacak katı atık miktarı 4,2 kg/gün olarak hesaplanmıştır. Katı atıklar, biriktirme kaplarında toplanarak, BARKİSAN Kireç Fabrikası'na götürülmekte ve buradaki katı atıklarla birlikte işlem görmektedir (Anonim, 1995).

3.2 Rekreasyon Olanakları

Bartın kentinde yaşayan insanların rekreasyonel amaçlarla kullanabilecekleri alanlar oldukça sınırlıdır. Bunlar:

1. Çağlayan Piknik Alanı,
2. Karaçay Piknik Alanı,
3. Balamba Piknik Alanı ve
4. Halatçıyaması Dinlenme Alanı'dır.

Ayrıca, alanlarda yapılabilecek etkinlik türleri de yeterli değildir.

Kentin içinde insanların kullanabileceği park, meydan, çocuk oyun alanlarına ait sayı ve alan büyüklükleri, modern kent ölçütleri göz önüne alındığında yeterli değildir.

Madencilik sonrası bir alanın geri kazanımı için yapılacak alan kullanım planlama çalışmalarında genel olarak izlenebilecek aşamalar kısaca aşağıda verilmiştir:

1. Mevcut durum analizi
2. Ekolojik envanter çalışması,

3. Uygun kullanımların (Yerleşim, rekreasyon, ticaret ve endüstri, tarım, orman, vb.) belirlenmesi,
4. Sentez ve alan için en uygun kullanım ya da kullanımların belirlenmesi,
5. Öneriler (Akpınar, 1994).

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda çevre konusunda yaşanan olumsuz gelişmeler, üzerinde yaşadığımız çevre ve sahip olduğu değerleri hakkında karar alırken oldukça dikkatli davranılması gerekliliğini bir kez daha ortaya koymuştur. Çevresel değerlerin akılcı ve sürdürülebilir şekilde kullanımını, bu değerlerin gelecek kuşaklara en az kayıpla aktarılabilmesini sağlamak insanlığın en önemli görevlerinden birisi haline gelmiştir. Bu bağlamda, günümüz gelişmişlik düzeyinin korunabilmesi ve birçok farklı gereksinim için kullanılan madenlerin alındığı arazilerin, alım süreci bittikten sonra farklı kullanımlar için düzenlenmesi, kaynakların akılcı kullanımı için iyi bir örnek teşkil edecektir.

Malzeme alım süreci tamamlanan açık ocak işletmelerine ait alanların, kamu yararını sağlayacak biçimde yeniden düzenlenmesi bu niteliğe sahip alanların geri kazanım için tercih edilebilecek en akılcı yollardan biridir. Özellikle kente yakın maden ocaklarının bu amaçlı kullanımı, kent insanının sosyolojik ve psikolojik yapısı üzerine olumlu katkılar sağlayacaktır. Bu olumlu katkıların sosyal yaşama ve iş yaşamına yansımaları kısa sürelerde kendini hissettirecektir.

Bu alanların rekreasyonel kullanımlar için tasarlanması sürecinde (Shi and Li, 2007);

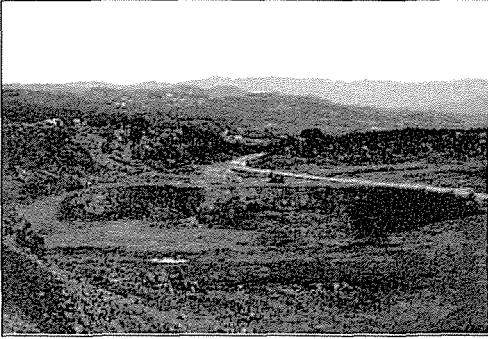
- Öncelikle alana ait veri tabanının hazırlanması (alanda mevcut olumlu ya da olumsuz durumların tespiti),
- Yakın çevrede yaşayan insanların ve potansiyel kullanıcıların rekreasyonel gereksinimlerinin belirlenmesi,
- Bu gereksinimler doğrultusunda alan için en uygun alternatiflerin ortaya konulması ve

- İzleme-bakım sürecinin netleştirilmesi, yapılması gereken çalışma aşamaları olarak sıralanabilir.

Çalışma alanının malzeme alım süreci tamamlandıktan sonra alacağı topoğrafik yapı, kentin mevcut rekreasyon olanakları ve Bartın kentinde yaşayan insanların gereksinimleri göz önüne alınarak belirlenen kullanım biçimleri;

- Piknik alanı (Şek. 9a, 9b),
- Yürüyüş ve bisiklet yolları (Şek. 10a, 10b, 10c),
- Dinlenme alanları ve seyir terasları (Şek. 11a, 11b, 11c)
- Kamping ve çadırlı kamp alanı (Şek. 12)
- Lunapark ve çocuk oyun alanı (Şek. 13) şeklinde sıralanabilir.

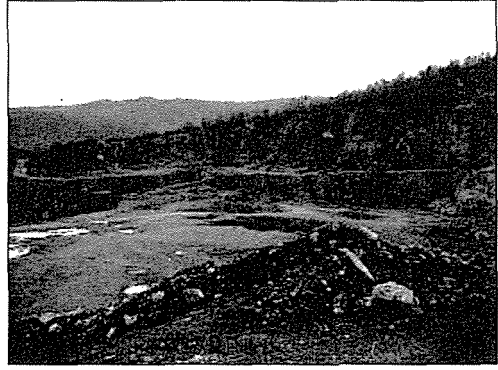
Alanın öncesi ve geliştirilen dijital tasarım örnekleri aşağıda sunulmuştur.



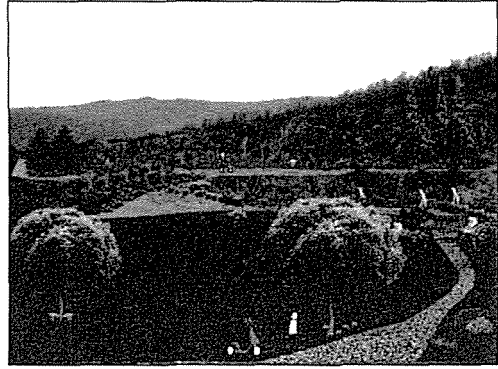
(a)



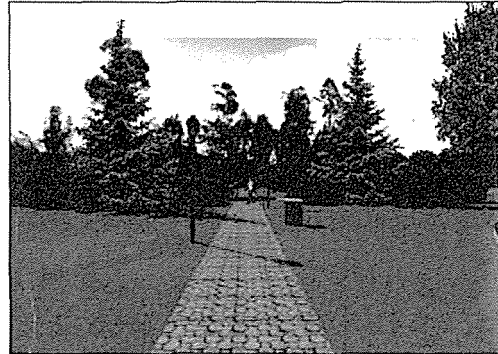
(b)



(a)



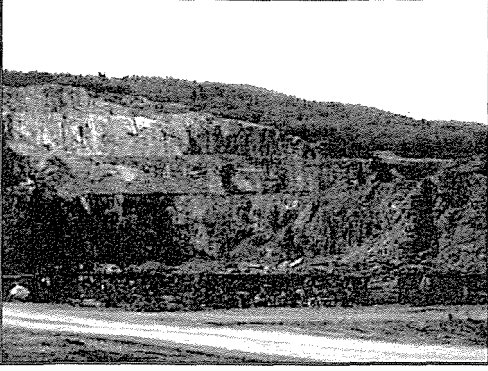
(b)



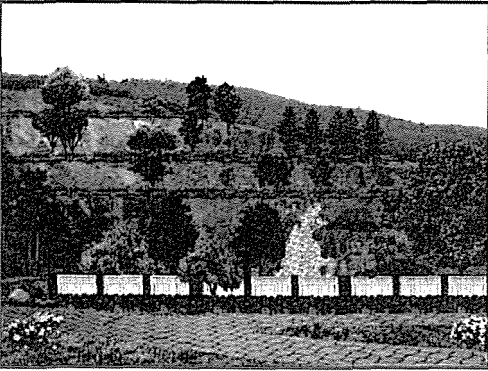
(c)

Şekil 10 Yürüyüş ve bisiklet yolu önerisi
(a) Tasarım öncesi,
(b), (c) Tasarım sonrası.

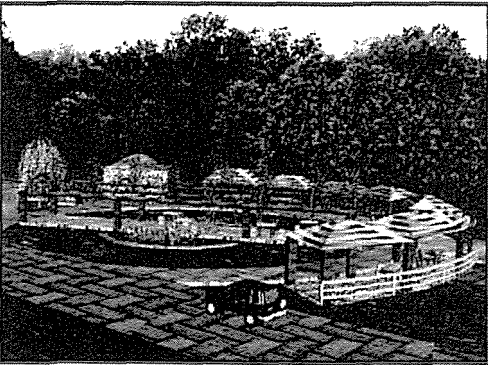
Şekil 9 Piknik alanı önerisi (a) Tasarım öncesi, (b) Tasarım sonrası.



(a)



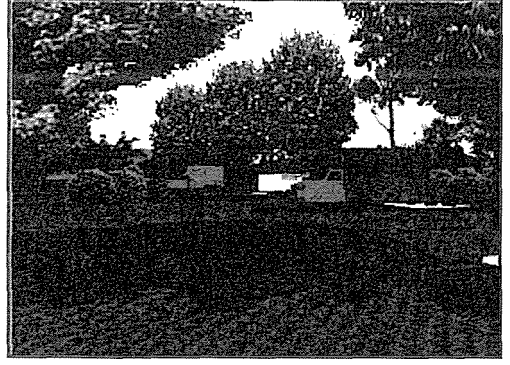
(b)



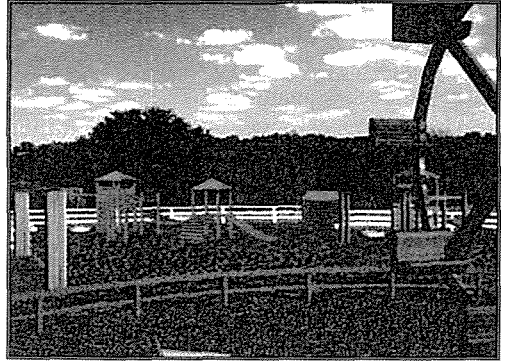
(c)

Şekil 11 Dinlenme alanları ve seyir terasları önerisi

- (a) Tasarım öncesi,
(b), (c). Tasarım sonrası.



Şekil 12. Kamping alanı önerisi.



Şekil 13. Lunapark ve çocuk oyun alanı önerisi.

Bartın kentinde yaşayan insanların rekreasyonel gereksinimleri göz önüne alınarak yapılan bu tasarımlar, hem kent içi etkinliklerin çeşitlendirilmesi hem de uygulanabilir olması nedeni ile yerel yöneticiler ve halkın da görüşleri alınarak uygulanması, kent halkının sosyal ve kültürel yapısına katkı sağlamış olacaktır.

KAYNAKLAR

- Anonim, 1995, BARKİSAN Kalker Ocağı Çed Ön Raporu, Turkuaz Ltd. Şti. Bartın.
Akpınar, N., 1994. Açık Kömür Ocaklarında Çevresel Etkilerin Değerlendirilmesi ve Doğa Onarımı Çalışmalarının Milas-Sekköy Açık Kömür Ocağı Örneğinde İrdelenmesi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı ABD (Basılmamış Doktora Tezi), Ankara, 277s.

Başal, M, Yılmaz, O, Kurum, E, Akpınar, N, Çabuk, A, Ekşioğlu, T, 1995. Sivrihisar Kaymaz Altın Madeni Doğa Onarımı ve Alan Kullanım Planlaması, Ank. Üniv. Ziraat Fak. Peyzaj Mimarlığı Böl. Yayın no. 1414, Ankara.

Googleearth, 2007. <http://www.googleearth.com>.

Görcelioğlu, E, 2002. Peyzaj Onarım Tekniği, İst. Üniv. Yayın No. 4351, Orman Fak. Yayın No:470, İstanbul, 320 s.

Köse, H, Şimşir, F, Güney, A, 1993. Açık maden işletmelerinde Rekültivasyon ve Rekreasyon, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 236, İzmir, 53s.

Shi, H, Li, S, 2007. The Development of Land Reclamation and Ecological Restoration Information System in mine area-A Case Study of PingShuo opencast mine area, China Geologic University Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences Graduate School of the Chinese Academy of Sciences Beijing, China.



Türkiye Kömür Madenciliği İş Güvenliği Endekslerinin Dünya Ülkeleri İle Karşılaştırılması

Comparison of Turkish Coal Mining Safety Indices with World Countries

M. Sarı

Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 68100 Aksaray

ÖZET Bir ülkenin işçi sağlığı ve iş güvenliği yönünden içinde bulunduğu durumun en sağlıklı şekilde ortaya konması ancak, o ülkeye ait iş kazası verilerinin diğer ülke verileriyle karşılaştırılmasıyla mümkün olabilir. Bu çalışmada, ülkemiz kömür madenciliğinin iş güvenliği açısından gösterdiği performans, dünya kömür üretiminde söz sahibi ülkelerin ulaştığı değerlerle mukayese edilerek araştırılmaya çalışılmıştır. Türkiye, ABD, Polonya, Avustralya, Güney Afrika ve Hindistan için bir milyon ton üretime, bin işçiye ve bir milyon çalışma saatine isabet eden ölü ve yaralı sayısı endeksleri grafikler yardımıyla karşılaştırılmıştır. Türkiye kaza verileri bu sektörde yer alan farklı kurumların içinde bulunduğu şartları daha iyi yansıtmaları bakımından TKİ, TTK ve SSK olmak üzere üç ayrı grupta incelenmiştir. Karşılaştırmalar yapılırken, yıllık bazda görülebilecek dalgalanmaları bertaraf etmek amacıyla herhangi bir ülkeye ait kaza verilerinin genelde son on beş yıllık değerleri ortalamaya dahil edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, TKİ verileri özellikle bin işçi başına ve bir milyon çalışma saatine düşen ölü ile yaralı sayısının düşüklüğü bakımından dünya ülkeleriyle kıyas edilebilirken, TTK değeri bu kurumun içinde bulunduğu şartların ağırlığını yansıtmaları bakımından, SSK değerleri ise toplanan kaza verisinin niteliği yönünden farklılık arz ettiğinden diğer ülke iş güvenliği endekslerinin hayli gerisinde kalmıştır.

ABSTRACT Comparing its safety statistics with other countries one can conveniently assess the condition of a country in terms of occupational health and safety. In this study, it is aimed to evaluate the safety performance of Turkish coal mining industry by comparing its statistics with safety figures of some coal producing countries. The safety numbers of person injured and person deaths per million tons of coal produced, per thousand employees at work and per million hours of work were determined graphically for Turkey, USA, India, Poland, Australia and S. Africa. In the analysis, Turkish data were separated into three components as TKI, SSK and TTK in order to reflect the safety conditions of different sectors in this country. The collected data for all countries were averaged across last fifteen years in attempt to remove some of the statistical variations caused by annual fluctuations. According to statistical results, TKI compares well with the safety performance of other countries due to its lower fatality and injury rates, especially for per million tons of coal production and per thousand employees at work. On the other hand, TTK and SSK showed the highest rates in all figures comparing accident data owing to facts that its harsh working conditions of the former and its different reporting system of accident occurrences of the later.

1 GİRİŞ

Kömür madenciliği, ülke kalkınmasında oynadığı rol itibariyle önemli bir iş kolunu oluşturmaktadır. Birçok ülke yerli kaynak olması hasebiyle kömüre dayalı kalkınmaya öncelik vermektedir. Ancak kömürün bu avantajları yanında çok güç çalışma koşullarından dolayı işçi sağlığı ve iş güvenliği yönünden bazı olumsuzlukları da barındırabilmektedir. Kömür madenciliği gerek açık işletme gerekse yeraltı ocağı olsun öteden beri tehlikeli ve riskli bir meslek olarak kabul edilmiştir. Bu sektör, gelişmiş çoğu ülkede dahi hala işçi sağlığı ve iş güvenliği yönünden en tehlikeli meslek grupları arasında gösterilmektedir. ABD’de bu işkolu ölümcül kazalar açısından en riskli grupta yer almaktadır (NIOSH, 2005). Yine benzer şekilde, ülkemizdeki faaliyet grupları dikkate alındığında kömür madenciliği işkolu meslek hastalıklarında ilk sırada, sürekli iş göremezlik yönünden ikinci sırada ve iş kazası sayısı bakımından dördüncü sırada bulunmaktadır (SSK, 2003).

Bir ülkenin herhangi bir sektörde işçi sağlığı ve emniyet yönünden içinde bulunduğu durumun en sağlıklı şekilde ortaya konması ancak o ülkeye ait kaza verilerinin diğer ülke verileriyle karşılaştırılmasıyla mümkün olabilir. Bu çalışmada, ülkemiz kömür madenciliğinin iş güvenliği açısından gösterdiği performans, dünya kömür üretiminde söz sahibi ülkelerin ulaştığı değerlerle birlikte mukayese edilerek karşılaştırılmaya çalışılacaktır. Türkiye, ABD, Polonya, Avustralya, Güney Afrika ve Hindistan’a ait iş güvenliği değerleri, bir milyon ton üretime, bin işçiye ve bir milyon çalışma saatine isabet eden ölü ve yaralı sayısı dikkate alınarak hazırlanan grafikler yardımıyla karşılaştırılacak, böylece ülkemiz kömür madenciliğinin iş güvenliği yönünden içinde bulunduğu durumun bir resmi çekilmiş olacaktır.

2 VERİ KAYNAKLARI

Bir maden işletmesinin temel iş güvenliği performans değerleri olan işçi sayısı, yıllık üretim, çalışma saati, kaza sayısı, yaralı ve ölü sayıları Türkiye, Amerika Birleşik

Devletleri, Polonya, Güney Afrika, Avustralya ve Hindistan için çeşitli kaynaklardan faydalanmak suretiyle derlenmiştir. Dünya kömür üretiminde payı hayli yüksek olan Çin için gerekli olan verilere ulaşılamadığından bu ülke analizlere dahil edilememiştir.

Türkiye linyit kömürü değerleri, bu sektörün en büyük üreticisi konumundaki “Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu” (TKİ)’un yıllık raporlarından alınmıştır (TKİ, 2005). Bu kurum, Türkiye toplam linyit kömürü üretiminin yaklaşık % 65-70’nı gerçekleştirmektedir. Ülkemizde gerek kamu sektörü gerekse özel sektör tarafından üretilen taşkömürü ve linyit değerlerini içeren Türkiye genel kömür madenciliği sektörü verileri ise “Sosyal Sigortalar Kurumu” (SSK)’nca yayınlanan yıllık iş kazaları ve ölümler istatistiklerinden alınmıştır (SSK, 2003). Yıllık kömür üretimi, çalışan işçi sayısı ve toplam çalışma saati bilgileri ise “Devlet İstatistik Enstitüsü” (DİE) Maden istatistikleri birimince yayınlanan yıllık raporlardan derlenmiştir. “Türkiye Taşkömürü Kurumu” (TTK) verileri ise bu kuruma ait İnternet sitesinden derlenmiştir (TTK, 2006).

Amerika Birleşik Devletlerine ait bilgiler “US Mine Safety and Health Administration” (MSHA) tarafından İnternet’teki sayfasında yayınlanmaktadır (MSHA, 2006). Bu ülkeye ait verilere gerek operatörler tarafından gerekse taşeronlar tarafından yapılan üretim madenciliği, hazırlık tesisleri ve bağımsız karo ve atölye değerleri dahil edilirken büro işlerine ait veriler çıkarılmıştır.

Güney Afrika’ya ait iş kazaları değerleri, bu ülkedeki madencilik sektöründe her türlü üretim ve iş güvenliğinden sorumlu resmi kurum olan “Department of Minerals and Energy” (DME)’nin İnternet sayfasından alınmıştır (DME, 2006). Bu ülke için diğer bir kaynak ise ülkedeki en büyük işletmeleri bünyesinde barındıran ve bu işverenlerin oluşturduğu “Chamber of Mines of South Africa” (CMSA)’dır. Bu oda, kendi maden ocaklarında meydana gelen iş kazalarını İnternet’teki sayfalarından detaylı bir şekilde yıllık bazda yayınlamaktadır (CMSA, 2006).

Polanya ile ilgili verilere resmi bir danışmanlık ve yönetim kurumu olan "State Mining Authority" (WUG) tarafından İnternet sitesinde her yıl yayımlanan değerler derlenmek suretiyle ulaşılmıştır (WUG, 2006). "Minerals Council of Australia" (MCA) Avustralya maden sektörü ile ilgili iş güvenliği ve sağlık performans verilerini hazırlamakta ve kendi İnternet sayfasında düzenli olarak yıllık raporlar şeklinde yayınlamaktadır. Bu raporlar, bu ülkedeki her bir sektör ve eyalete ait en geniş ve kapsamlı bilgileri içermektedir (MCA, 2006).

Hindistan'a ait kaza verileri Biswas (2001)'ın bu ülkedeki maden kazalarının analizine yönelik yaptığı çalışmasından derlenmiştir. Yukarıda bahsi geçen ülkelerin kendi orijinal kaynaklarından bu ülkelere ait yıllık linyit ve taşkömürü üretimi miktarı elde edilemediği durumlarda ABD enerji bakanlığına bağlı "Energy Information Administration" İnternet sayfasındaki dünya kömür üretim tabloları ek bir bilgi kaynağını oluşturmuştur (EIA, 2006).

3 DÜNYA VE TÜRKİYE'DE MADEN KAZA SEYRİ

Maden kaza istatistiklerinin her bir ülkenin kendi içerisinde yıllara göre seyrini veya ülkeler arasındaki göreceli mukayeselerini yapan literatürde farklı araştırmalar bulunmaktadır. Bu araştırmalardan çıkan genel kanı, madenlerde meydana gelen iş kazalarında geçen yüzyılın başından bugüne ivmesi zaman zaman değişmekle birlikte sürekli bir azalmanın olmasıdır (Clanzly, 1979; Marovelli, 1981; Spokes, 1986; Leger, 1991; Ramani ve Mutmanky, 1999).

Clanzly (1979) İngiltere kömür madenciliğinin en başarılı iş güvenliği değerlerinin elde edildiği 1936 ile 1977 yılları arasındaki kaza olaylarını ve yapılan iyileştirme çalışmalarını değerlendirmiş ve şu andaki performansın daha da ileri götürülmesi için alınması gereken tedbirlerin neler olabileceğine, özellikle insan boyutunu dikkate alan çalışmalara ağırlık verilmesine, işçilerin eğitilmesine ve kurslara tabi tutulmasına vurgu yapmıştır. ABD'nin iş güvenliği performansını diğer ülkelerle

karşılaştırdığı araştırmasında Marovelli (1981), kömür üreticisi Avrupa ülkeleriyle kendi ülkesindeki standartların benzerlik ve farklılıklarını vurgulamıştır. Ayrıca ülkeler bazında direk karşılaştırma yapmanın zorluklarından bahsederken, farklı işletim yönteminin uygulanması, farklı damar yapıları ve derinliklerde çalışılması, kaza kayıtlarında farklı uygulamalardan dolayı genelleme yapılmasının yanlış olacağına değinmiştir.

Leger (1991) tarafından Güney Afrika madenlerinde görülen ölüm olaylarının sebeplerinin ve seyrinin incelendiği araştırmada, bin işçi başına isabet eden ölüm oranları 1911-1988 yılları için altın, kömür, elmas ve diğer madenler için ayrı ayrı sunulmuştur. Aynı çalışmada, ölümlü kazalarda görülen temel kaza türleri sınıflanmış ve ülkenin son on yıllık kömür ocakları ölüm oranları İngiltere, ABD, Batı Almanya, Yeni Güney Galler ve Hindistan verileriyle karşılaştırılmıştır.

Murphy (1994), ABD kömür madenciliği ölüm vakalarının azaltılmasına yönelik çeşitli çalışmalar yapmış olan "US Bureau of Mines"ın geçmişteki başarılarına değinmiştir. Bu başarıya ulaşmak için kurumun 1965 ile 1993 yılları arasında yapmış olduğu işçi sağlığı ve iş güvenliği alanındaki çalışmaların genel bir değerlendirilmesi yapılmıştır.

Kleczek ve ark. (1999) Polonya yeraltı maden ocaklarında görülen olumsuzlukları, ocağın jeolojik yapısından, ocak ortamından ve kullanılan teknolojiden kaynaklanan sebepler şeklinde üçe ayırmış ve 1989-1998 yılları arasındaki ağır yaralanma ve ölüm vakalarının seyrini bu üç grup altında toplayarak incelemiştir.

Ülkemiz maden kazalarının tarihsel seyrini inceleyen çalışmalar başlıca ikiye ayrılmıştır. İlk gruba giren çalışmalarda, Zonguldak Taşkömürü Havzasında gerçekleşen kazalar incelenmiştir (Buzkan ve Buzkan, 1990; Arıoğlu ve Arı, 1990; Akçın ve Hamarat, 1994). Buzkan ve Buzkan (1990) havzada meydana gelen ve üretim işçisinin maruz kaldığı ölümlü ve yaralı sayısının 1970-1988 yılları arasındaki değişimini ve kaza türlerine göre yüzdelere vermiştir. Arıoğlu ve Arı

(1990) TTK ocaklarında 1941 ile 1985 yıllarında kaydedilen tüvanan üretim, ölü sayısı ve yaralı sayısı grafiğini sunmuştur ve üretim miktarı ile yaralı sayısı arasında çok yüksek bir korelasyon elde edilmiştir. Akçın ve Hamarat (1994) TTK' da meydana gelen iş kazalarının oluş yerine ve oluş şekline göre dağılımını 1989-1992 yılları için belirlemiştir.

İkinci gruba giren çalışmaların temelini ise TKİ ve buna bağlı müesseselerden elde edilen kaza verileri oluşturmaktadır (Köse ve ark., 1990; Bozkurt, 1993; Can, 1994; İstanbulluoğlu, 1999). Köse ve ark. (1990) çalışmasında 1987 ve 1988 yılındaki GLİ Tunçbilek bölgesi yeraltı işletmelerindeki kaza istatistiklerinden faydalanmıştır. Bu kazaların haftanın günlerine, günün saatlerine, kazalının yaşına, kazalının unvanına göre dağılımları analiz edilmiştir.

Bozkurt (1993) tarafından OAL kömür işletmesinin yedi yıllık (1985-1991) kaza verilerinden yararlanılarak çeşitli yönlerden istatistiksel analizi (kazanın olduğu bölüm, saati, vardiyası, kaza sonucu yaralanma derecesi vb.), en sık meydana gelen ve en fazla zarar veren iş kazasının nedenlerinin "İş Güvenliği Analizi" yöntemi ile belirlenmesine yardım edecek kaza analizi çalışması yapılmıştır.

Can (1994), TKİ kurumuna bağlı, ülkemizin değişik yerlerinde faaliyet gösteren müesseselerinde 1980-1992 yılları arasında yeraltı ve yerüstü ocaklarında meydana gelen iş kazalarının genel bir istatistiksel analizini yapmıştır. Ayrıca 1987-1992 dönemi içinde günlere, aylara, vardiya saatlerine, kazalanan uzuvlara, yaş gruplarına, kaza sıklık ve ağırlık oranlarına göre iş kazalarının değerlendirilmesi yapılmıştır.

İstanbulluoğlu (1999), 1984-1999 yılları arasında TKİ Kurumu'nda meydana gelen iş kazalarının istatistiklerini çalışmasında sunmuş ve bu verilerin zamana bağlı değişimlerini ölü sayısı veya kaza sayısı şeklinde grafiğe dökmüştür. Son 16 yılda, kurum genelinde yıllık kaza sayısında beş kat, kaza sıklık oranlarında üç kat azalmalar görülürken, ölümlü kaza sayılarının azaltılmasında ise istenilen başarıların elde

edilemediği vurgulanmıştır. Ölümlü vakaların daha çok yerüstü işletmelerinde görüldüğü ve bunun %36'nın trafik kazalarından kaynaklandığını belirtmiştir.

4 KAZALARIN KARŞILAŞTIRILMASI VE YORUMLANMASI

Her bir milyon çalışma saatine denk düşen ölü sayısı ve yaralı sayısını esas alan, ölümlü sıklık oranı (ÖSO) ve kazalı sıklık oranı (KSO), dünyada en geniş şekilde kabul gören ve benimsenen, karşılaştırma imkânı sağlayan en uygun niceliksel endekstir (ILO, 1962). İş güvenliği değerlerinin mukayesesinde kullanılan diğer iki gösterge ise her bir milyon ton kömür üretimine (ILO, 1995) ve ocakta çalışan her bin işçiye isabet eden ölü sayısı ve kazalı sayısı ile ifade edilen sıklık oranlarıdır (Leger, 1991). Bu endeksler aşağıda verildiği şekilde hesaplanmaktadır.

- KSO=Kazalı Sayısıx10⁶/Çalışma Saati (1)
- ÖSO=Ölü Sayısıx10⁶/Çalışma Saati (2)
- KSO=Kazalı Sayısıx10³/İşçi Sayısı (3)
- ÖSO=Ölü Sayısıx10³/İşçi Sayısı (4)
- KSO=Kazalı Sayısıx10⁶/Kömür Üretimi (5)
- ÖSO=Ölü Sayısıx10⁶/Kömür Üretimi (6)

Bu çalışmaya esas teşkil eden istatistiki bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir. Ülke verileri derlenirken, sadece bir yıla ait ilgili değerlerle yetinilmemiş, ülkelerin iş güvenliği açısından son yıllardaki içinde bulunduğu durumu daha iyi yansıtması yönünden genelde son on beş yıllık değerlerin ortalaması alınarak analizlere dahil edilmiştir. Bunun yapılmasındaki diğer önemli bir amaç ise kazalı ve ölü sayısındaki yıllık bazda görülebilecek dalgalanmaların bertaraf edilmesidir. Bu sayede, ülkelerin iş güvenliği performansı değişkenlikten arındırılmış şekliyle daha sağlıklı ortaya konabilecektir. Çizelge 1'de verilen değerler söz konusu ülkenin belirtilen yıllara ait ortalama değerlerini yansıtmaktadır.

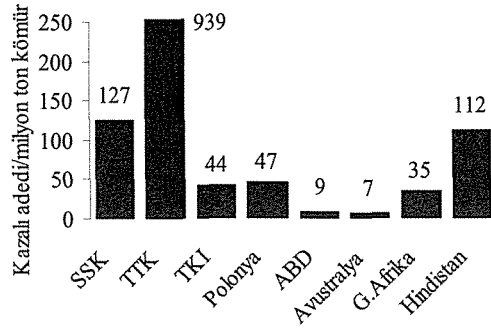
Çizelge 1. İş güvenliği performans verileri.

	Kömür Üretimi $\times 10^6$	İşçi Sayısı $\times 10^3$	Çalışma Saati $\times 10^6$	Kazalı Sayısı	Ölü Sayısı
SSK 1990-2003	58.1	47.0	102.4	7351	176.2
TTK 1990-2005	3.6	20.8	43.8	3418	10.9
TKİ 1990-2005	36.2	17.8	37.7	1588	5.3
Polonya 1990-2004	184.4	219.5	456.6	8757	41.2
ABD 1990-2005	965.2	121.1	220.8	8808	40.1
Avustralya 1990-2004	270.8	24.1	50.1	1889	4.8
G.Afrika 1990-2005	211.7	58.6	128.6	7493	37.3
Hindistan 1990-2000	275.5	522.5	1261.4	30996	163.6

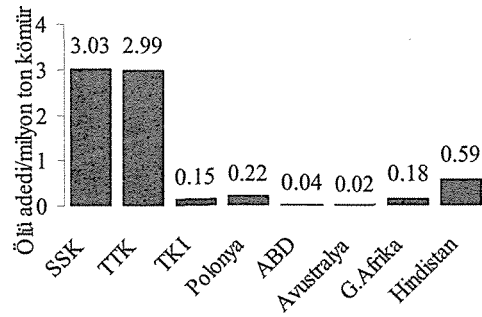
Yukarıdaki veriler kullanılarak hesaplanan her bir milyon ton kömür üretimine isabet eden ölümlü ve kazalı sayısını gösteren grafikler araştırmaya dahil edilen ülkeler için Şekil 1 ve 2'de sırasıyla verilmiştir. Bu şekillerden de anlaşılacağı üzere ABD ve Avustralya'nın iş güvenliği performans oranları Türkiye, Polonya ve Güney Afrika'ya göre gerek yaralı sayısı gerekse ölümlü sayısı bakımından hayli düşük oranlarda çıkmıştır. Ancak bu tür üretim tabanlı oranlar iş güvenliğini mukayese etmekten ziyade daha çok verimliliğin bir göstergesi olmaktadır. Bu yüzden çok gelişmiş ve ileri teknolojiye sahip, hayli mekanize sistemler kullanılarak yüksek üretim kapasitesine ulaşmış ülkeler (ABD, Avustralya, G.Afrika), daha çok emek yoğun ve üretimi az olan ülkelere (Türkiye, Polonya, Hindistan) nispetle iş güvenliği bakımından daha avantajlı konumda bulunmaktadır.

Şekil 3 ve 4'de ise bu altı ülkenin kömür ocaklarında çalışan her bin işçisine isabet eden ölümlü sayısı ile kazalı sayısı verilmiştir. Bu grafiklerde, ilk iki grafiğin aksine, emek yoğun ülkelerin, aynı trendi önceki grafiklerde gösteren üretim yoğun ülkelere nazaran daha iyi hatta bazen mükemmel iş güvenliği performans değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

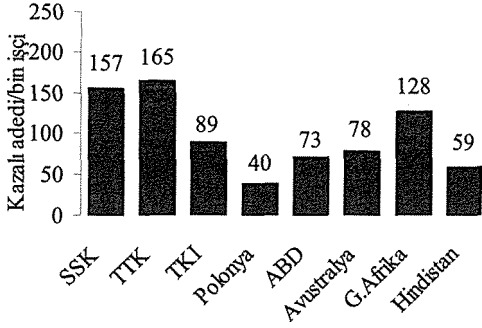
Üretim odaklı ilk iki grafikte TTK ve SSK verileri hariç tutulduğunda en kötü iş güvenliği oranlarına sahip olan Polonya ve Hindistan bu son iki şekilde en iyi değerlerle temsil edilmiştir. TKİ verileri de bu iki ülkenin gösterdiği eğilimin bir benzerini göstererek, bin işçiye isabet eden ölü vakasında Polonya, Avustralya ve Hindistan'dan sonra en iyi değere ulaşırken, bin işçiye denk düşen yaralı sayısında ise ortalarında yer almıştır. SSK değerleri ise her bin işçiye düşen ölü sayısının yüksekliği açısından diğer ülke değerlerinin hayli gerisinde kalmıştır.



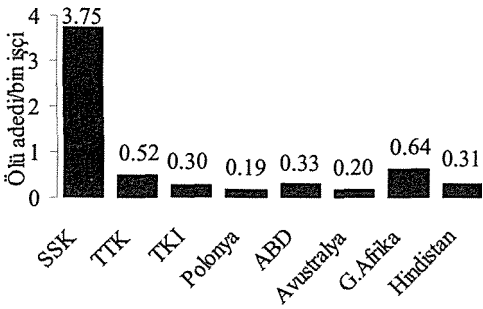
Şekil 1. Bir milyon ton kömür üretimine isabet eden kazalı sayısı.



Şekil 2. Bir milyon ton kömür üretimine isabet eden ölü sayısı.



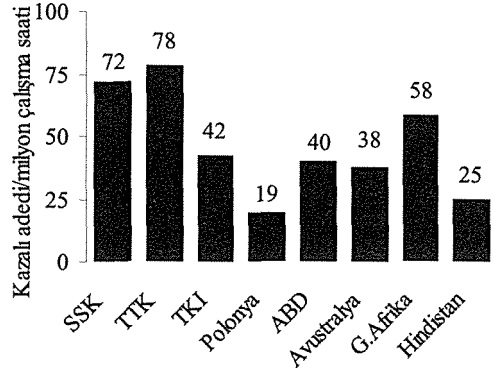
Şekil 3. Bin işçiye isabet eden kazalı sayısı.



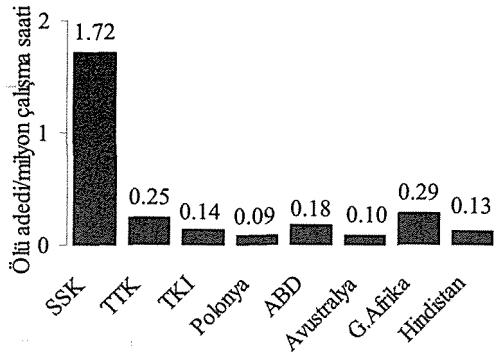
Şekil 4. Bin işçiye isabet eden ölü sayısı.

Söz konusu ülkelerin her bir milyon çalışma saatine denk gelen ölümlü sayısı ve kazalı sayısı oranları sırasıyla Şekil 5 ve 6'da verilmektedir. Aslında bu iki grafik daha önce verilen çalışan işçi sayısına göre hesaplanmış iş güvenliği değerlerinin bir nevi yeniden düzenlenmiş halidir. Eğer bir ülkeye ait toplam çalışma saati verilerine orijinal kaynaktan ulaşılamadığı durumlarda, o ülkeye ait çalışma saati toplamı ocaklarda çalışan işçi sayısı ile bir işçinin yıllık çalışma saatini gösteren 2080 gibi sabit bir değer çarpılması sonucunda bulunmuştur. Bu değer, bir işçinin bir yılda 52 hafta, 5 gün, 8 saat çalıştığı varsayılarak hesaplanmıştır. Bunun sonucunda her iki grafikte benzer eğilimlerin görülmesine neden olmuştur. Üretim yoğun ülkelerin iş güvenliği performansı ilk iki şekilde görülen iyi konularından biraz gerilemiş, emek yoğun ülkelerin ise durumlarını son iki grafikte biraz daha iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Bir milyon çalışma saatine isabet eden kazalı sayısını gösteren veriler dikkate alındığında

ülkelerin benzer iş güvenliği değerlerine sahip olduğu söylenebilir ancak Polonya ve Hindistan en düşük değerlere sahiptir. Bir milyon çalışma saatine isabet eden ölümlü sayısında ise SSK diğer ülke verilerinden hayli yüksekte kalmıştır.



Şekil 5. Bir milyon çalışma saatine isabet eden kazalı sayısı.



Şekil 6. Bir milyon çalışma saatine isabet eden ölümlü sayısı.

Ölümlü vakaların karşılaştırıldığı bütün şekillerde görüleceği üzere genel Türkiye sektörünü temsil eden SSK oranları diğer ülkelere göre hayli yüksek çıkmıştır. Türkiye'deki her bir milyon ton üretime düşen ölümlü sayısı Avustralya'nın yaklaşık 150 katına denktir (Şekil 2). Ancak, yaralanmalar göz önüne alındığında ölüm vakalarında rastlanan büyük farklılıklar gittikçe azalmaktadır. Diğer yönden Türkiye linyit sektörü verileri (TKİ) ölümlü vakaların düşüklüğü açısından gerçekten umut verici iş güvenliği değerlerine ulaşmıştır. Şekil 4 ve

6'da görüldüğü gibi ocakta çalışan bin işçiye ve bir milyon çalışma saatine isabet eden oranlar dikkate alındığında ABD'yi iş güvenliği performansı yönünden geride bırakmıştır. Avustralya, ölümlü sayısı oranlarında gerek üretim başına düşen gerekse çalışma saati bakımından bütün performans değerlerinde en düşük oranlara sahipken, bu ülkenin yaralı sayısında aynı başarıyı gösterememiş olması bazı sorunları gündeme getirmektedir. Polonya ve Hindistan'ın durumu iki farklı yaklaşım tarzının nasıl değişik sonuçlar doğuracağına tipik örneklik teşkil etmektedir. Bu iki ülke, üretim temelli hesaplamalarda TTK ve SSK hariç tutulduğunda en kötü iş güvenliği değerlerine sahipken, çalışan işçi sayısı ve toplam çalışma saati dikkate alındığında, bu çalışmadaki ülkeler arasında Avustralya ile birlikte en güvenli kömür madenciliği sektörüne sahip gözükmektedir.

Yukarıdaki grafiklerden ortaya çıkan esas sonuç ise gerek üretim tabanlı gerek ise çalışan işçi ve çalışma saati yönünden olsun TTK ve SSK iş güvenliği verilerinin en kötü performansı yansıtması olmuştur. SSK, bütün iş kazası veya mesleki hastalığı sonucu ölümler ile tedavilerin devamı esnasında veya daimi iş göremezlik aylığı bağlandıktan sonra, aynı kaza veya meslek hastalığının sonucu olarak ölen vakaları da istatistiklerine dahil etmektedir. Dolayısı ile bu da veri setindeki ölü sayısının hayli artmasına sebep olmuştur. Zaten, ocakta meydana gelen iş kazasının işçi sağlığı ve iş güvenliği mühendisleri tarafından rapor edilme sistemi ile sigorta kurumuna intikal eden ve tazminat talebinde bulunulan vakalar arasında hayli farklılıklar bulunmaktadır. İlkinde, kaza esnasında meydana gelebilecek ölüm ve yaralanmalar sadece istatistiklere dahil edilirken, ikincisinde genellikle hastalık nedenli hastaneye sevk edilen vakalar ve kazadan belli bir süre sonra ortaya çıkan ölüm vakaları veri setine dahil edilmektedir. Ülkemizin iş güvenliği değerlerinin yüksek çıkmasıdaki en temel nedenlerden birisi, genel Türkiye değerlerini temsil eden SSK verilerinin farklılığıdır. Sarı ve ark. (2001) tarafından yapılan bir çalışmada, benzer bir durum Kanada'nın British Columbia eyaleti

için söz konusu olmuştur. Daha çok açık ocak işletmeciliğiyle yapılan üretime rağmen, bu eyalete ait kaza verileri bir tür sosyal güvenlik kuruluğu olan "Workers' Compensation Board of British Columbia"ya intikal eden tazminat taleplerinden derlendiğinden, kazalı ve ölümlü oranı beklenenin hayli üzerinde çıkmıştır.

Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO, 1995) tarafından yapılan ve bir milyon ton üretime isabet ölü ve yaralı sayılarını karşılaştıran bir çalışmada ise Türkiye, dünyada en tehlikeli maden endüstrisine sahip ülke konumunda gösterilmiştir. Bu çalışmanın en büyük handikabı, Türkiye'nin sadece yeraltı taşkömürü ocaklarından elde edilen verilerle temsil edilmiş olmasıdır. Ancak, hepimizin bildiği gibi Zonguldak Taşkömürü Havzası Türkiye'nin en zor madencilik koşullarına sahip bir bölgesidir. Metan gazı içeriği bakımından zengin, çok düzensiz ve bol miktarda fayların kestiği damarlardan oluşan jeolojik yapı uygun ve verimli bir yöntemin uygulanmasına imkân vermediği gibi yüksek yatırım gerektirdiği için mekanizasyona gidilememesi ve eski teknoloji kullanımı gibi değişik faktörler bu ocakları tamamen emniyetli ve verimli bir şekilde işletilemez hale getirmektedir. Bununun sonucunda, bahsi geçen araştırmada TTK iş güvenliği oranları en kötü değerlerle anılır olmuştur. Bu kuruma ait iş güvenliği değerlerinin uluslar arası karşılaştırmalar yapılırken Türkiye'nin tamamını temsil edecek şekilde kullanılması yanlış yorumlara sebebiyet vereceğinden, ülkemizdeki diğer kurumlarca başarılı olmuş olan olumlu seviyelerin gölgelenmesi söz konusu olacaktır. Bundan dolayı bu çalışmada, Türkiye'nin iş güvenliği istatistiklerinin üç farklı kurumla temsil edilmesine çalışılmıştır.

5 SONUÇ

Türkiye ile diğer ülkelerin kömür madenciliği sektörü iş güvenliği değerlerinin ham şekliyle bire bir karşılaştırılmasında bazı güçlükler söz konusu olmuştur. Her bir ülkenin kendine ait kültürü, tüzük ve yönetmeliklerden kaynaklanan kazaların rapor edilme şekli ve farklı iş güvenliği tanımlaması yapılmasından dolayı veriler

üzerinde bazı düzenlemelere gidilmiştir. Bunu yaparken, standart bir form oluşturulmaya çalışılarak, bu farklılıkların mümkün olduğunca giderilmesine çalışılmıştır. Karşılaştırmalar yapılırken farklı iş güvenliği endekslerinin kullanılması, ülkelerin iş güvenliği durumları hakkında değişik sonuçlara ulaşılmasına neden olmuştur. Bunun giderilmesine yönelik, uluslar arası kıyaslama yapmaya imkan tanıyacak ve ülkelerin içinde bulunduğu durumu en sağlıklı şekilde yansıtacak standart bir iş güvenliği ölçeğine ve kaza raporlama sistemine gereksinim duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

- Akçın, N.A. ve Hamarat, E. 1994. TTK'da meydana gelen iş kazası ve meslek hastalıklarının hukuki ve mali durumu. *Türkiye 9. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, s.151-165.
- Aroğlu, E. ve Arı, Ş. 1990. Zonguldak Havzasındaki İş Kazalarının İstatistiksel Analizi ve AT Ülkeleri ile Karşılaştırılması. *Türkiye 7. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, s.323-345.
- Biswas, A. 2001. Analysis of mine accidents in India. *J. Mines Metals Fuels*, 49:50-57.
- Bozkurt, R. 1993. Application of the Modern Accident Prevention Techniques to O.A.L. Mines (T.K.I). Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara.
- Buzkan, S. ve Buzkan, İ. 1990. TTK Zonguldak Taşkömürü Havzasındaki Ölüm Oranlarını Etkileyen Faktörler. *Türkiye 7. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, 347-361.
- Can, İ. 1994. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Kömür Ocaklarında İş Kazaları Analizi ve Verimliliğe Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara
- Clanzy, T.K. 1979. Safety in Mines - Past Present and Future or Can We Profit from Experience? *Mining Technology*, 61:369-381.
- CMSA, 2006. Chamber of Mines of South Africa. Homepage: <http://www.bullion.org.za/>.
- DIE, 2005. Türkiye İstatistik Yıllığı, Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara.
- DME, 2006. Department of Minerals and Energy, S. Africa. <http://www.dme.gov.za/>.
- EIA, 2006. Energy Information Administration. Department of Energy, USA. Homepage: <http://www.eia.doe.gov/>.
- ILO, 1962. Statistics of industrial injuries. ILO Tenth International Conference of Labour Statisticians, Geneva.
- ILO, 1995. Recent Developments in the Coal Mining Industry, Coal Mines Committee, 13th Session, Report I, ILO, Geneva.
- Istanbuluoğlu, Y.S., 1999. 1984-1999 yılları arasında TKİ kurumunda olan iş kazalarının istatistiksel değerlendirilmesi. *Madencilik*, 38 (4):29-41.
- Kleczek, Z., Malec, M. ve Szczerbinski, J. 1999. Classification of Hazards in Underground Mines-Set Against a Background of Experience in the Polish Mining Industry. *Coal International*. 247 (4):141-143.
- Köse, H., Şenkal, S. ve Aközel, A. 1990. GLİ Tunçbilek Bölgesi yer altı işletmelerindeki kaza istatistikleri. *Türkiye 7. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, sayfa 363-381.
- Leger, J.P. 1991. Trends and Causes of Fatalities in South African Mines. *Safety Science*, 14:169-185.
- Marovelli, R.L., 1981. A Comparison of American Safety Performance to Other Countries. *Mining Congress Journal*, 67(8):45-51.
- MCA, 2006. Minerals Council of Australia, Safety and Health Performance Report of the Australian Minerals Industry 2004-05. Homepage: <http://www.minerals.org.au/>.
- MSHA, 2006. Mines Safety & Health Administration, Department of Labor, USA. Homepage: <http://www.msha.gov/>.
- Murphy, J.N., 1994. Coal mine health and safety research in the USA - the achievements of the US Bureau of Mines. *Coal International*, 242(6):219-226.
- NIOSH, 2005. NIOSH Mining Safety and Health Research, Mining Fact Sheets. Homepage: <http://www.cdc.gov/niosh/mining/statistics/>.
- Sarı, M., Karpuz, C. ve Selçuk, A.S., 2001. An international comparison of Turkish coal mining industry safety performance. *Proc. of 10th Int. Symp. on Mine Planning and Equipment Selection*, New Delhi, India, pp.917-922.
- Spokes, E.M. 1986. New look at underground coal mine safety. *Mining Engineering*, 38 (4):266-270.
- SSK, 2003. SSK İstatistik Yıllığı, SSK Genel Müdürlüğü, Ankara.
- TKİ, 2005. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, 1987-2005 Yılları Arasındaki İş Kazaları, Ankara.
- TTK, 2006. Türkiye Taşkömürü Kurumu, Homepage:<http://www.taskomuru.gov.tr/>.
- WUG, 2006. State Mining Authority, Poland. Homepage: <http://www.wug.gov.pl/>.

Eğitim
Education



Maden Mühendisliğinde Etik Eğitimi

Ethics Education in Mining Engineering

H. Gerçek

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

ÖZET Bildiride, maden mühendisliğinde etik eğitimi çeşitli yönleriyle tartışılmıştır. Öncelikle, konunun kısa bir tarihçesi verilmiş ve günümüzdeki uygulamalara değinilmiştir. Sonra, tipik bir Mühendislikte Etik dersi öğretim izlencesi (müfredat programı) ele alınarak, "TMMOB Mesleki Davranış İlkeleri" çerçevesinde değerlendirmeler yapılmış, mühendislik etiği ile ilgili tipik örnek olaylar özetlenmiştir. Ayrıca, etik sorunların çözümlenmesinde kullanılan yaygın bir yaklaşım açıklanmış, bazı temel ve tartışmalı kavramlar üzerinde durulmuş ve eğitim çalışmalarında yararlı olabilecek öneriler sunulmuştur.

ABSTRACT In the paper, various aspects of ethics education in mining engineering are discussed. First, a brief historical account of the subject is presented and current practices are mentioned. Then, by considering a typical outline of course of study, evaluations have been made within the framework of "UCEAT Code of Professional Ethics", and typical case studies related to engineering ethics have been summarized. In addition, a method widely used for analyzing ethical problems has been explained, some fundamental and ambiguous concepts have been examined, and recommendations that can be helpful in educational efforts have been presented.

1 GİRİŞ

Günümüzde, mühendislik eğitimi veren tüm programlarda, mezunların bir etik ikilemi ya da sorunu irdeleyebilme ve ona etik çözüm bulabilme yeteneklerini geliştirmeleri beklenmektedir. Bu nedenle, son yıllarda, mühendislik etiği dersleri lisans düzeyi eğitim programlarında yer almaya başlamıştır.

Aslında, mühendislik etiği dersinin programlara alınması gereksinimi, uluslararası ya da ulusal akreditasyon kuruluşlarının zoru ile değil de çağdaş mühendisin bilgi dağarcığının zorunlu bir unsuru olmasından kaynaklanmaktadır. Profesyonel hayatta, etik dersler genellikle önemsenmeyen bir hususun ters gitmesi sonucu öğrenilmektedir

(Harris vd. 1999). Ancak, "teknik konularda olduğu kadar, etik hususlarda da hata yapmaya izin veren en güvenli ortamın sınıf olduğu (Davis 1999)" gerçeği göz önünde bulundurularak, öğrencilerin, işlerin ters gitmeden önce etik konular üzerinde düşünmeye başlaması arzulanmaktadır. Mühendislik programlarından, öğrencilerine, daha mezun olmadan, etik hususları ve kaygıları tanıtmaları istenmektedir. Aslında bu, bir bakıma, koruyucu hekimliğe benzeyen "önleyici etik" (Harris vd. 1999) yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda, yapılan veya yapılmayan eylemler sonucunda ileride ortaya çıkabilecek daha ciddi sorunların sezilenmesine çalışılmaktadır.

Bildiride, genel olarak mühendislik lisans programlarındaki ve özel olarak da maden mühendisliğindeki, etik eğitimi konusunda bilgiler sunulmaktadır.

2 TARİHÇE VE MEVCUT DURUM

Akademik çevrelerde iyi bilindiği gibi; ABET (*Accreditation Board for Engineering and Technology*), ABD’de fen, mühendislik, bilgisayar ve teknoloji konularında eğitim veren yükseköğretim programlarının akreditasyonunu yapan bağımsız bir kuruluştur. ABET akreditasyonu, bir yükseköğretim programının, öğrencilerini hazırladığı mesleğe ait nitelik standartlarını sağladığının bir güvencesi olarak kabul edilmektedir. 1932’de kurulmuş olan ABET, halen 28 mesleki ve teknik dernek veya odanın bir federasyonu olarak işlevini sürdürmekte olup, ülke genelinde 550 yükseköğretim kurumundaki 2700 programın akreditasyonundan sorumludur (ABET 2007).

ABET, 1980’li yılların ikinci yarısından bu yana mühendislik programlarında etik eğitimine önem verilmesini göz önünde bulundurmaya başlamıştır. ABET’in Mühendislik Akreditasyon Komisyonu (EAC), mühendislik programlarından öğrencilerinde “mühendislik mesleğinin ve uygulamalarının etik karakteristiklerine ait bir anlayışın geliştirilmesi” için ciddi bir çaba sarf etmelerini istemekteydi (Harris vd. 1999). ABET’in mühendislik eğitimiyle ilgili olarak son yıllardaki en dikkati çeken girişimi olan Mühendislik Ölçütleri 2000 (*Engineering Criteria 2000*) ilk kez taslak halinde 1995 yılında yayımlanmış, 1997’de ABET tarafından benimsenmiş ve, 2001 sonbahar döneminden başlamak üzere, tüm mühendislik programlarının bu ölçütlere göre değerlendirilmesine karar verilmiştir (Herkert 1999). Bu ölçütlerin ifadesinde zamanla ufak bazı değişiklikler yapılmışsa da, "program çıktıları ve değerlendirme" başlığı altında sayılan ve etik eğitimi gereksinimini vurgulayan ölçüt aynen korunmuştur. Mühendislik programlarının akreditasyonu için ölçütlerin sunulduğu 2007-08 dönemine ait yayında (EAC 2006),

lisans düzeyi programlarda aranan genel ölçütlerden biri olarak, mühendislik programlarından “...öğrencilerinin....mesleki ve etik sorumluluk anlayışına ulaştıklarını” gösterebilmeleri istenmektedir.

Başlangıçta, “2000 Ölçütleri”nin getirdiği bu zorunluluğun mühendislik bölümlerinde yeni ders açılması konusunda bir sıkıntıya neden olduğu söylenebilir. Çünkü, ABET tarafından akreditasyonu yapılmış programların lisans ders kataloglarında 1998’de yapılan bir incelemeye göre; kurumların % 70’inde etikle ilgili bir ders zorunluluğu bulunmamaktaydı ve mühendislik mezunlarının % 80’i de tüm öğrencileri için hiç bir etik dersi zorunluluğu olmayan yükseköğretim kurumlarından mezun oluyordu (Herkert 1999). Ayrıca, geriye kalanların aldıkları etikle ilgili derslerin önemli bir kısmı mühendislik etiği ile ilgili olmayıp felsefe eğitimi kapsamında verilen derslerdi. Günümüzde, ABET akreditasyonunu alabilmek için, mühendislik programlarının bünyesinde mühendislik etiği ile ilgili bir dersin bulunması zorunluluk haline gelmiştir.

Ayrıca, son yıllarda, lisansüstü eğitimi ve araştırmalarındaki etik hususların da incelenmeye başlandığı görülmektedir. Konunun güncelliğini halen koruduğunun göstergelerinden biri de, ABD Ulusal Bilim Vakfı’nın (*National Science Foundation*), fen ve mühendislik dallarındaki etik eğitimi konu alan araştırmaları parasal olarak desteklemeyi sürdürmesidir. Örneğin; bu kapsamdaki araştırmalara 2006’da 1,55 milyon dolar, 2007’de ise 1,85 milyon dolar ayrılmıştır (NSF 2006, 2007).

Türkiye’de, ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü’nün 1995-96 döneminden başlamak üzere “Mühendislikte Etik” (*Ethics in Engineering*) dersini programına alarak, bu konuda bir öncülük yaptığı bilinmektedir.

Ülkemizde, ABET’in ulusal karşılığı olarak Mayıs 2002’de kurulan MÜDEK (Mühendislik Değerlendirme Kurulu), Mühendislik Dekanları Konseyi tarafından oluşturulmuştur. MÜDEK’in ölçütleri de, ABET ölçütlerinden dilimize çevrildiği için, etik eğitiminin mühendislik programlarında yer alması zorunluluğunu benzer şekilde

vurgulamaktadır. MÜDEK'in hazırladığı, 2006-07 dönemine ait "Mühendislik Programlarının Değerlendirme Ölçütleri" başlıklı yayında, genel ölçütlerden üçüncüsü olan "program çıktıları ve değerlendirme" kısmında, "Mühendislik programları, mezunlarının mesleki ve etik sorumluluk bilincine sahip olduklarını kanıtlamak zorundadır" denilmektedir (MÜDEK 2006).

Aslında, 2003 yılında TMMOB tarafından düzenlenen II. Mühendislik ve Mimarlık Kurultayı'nda bu hususun altı çizilmekteydi. Kurultayı'daki Mesleki Davranış İlkeleri oturumunda alınan 2 No.'lu kararda "... bilgi ve düşünce zenginliği yaratmak, yaşam kültürü düzeyini yükseltmek, etik ikilemleri tartışma yeteneğini geliştirmek için mühendislik ve mimarlık lisans eğitiminin 'etik' ile ilişkili konularla zenginleştirilmesi yönünde çalışmalar yapılması öngörülmüştür" (Ertem 2004).

Mühendislik öğrencilerini mesleki davranış ilkeleri ve etik kurallar konusunda, mevcut meslek dersleri bünyesinde yapılacak düzenlemelerle, "dolaylı olarak" eğitmek mümkünse de, bu tür bir yaklaşımın bazı sakıncaları vardır. Örneğin; farklı derslerde gereksiz tekrarların, incelenen konulardaki örtüşmelerin ve, öğrencilerden kaynaklanan, farklı bakış açılarının ortaya çıkması kaçınılmaz olacaktır. Aslında, bağımsız bir "mühendislik etiği" dersinin sunulması, söz konusu sakıncaları ortadan kaldıracak dolaysız bir yaklaşımdır.

Ülkemizde, tümü birinci eğitimde faaliyet gösteren 16 maden mühendisliği bölümü göz önünde bulundurularak yapılan bir incelemeye göre, 3'ü 2006-07 akademik yılından başlamak üzere, yalnızca 7 bölümün ders programında "mühendislik etiği" adı altında ders sunulmaktadır (Çizelge 1). Bir bakıma, ülkemizdeki maden mühendisliği bölümlerinin çoğunun programlarında mühendislik etiği konulu bağımsız bir ders bulunmamaktadır. Ancak, yakın gelecekte bu konuda olumlu değişiklikler olması beklenmektedir. Nitekim, yapılan sormacada (ankette), birçok bölüm bu yönde görüş bildirmiştir. Bu nedenle, bu tür derslerin geliştirilmesinde yardımcı olabilecek bazı

düşüncelerin ve yaklaşımların tartışılması yararlı olacaktır.

Çizelge 1. Etik dersi verilen bölümler ve 2006-07 güz yarıyılı başındaki durum.

Bölümün Bağlı Olduğu Üniversite	Başlangıç	Sınıf	Haftalık Saati (Kredisi)
Dokuz Eylül Ü.	2006-07	*	2 (2)
Dumlupınar Ü.	2006-07	2	3 (3)
Hacettepe Ü.	2004-05	1	**
İstanbul Teknik Ü.	2003-04	4	1 (1)
Orta Doğu Teknik Ü.	1995-96	4	1 (1)
Selçuk Ü.	2006-07	4	2 (2)
Zonguldak Karaelmas Ü.	2002-03	2	2 (2)

(*) Sınıf zorunluluğu yok

(**) Maden Mühendisliğine Giriş ve Mühendislik Etiği dersi kapsamında toplam 4 saat ayrılıyor.

3 MÜHENDİSLİK ETİĞİ DERSLERİ

3.1 Amaçlar

Hastings Center, 1969'da ABD'de kurulan ve biyoetik konularında araştırma yapan bağımsız bir kuruluştur. Bu merkez tarafından desteklenen ve yüksek-öğretimdeki etik programlarının incelendiği iki yıllık bir araştırmaya göre, etik eğitiminin amaçlarını aşağıdaki beş maddede toplamak mümkündür (Harris vd. 2000):

- Öğrencilerin etik konulardaki hayal gücünü uyarmak.
- Öğrencilerin etik konularını tanımalarına ve ayırt etmelerine yardımcı olmak.
- Öğrencilerin etik konularda çözümleyici beceriler geliştirmesini desteklemek.
- Öğrencilerde sorumluluk bilincinin gelişmesine katkıda bulunmak.
- Etik açıdan belirsizliklerle ya da fikir birliği olmayan durumlarla hoşgörüyü ve etkin biçimde baş edebilmeleri için öğrencilere yardım etmek.

Mühendislikte etik eğitiminde de bu amaçların benimsenmesi gerekmektedir.

3.2 Öğretim İzlenesi

Bir mühendislik etiği dersinin öğretim izlenesinde (müfredat programında) ne gibi konuların bulunması gerektiği, ilke olarak, aslında dersi hazırlayan öğretim elemanının tercihinine bağlı olmakla birlikte, bazı konuların ve kavramların mutlaka işlenmesi zorunluluğu vardır. Örneğin; böyle bir derste, "TMMOB Mesleki Davranış İlkeleri"ne değinmemek düşünülemez. TMMOB 38. Genel Kurulu'nda oybirliği ile kabul edilen bu ilkelerin oluşturulma süreci Ertem (2004) tarafından detaylı olarak anlatılmaktadır. Söz konusu ilkelerin, mümkün olduğunca dersin ilk aşamalarında verilmesi, sonraki haftalarda işlenecek konuların irdelenebilmesi için yardımcı olacaktır. Aşağıda tipik bir öğretim izlenesi örneği sunulmakta olup, konular yazarın tercihinine göre sıralanmıştır.

- Etik Kavramları ve Kuramları: Etik ve mühendislik ile ilgili temel kavramlar, tanımlar; etik kuramları.
- TMMOB Mesleki Davranış İlkeleri: Mühendislerin topluma ve doğaya karşı, hizmet verdikleri gerçek ya da tüzel kişilere karşı, meslekleri ile meslektaşlarına karşı ve kendilerine karşı sorumlulukları (TMMOB 2004).
- Meslek ve İş Etiği: Çalışma hayatındaki, işveren ve çalışan ilişkilerindeki etik ilkeler; yöneticilerin sorumlulukları.
- Etik Problemlerinin Çözülmesi: Etik sorunların irdelenmesi ve olası çözüm seçeneklerinin değerlendirilmesinde kullanılan yaklaşımlar.
- Çevre Etiği: Mühendislik girişimlerinin çevreye etkileri, sürdürülebilir kalkınma, çevreyi koruma sorumluluğu.
- Öğrencilerin ve Öğretim Elemanlarının Etik Davranış İlkeleri: Öğrencilerin akademik hayatta, öğretim elemanlarıyla ve diğer öğrencilerle olan ilişkilerinde uyması gereken etik kurallar. Öğretim

elemanlarının sorumlulukları, öğrencilere karşı davranış ilkeleri.

- Bilimsel Araştırmalarda ve Yayınlarda Etik: Kusurlu davranışlar (disiplinsiz araştırma, yinelenen yayın, sahtecilik, uydurmacılık, aşırı macılık) ve nedenleri; eğitimde sorunlar ve kopyacılık; bilim etiğinde temel ilkeler (TÜBA Bilim Etiği Komitesi 2002).
- Etik Sorunların Ele Verilmesi: Tanımlar, gerekli koşullar, eleverenlerin karşılaştığı sıkıntılar ve önlemler, sorunu önleyici yaklaşımlar (Gerçek 2005).
- Mühendislik Etiği Örnek Olayları

Derste işlenebilecek örnek olaylar ile ilgili bazı bilgi ve görüşlere bu bölümün sonunda değinilecektir.

3.3 Yararlı Kaynaklar

Mühendislik etiği derslerinde eğitimcilere yardımcı olabilecek birçok ders kitabı bulunmakla birlikte; Flederman (1999), Harris vd. (1999), Martin ve Shinziger (2005) ve Baura (2006) tarafından yazılan dördü, hem içerik hem de güncellik açısından diğerlerinden ayrılmaktadır.

Ayrıca, iki önemli süreli yayın (periyodik) mühendislik etiği hakkında yararlı ve ilginç makaleleri yayımlamaktadır. Bunlar:

- *Science and Engineering Ethics*, Springer Netherlands, ISSN: 1353-3452 (Print); 1471-3452 (Online)
- *Technology in Society*, Elsevier, ISSN: 0160-791X

Bunlara ek olarak, bazı İnternet kaynakları da mühendislik ve fen bilimlerindeki etik hususlarda öğretim elemanlarına ve öğrencilere çok yardımcı olacaktır. Bu kaynakların başlıcaları aşağıda sıralanmıştır:

- Texas A&M Üniversitesi bünyesindeki: <http://ethics.tamu.edu/>
- Case Western Reserve Üniversitesi tarafından desteklenen etik merkezi: <http://www.onlineethics.org/>
- Texas Tech Üniversitesi bünyesindeki: www.niee.org/murdoughCenter/

3.4 Örnek Olaylar

Mühendislik etiği eğitiminde, yapıcı etik çözümlenmelerle uğraşabilmemiz için gerekli yetenekleri en kolay şekilde örnek olay incelemeleri sayesinde geliştirebiliriz (Harris vd. 1999). Örnek olaylar, etik sorunların giderilmesi için olası seçeneklerin sonuçlarını düşündürerek ahlâki hayal gücünü uyarırlar. Örnek olaylar sayesinde;

- etik sorunların varlığını algılamayı ve onları çözmek için gerekli analitik becerileri geliştirmeyi öğreniriz;
- bir kısım etik irdelemelerde, çözülemeyen belirsizlikler olabileceğini anlarız;
- bazı durumlarda da, akılcı ve sorumluluk sahibi profesyonellerin bile neyin doğru olduğu konusunda çelişebileceğinin farkına varırız (Harris vd. 1999).

Mühendislik etiği eğitiminde değinilecek örnek olaylar gerçek ya da kurgusal olabilir. Gerçek örnek olayların, öğrencinin de bağımsız olarak araştırabileceği, kapsamlı ve detaylı bir şekilde belgelenmiş ve irdelenmiş olaylardan seçilmesinde yarar vardır. Bunlara en iyi bilinen örnekler olarak şu olayları verebiliriz:

- Uzay mekiği Challenger kazası
- Ford-Pinto modeli otomobillerin geri çağırılması
- Kansas City, Hyatt Regency otel faciası

Kurgusal örnek olayların ise zekice hazırlanması gerekir. Öğrencinin hayal gücünü uyaracak, gerçekçi senaryoların mühendislerin mesleki davranış ilkeleriyle ilişkilendirilmesi çok yararlı olacaktır. Bu tür örnek olayların karmaşık ve çok yönlü olarak kurgulanması, meslek hayatında her şeyin siyah-beyaz olmadığını, gri tonların ağırlıkta olduğunu vurgulayacaktır.

Örnek olaylarla ilgili olarak karşılaşılan oldukça düşündürücü bir husus, ülkemizden verebileceğimiz yeterli düzeyde belgelenmiş ve yasal olarak kanıtlanmış mühendislik etiği örnek olayların çok az olmasıdır. Yasal sakıncalar nedeniyle, yerli örnek olaylar ancak kişi, firma ve kurum isimleri verilmeden tartışılabilmektedir.

4 ETİK PROBLEMLERİN ÇÖZÜMÜ

Etik problemlerin çözümü bazen çok kolay, bazen de çok zordur. Etik kurallara açık bir şekilde aykırı olan durumlar, bu kurallar iyi bilindiği zaman, genellikle sorun yaratmaz. Ayrıca, etik kurallar arasında yer almayan ama genel ahlâk kurallarının çığnendiği durumlar da kolaylıkla tanımlanabilir. Asıl sorun yaratan, yaygın bilinen ahlâk kuralları arasında yer almayan, mesleki etik kurallarında da doğrudan değinilmemiş durumlardır. Bu çerçevede, aşağıda derlenen bilgilerde, yoğun olarak Fledderman (1999) ve Harris vd. (1999) kaynaklarından yararlanılmıştır.

Etik problemlerin çözümündeki ilk adım, konuyla ilgili tüm konuları iyice anlamaktır. Bu başarılıncı, problemin çözümü de genelde ortaya çıkmaktadır. Etik sorunların anlaşılmasında rol oynayan başlıca konular üç kısma ayrılır. Bunlar:

- gerçeklere dayanan hususlar,
 - kavramsal konular ve
 - ahlâki konular
- olup, her birinin iyi çözümlenmesi gerekir.

4.1 Gerçeklere Dayanan Hususlar

Karşılaşılan durumlarda bilinen veya bilinmeyen gerçekler vardır. Bunların bazıları etik sorunla doğrudan ilgiliyken, bir kısmı da ilgili olmayabilir. Etik sorunla ilgisi olmayan gerçekler üzerinde fazla durulmamalıdır. Etik sorunla ilgili "bilinen gerçekler" çok iyi değerlendirilmelidir. Öte yandan, konuyla doğrudan ilgili olan ama "bilinmeyen gerçekler" çözüm için çok önemli olabilir. Değerlendirmede kuşkuların veya çelişkilerin olması durumunda, konuyla ilgili bilinmeyen gerçeklerin açığa çıkartılması gerekir.

4.2 Kavramsal Konular

Kavramsal konular, bir fikrin anlamı ve uygulanabilirliğiyle ilgilidir. Genellikle bazı kavramların iyi bilinmemesi ya da doğru tanımlanamaması nedeniyle de çelişkili değerlendirmeler yapılabilir. Özellikle, aralarında çok az fark olan terimler, kavram kargaşasına yol açmaktadır.

Bazen kavram kargaşası kolayca çözümlenebilir. Örneğin; rüşvet ile haraç kavramları, yakın olmakla birlikte, temelde farklıdır. “Rüşvet”; yasal veya ahlâki olarak hak edilmemiş bir ayrıcalık, öncelik veya kolaylığı güven altına almak için gönüllü olarak verilen her türlü mal, para veya hizmettir. “Haraç” ise yasal veya ahlâki olarak hak edilmiş olanı güven altına almak için gönülsüz olarak verilen her türlü mal, para veya hizmet olarak tanımlanır.

Görüldüğü gibi, etik açıdan yanlış olan bu iki davranışın ortak ve ayrılan yönleri vardır. Ancak, her ikisi de “yanlış” davranış oldukları için, sonuçta, bunlardan uzak durulması gerektiği kolayca anlaşılabilir. Bu durumda, “rüşvet” ile “kabul edilebilir hediye” arasındaki ayrım nasıl yapılacaktır? Büyük bir olasılıkla; hediyenin değerinin yükselmesiyle kabul edilebilirliği azalacak ve “sözde hediye” rüşvete dönüşecektir. Bu sınırın nesnel olarak belirlenmesi de zor olabilir; çelişkili değerlendirmeler ve yorumlar ortaya çıkabilir.

Bazen de bir kavramın tanımlanmadan kullanılması çelişkili anlamalara yol açabilir. Örneğin; “çıkar çatışması”nın (*conflict of interest*), “güven duyulan konumda olan birinin, kişisel çıkarlarıyla resmi sorumlulukları arasındaki çatışmalı veya çelişkili durum” olduğunu açıklayabilmek zorunluluğu ortaya çıkar. Bu durumda tipik örnekler çok yararlıdır. Sözgelimi; bir yöneticinin, kurumu için yapılan ihalelerde veya işe alımlarda akrabaları veya dostlarıyla karşı karşıya gelmesi, çıkar çatışması durumuna verilebilecek yaygın bir örnektir.

4.3 Ahlâki Konular

Gerçeğe dayanan konular ile kavramsal konular, mümkün olabildiği kadar halledildikten sonra geriye kalan, duruma hangi ahlâki prensibin uygulanabileceğini belirlemektir. Genelde, ahlâki konuların çözümlenmesi kolaydır. Problem iyi tanımlanınca, hangi ahlâki kavramın uygulanacağı ve doğru kararın ne olduğu ortaya çıkartılabilir.

Örneğin; bir satış temsilcisinin sunduğu “hediye”nin gerçekten bir hediye mi, yoksa rüşvet mi olduğuna karar verilebilirse uygun davranış kolaylıkla belirlenir. Yani, verilenin gerçekten rüşvet olduğunu belirlersek, onun etik olarak kabul edilemeyeceği ortaya çıkar.

Etik bir problemi çevreleyen konular tartışmalı veya çekişmeli ise durum o kadar kolay olmayabilir. Yukarıda özetlenen üç tür husus, etik problemlerin çözümünde göz önünde bulundurulmalıdır.

4.4 Çizgisel Ölçek Yöntemi

Etik sorunların çözümlenmesinde kullanılan teknikler çok fazla olmamakla birlikte, bazen etik ikilemlerin irdelenmesinde bunların kullanılması gerekebilir. Birçok soyut yaklaşımda olduğu gibi, bu yöntemler de her zaman doğru bir sonuca ulaşmayı garanti etmeyebilir. Çizgisel ölçek (*line drawing*) veya akış çizgesi (*flow charting*) gibi görsel unsurlar içeren yöntemler, en kolay öğretilenler arasındadır.

Çizgisel ölçek, uygulanacak ahlâki ilkelerin iyice anlaşıldığı veya açık olduğu, ancak hangi prensibin geçerli olacağı hakkında tereddütler bulunduğu zaman kullanılan bir yöntemdir. Çizgisel ölçek yönteminde, bir ucuna “olumlu örneksem” (pozitif paradigma: hiçbir şüpheye yer bırakmayacak şekilde, ahlâki açıdan kabul edilebilir tipik bir örnek), diğer ucuna da “olumsuz örneksem” (negatif paradigma: hiçbir şüpheye yer bırakmayacak şekilde, ahlâki açıdan kabul edilemez tipik bir örnek) yerleştirilen bir çizgi çizilir. Örnekler, bu iki uç duruma yakınlık derecelerine göre ölçek üzerinde konumlandırıldıktan sonra, göz önünde bulundurulmuş etik sorun çizgi üzerinde uygun bir yere yerleştirilmeye çalışılır. Yakın olduğu uca yakınlık derecesine göre de kabul edilip edilemeyeceğine karar verilir (Fledderman 1999, Harris vd. 1999).

Çizelge 2. Çoklu çizgisel ölçek kullanılarak yapılan bir çözümleme örneği (Harris vd. 1999'dan değiştirilerek).

Problem Tanımı	Bir işletmede maden mühendisi olarak çalışan Ali'nin görevi, yeraltı ocaklarındaki galerilerde kullanılması planlanan kaya saplamalarının özelliklerini belirlemektir. Ali, biraz araştırma ve deneme yaptıktan sonra, "B" firmasının saplamalarının, oldukça yüksek maliyetlerine karşın, çok iyi seçim olacağına karar veriyor. "B" firmasına sipariş verildikten bir gün sonra, firmanın satış temsilcisi Ali'yi ziyaret ederek, Haziran ayında Antalya'da yapılacak olan Madencilik Sempozyumu'na iki kişilik delege kayıt belgesi (her türlü konaklama, yemek ve teknik geziler dahil) ve İstanbul – Antalya gidiş-dönüş uçak biletleri veriyor.			
Etik Sorun	Ali bu hediyeleri kabul ederse, rüşvet mi almış olur?			
Ön Değerlendirme	Rüşvetle ilgili başlıca özellikler	Rüşveti kesinleştiren olumsuz örneksem		
	Hediyenin büyüklüğü Zamanlama Sebeup (verilme nedeni) Karar verme sorumluluğu Saplamanın niteliği Saplamanın maliyeti	Büyük Sipariştten önce Kişisel kazanç Tek başına En kötü En yüksek		
Çizgisel Ölçekler	Özellik	Rüşvet Örnekseni	Çizgisel Ölçek	Rüşvet Değil Örnekseni
	Büyüklik	Büyük	X-----	Küçük
	Zamanlama	Önce	-----X	Sonra
	Sebeup	Kişisel kazanç	---X---	Eğitim amaçlı
	Sorumluluk	Tek başına	X-----	Yok
	Nitelik	En kötü	-----X	En iyi
	Maliyet	En yüksek	X-----	En düşük
Değerlendirme	Problemın verilen hediyeı "rüşvet" olarak gösteren yönleri ağır basmaktadır.			
Olası çözüm*	Verilen hediyeın Ali tarafından kabul edilmeyip; kendi yerine, madencilik firmasında çalışan iki genç mühendisin bilgi ve görgülerinin artırılması için kullanılmasının önerilmesi.			

(*) Bu öneri, çok sayıdaki olası çözümlerden yalnızca biri olup, "sebeup" ve "sorumluluk" çizgisel ölçeklerinde "rüşvet değil örneksenin" ağır basmasını sağlamaktadır.

Bazen etik ikilemi oluşturan unsurlar ayrı ayrı çizgisel ölçeklerde gösterildikten sonra problemin genel bir değerlendirmesine gidilebilir. Çoklu çizgisel ölçek yönteminin uygulanmasına yönelik Harris vd. (1999) tarafından verilen bir örnek, maden mühendisliğine uyarlamak için değiştirilmiş ve Çizelge 2'de sunulmuştur.

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Diğer mühendislik dallarında olduğu gibi, maden mühendisliği programlarında da "mühendislik etiği" derslerinin bulunması artık kaçınılmaz bir zorunluluk haline

gelmiştir. Her bölümün kendi öğrencilerinin gereksinimlerine uygun kapsamda öğretim izlencesi oluşturması, dersin başarısı için önemlidir. Örnek olay incelemeleri açısından yeteri kadar yabancı kaynak bulunmaktaysa da, ülkemizden verilebilecek örnek olaylar konusunda kapsamlı ve belgelenmiş kaynakların azlığı dikkat çekicidir. Bu konuda çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- ABET, 2007. Accreditation Board for Engineering and Technology, <http://www.abet.org/>
Baura, G. D., 2006. *Engineering Ethics – An Industrial Perspective*, Elsevier Academic Press, Burlington, MA, 220 pp.

- Davis, M., 1999. Teaching ethics across the engineering curriculum, www.onlineethics.org/
- EAC, 2006. Criteria for Accrediting Engineering Programs, ABET Engineering Accreditation Commission, <http://www.abet.org/>
- Ertem, İ., 2004. TMMOB Mesleki Davranış İlkeleri TMMOB 38. Genel Kurulu'nda oybirliği ile kabul edildi. *Madencilik Bülteni*, sayı:70, s.13-15.
- Fleddermann, C. B., 1999. *Engineering Ethics*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 135 pp.
- Gerçek, H., 2005. Mühendislikte etik sorunların ele verilmesi. *Madencilik*, cilt: 44, sayı: 4, s. 29-38.
- Harris, Jr., C.E., Pritchard, M.S. and Rabins, M.J., 1999. *Engineering Ethics - Concepts and Cases*, 2nd edn., Wadsworth Publishing Company, Scarborough, Ontario, 377 pp.
- Herkert, J.R., 1999. ABET's Engineering Criteria 2000 and engineering ethics: Where do we go from here? <http://www.onlineethics.org/>
- Martin, M.W. and Schinzinger, R., 2005. *Ethics in Engineering*. 4th edn., McGraw-Hill, New York, 339 pp.
- MÜDEK, 2006. Mühendislik Programlarının Değerlendirme Ölçütleri, <http://mudek.me.metu.edu.tr/>
- NSF, 2006. Ethics Education in Science and Engineering, National Science Foundation, www.nsf.gov/pubs/2006/nsf06524/nsf06624.htm
- NSF, 2007. Ethics Education in Science and Engineering, National Science Foundation, www.nsf.gov/pubs/2007/nsf07541/nsf07541.htm
- TMMOB, 2004. TMMOB Mesleki Davranış İlkeleri. *Madencilik Bülteni*, sayı: 70, s. 16-17.
- TÜBA Bilim Etiği Komitesi, 2002. *Bilimsel Araştırmada Etik ve Sorunları*, TÜBA Yayınları No. 1, Tübitak Matbaası, Ankara, 70 s.

Kaya Deneyleri
Rock Testing



Kayaç Kırılğanlığı ve Delme Oranı İndeksi Arasındaki İlişkilerin Araştırılması

Investigation of the Relations Between Rock Brittleness and Drilling Rate Index

O. Yaralı

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

ÖZET Bu çalışmada; farklı bölgelerden alınan 16 adet kayaç örneği üzerinde laboratuvarda tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı ve delme oranı indeks deneyleri (DRI) yapılmıştır. Kayaçların delme oranı indeksi iki temel laboratuvar deneyi olan kırılğanlık deneyi ve Sievers minyatür delme deneylerine bağlı olarak tayin edilmiştir. Kayaçların gevrekliğini belirlemek için literatürde gevreklik ölçütü olarak kabul edilen iki tane (B1, B2) gevreklik ölçütü ile birlikte yeni bir gevreklik ölçütü kullanılmıştır. Birinci ve ikinci kırılğanlık ölçütleri ile delme oranı indeksi arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Üçüncü ölçütü, DRI arasında üssel bir ilişki bulunmuştur. Bu üçüncü ölçütün, delinebilirlik analizlerinde dikkate alındığında, kırılğanlığın kayaç delinebilirliği üzerindeki etkisi daha açık bir şekilde gözlenebilecektir.

ABSTRACT In this study, uniaxial compressive strength, indirect (Brazilian) tensile strength and drilling rate index (DRI) have been carried out on the rock samples collected 16 different area. The drilling rate index of rocks was assessed on the basis of two laboratory tests, the brittleness test and Sievers' miniature drill test. Three brittleness concepts, which are used two brittleness measurements accepted (B1, B2) in literature, together with a new brittleness concept (B3) were used in order to determine of brittleness of rocks. A meaningful relationships between the measuring brittleness of B1 and B2 and drilling rate index were not found. A exponential relationship between brittleness of B3 and drilling rate index was found. The effect of brittleness on drillability can be clearly observationed by the time the third brittleness concept uses in drillability analyses.

1 GİRİŞ

Galeri veya tünel açmada, geçilecek formasyonda delme hızının ve makina performansının önceden tahmini konusu araştırmacıları uzun süredir meşgul etmektedir. Bugün bu konuda herkesin kabul ettiği bir delinebilirlik tayin yöntemi yoktur.

Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği'nin kayaçların kazılabilirlikleri ve delinebilirlikleri konusunda kurduğu komisyon 1987'de Montreal'de toplanmış, tüm yöntemleri inceleyerek, bir başlık

altında sıralanan deney yöntemleri üzerinde çalışmayı prensip olarak kabul etmiştir. Delinebilirlik tayininde en az bir kaç yöntemin bir arada yorumlanması tavsiye edilmektedir (Bamford et al. 1987).

Delinebilirlik test yöntemlerinin, kayaç delinebilirliğinin saptanmasında kullanılması için belirli özelliklere sahip olması gerekir. Deney yönteminin basitliği, ucuzluğu, sonuçların kısa zamanda elde edilmesi bunlar arasında sayılabilir. En önemlisi, deneyde elde edilen değerlerin

kayacın delinebilirliği konusunda doğru sonuçlar üretmesi ve yöntemin standart olarak uygulanabilir olmasıdır (Baş 1993). Kayaçların dayanım özellikleri, dünyanın her yerinde standart olarak yapılabilir olduklarından uzun zamandır delinebilirlik ölçütlerinin belirlenmesinde kullanılmışlardır. Ancak, tek eksenli basınç dayanımı tek başına, kayacın aşındırıcılık, kırılganlık, süreksizlik gibi özellikleri hakkında yeterli derecede fikir vermemektedir. Son yıllarda yapılan araştırmalar bu değerlerin tek başına kullanılmasının yanıltıcı olacağını göstermiştir (Shariar 1988).

Zonguldak Havzasında yapılan bir çalışmada, kayaçların jeomekanik özellikleri ile burgu hızlarının değişimi istatistiksel olarak irdelenmiş ve en iyi sonuçlar sırasıyla, Shore skeleroskobu sertliği, konik delici değeri, tek eksenli çekme dayanımı, tek eksenli basınç dayanımı, elastisite modülü ve nokta yükü dayanımı değerlerinden elde edilmiştir. Schmidt çekici değerleri ile burgu hızları arasında hiçbir ilişkinin olmadığı gözlenmiştir. Schmidt çekici ile yapılan ölçmelerde elde edilen verilerin arının kırıklı ve çatlaklı oluşu nedeniyle gerçek sertlik değerlerini yansıtmadığı belirlenmiştir (Bilgin 1982).

Rus araştırmacı Protodyakanov tarafından geliştirilen darbe dayanım deneyini, bazı araştırmacılar değişik boyutlarda deney aletleri kullanarak kayaçların delinebilirliklerinin tayini için uygulamışlardır (Tantanand ve Unger 1975).

Kayaçlar kendi aralarında sınıflandırıldığında, örneğin volkanik kayaçlar için darbe dayanım değeri ile basınç dayanımı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir bağıntı ortaya çıkmaktadır (Bilgin 1989).

Delinebilirliğin güvenilir olarak saptanması ancak çeşitli deney yöntemlerinin birlikte uygulanması ile söz konusu olabilir. Ancak, bu yol genellikle pahalı olmaktadır. En güvenilir ve başarılı sonuçları, laboratuvarında spesifik enerji ve aşındırıcılık deneyi gibi özel olarak tasarlanan ve delinebilirliğe etki eden çeşitli özellikleri birlikte irdelleyen deney yöntemleri vermektedir.

Delici makinaların; delme hızlarının, burgu aşınmalarının ve burgu seçiminin belirlenmesinde iyi sonuçlar veren delinebilirliğe etki eden çeşitli özellikleri bir arada irdelleyen delinebilirlik indeksleri geliştirilmiştir. Bu indeks değerlerini elde etmek için özel deney aletleri tasarlanmıştır.

Darbeleri deliciler için bir delinebilirlik indeksi olan kayaç dayanım katsayısı (KDK), delme oranı indeksi (DRI), uç aşınma indeksi (BWI) en yaygın kullanılan indekslerdir.

Kayaç kırılganlığını ölçmek için, literatürde çok sayıda kırılganlık kavramı ve ölçütü kullanılmasına rağmen, delinebilirlik analizlerinde yaygın olarak kabul edilmiş bir kırılganlık ölçütü bulunmamaktadır (Altındağ 2000). Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan üç farklı kırılganlık yöntemiyle delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

2 KIRILGANLIK

Kaya mekaniğinde kırılganlık genelde kayacın yenilmesinden sonraki davranışından (arta kalan dayanım bölümünden) yararlanarak tanımlanmaktadır.

Kayaç kırılganlığının artışı, delme hızının artmasına diğer bir ifadeyle delme veriminin artmasına neden olacağı kabul edilmektedir.

Kırılganlık, araştırmacılar tarafından farklı tanımlanmakla beraber çekmede uzama miktarının az olduğu ve sünümlülük özelliğinin olmaması düşüncesinde birleşmektedirler. Kırılganlığın tersi sünümlülük ise, çekme kuvveti ile kesit alanı küçültülebilen durumu sağlayan mekanik özellik olarak tanımlanmaktadır (Arı 1990). Gehring (1974), bir kazı makinasının randımanının kayaçların kırılganlığına bağlı olduğunu kanıtlamıştır. Kayacın tek eksenli basınç dayanımının çekme dayanımına oranı bunun için bir ölçüt olarak kabul edilmektedir.

Bu çalışmada ele alınan kırılganlık ölçütleri aşağıda verilmiştir.

1-Basınç dayanımının çekme dayanımına oranından kırılganlığın belirlenmesi,

$$B1 = \frac{\sigma_c}{\sigma_t} \quad (1)$$

2- Basınç ve çekme dayanımından kırılma hızının belirlenmesi,

$$B2 = \frac{\sigma_c - \sigma_t}{\sigma_c + \sigma_t} \quad (2)$$

3- Basınç ve çekme dayanımının çarpımından kırılma hızının belirlenmesi (Altındağ 2000),

$$B3 = \frac{\sigma_c \times \sigma_t}{2} \quad (3)$$

3 DELME ORANI İNDEKSİ

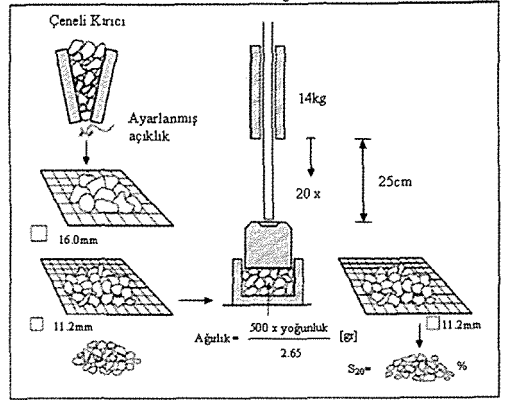
Delme oranı indeksi (DRI) 1943 yılında İsviçre’de N. von Matern ve A. Hjelmer tarafından geliştirilmiştir. Bu deney yöntemi birkaç değişiklikten sonra standart hale gelmiş ve 1950’li yılların sonundan itibaren kayaçların delinebilirliklerinin belirlenmesinde kullanılmaya başlanmıştır.

Bu deney yöntemindeki deney aletlerinin orijinali Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi SINTEF Kayaç ve Zemin Mekanik Laboratuvarında (Norwegian University of Science and Technology (NTNU) SINTEF Rock and Soil Mechanics) bulunmaktadır. Bu deney yöntemi özellikle sert kayaç kazısında kullanılan tam cephe galeri açma makinalarının (hard rock TBM) ve kayaçların darbeli delme yöntemlerinin performans tahmin modellerinde kullanılmaktadır (Armund 1998, Nilssen 2003).

DRI iki temel laboratuvar deneyine bağlı olarak bulunmaktadır. Birincisi; kırılma hızı deneyi (brittleness test) S_{20} , ve diğeri ise Sievers minyatür delme değeri deneyi (Sievers miniature drill-test value), SJ’dir. Delme oranı indeksi kayaç yüzey sertliği için düzeltilmiş kırılma hızı değeri olarak da tanımlanabilir (Dahl 2003).

3.1 Kırılma Hızı Deneyi

Kırılma hızı deneyi (S_{20}), tekrarlanan darbe sonucu kayaçın kırılmaya karşı gösterdiği direnci dolaylı olarak ölçen bir deney yöntemidir. Şekil 1’de kırılma hızı değeri deneyine ait temel şekil verilmiştir. Şekil 2’de ise Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Maden Mühendisliği Maden Mekanizasyonu Araştırma Laboratuvarı’nda bulunan kırılma hızı deney aletinin resmi gösterilmiştir.



Şekil 1 . Kırılma hızı deney düzeneği (Dahl 2003).

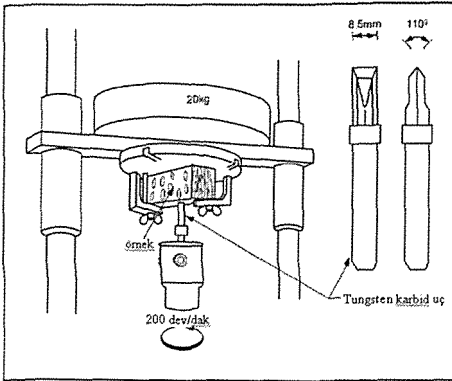


Şekil 2. Kırılma hızı deney aleti.

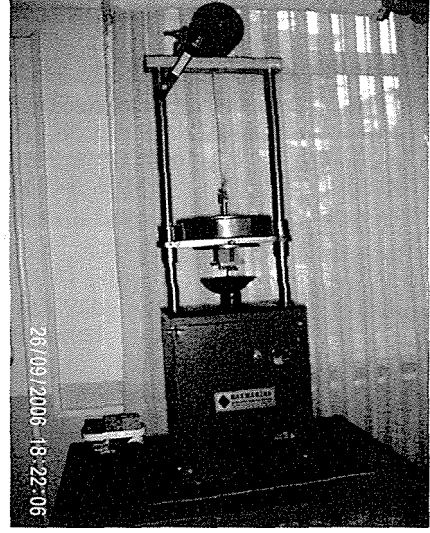
Bu deneyde, kayaç örneği önce çeneli kırıcıdan geçirilerek malzeme kırılır. +16 mm boyutundaki malzeme yoğunluk değerinin belirlenmesinde kullanılır. -16 mm/ +11.2 mm elek aralığındaki malzemeden 2.65 gr/cm³ yoğunluktaki malzeme için 500 gr 'a karşılık gelen örnek hacmi bir havan içine konulur. Ortalama 25 cm yükseklikten 14 kg ağırlığındaki çekiç havan içindeki malzemeye 20 defa düşürülür. 20 kez tekrarlanan darbeye kırılan havan içindeki malzeme 11.2 mm'lik elekten elenir. - 11.2 mm'lik malzeme miktarı deneyin başında havan içine konulan malzemeye ağırlıkça oranlanır. Yüzde olarak bulunan değer kayacın kırılmalık değerine eşittir. Bir kayacın kırılmalık deneyi, aynı koşullarda 3-5 kez tekrar sonucu elde edilen değerlerin ortalaması olarak bulunur (Dahl, 2003).

3.2 Sievers Minyatür Delme Deneyi

Bu deney kayacın yüzey sertliğinin veya delmeye karşı direncin bir ölçüsünü verir. Bu deney yöntemi 1950'li yıllarda H. Sievers tarafından geliştirilmiştir. Şekil 3'de bu deney yönteminin genel hatları gösterilmektedir. Şekil 4'de Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Maden Mühendisliği Maden Meaknizasyonu Araştırma Laboratuvarında bulunan kırılmalık deney aletinin resmi verilmiştir.



Şekil 3. Sievers minyatür delme deneyi düzeni (Dahl, 2003).



Şekil 4. Sievers minyatür delme deney aleti.

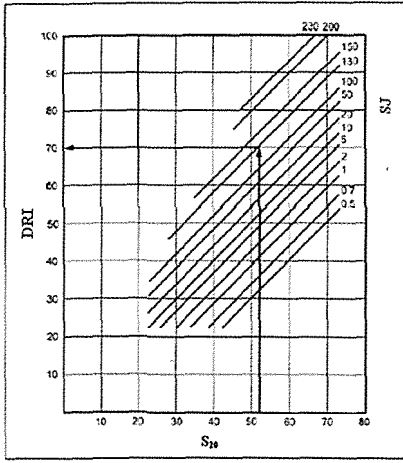
Siever minyatür delme deneyi (SJ), minyatür delme ucunun 1 dakika boyunca 200 devirde döndükten sonra kayaç içinde açılan delik boyunun mm cinsinden ölçülmesidir.

Kayaç örneği 20 kg'lık ağırlık altına sıkılır ve matkabın ucuna deyinmeye kadar dikkatli bir şekilde indirilir. Matkabın ucunun kayacın yüzeyine paralel olmasına dikkat edilmelidir. Matkabın dönme işine başlanır ve delme işi 200 devir tamamlanıncaya kadar deney yapılır. Deney bittiği zaman ağırlık ve örnek yukarı kaldırılır. Örnek gevşetilerek yaklaşık 5-7 mm aralıklı işaretlenmiş delme yeri delinir. Bu işlem her örnek için 4 ile 8 kez tekrarlanmalıdır. Delik boyları bir elektronik mikrometre veya kumpas ile ölçülerek elde edilen değerlerin ortalaması hesaplanır. Ortalama delik boyları 10 ile çarpılarak Sievers minyatür delme deney sonucu bulunur (Dahl 2003).

3.3 Delme Oranı İndeksinin Değerlendirilmesi

Delme oranı indeksi Şekil 5'de verilen diyagram kullanılarak bulunur. Diyagram üzerinde kırılmalık (S₂₀) deneyinden elde edilen değer ve Sievers minyatür delme (SJ) deneyinden elde edilen değerle kesiştirilerek

DRI değeri tespit edilir. Çizelge 1'de DRI'ya ait sınıflama verilmiştir.



Şekil 5. DRI belirleme diyagramı (Dahl, 2003).

Çizelge 1. DRI'nın sınıflaması (Dahl 2003).

Sınıf	DRI
Oldukça düşük	≤25
Çok düşük	26-32
Düşük	33-42
Orta	43-57
Yüksek	58-69
Çok yüksek	70-82
Oldukça yüksek	≥83

4 LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Bu çalışmada 16 farklı kayaç türü üzerinde deneyler yapılmıştır. Araziden alınan kayaç örneklerinin sağlam, çatlaksız ve süreksizlik içermemesine dikkat edilmiştir. Çizelge 2'de örnek alım yerleri ile alınan örneklerin isimleri verilmiştir.

Çizelge 2. Örnek alım yerleri.

No	Örnek Adı	Alındığı Yer
1	Kuvarsit	Norveç-Trondheim
2	Kireçtaşı	Norveç-Trondheim
3	Kumtaşı (açık gri)	Dorukan Tüneli
4	Kumtaşı (koyu gri)	Dorukan Tüneli
5	Granodiorit	Dorukan Tüneli
6	Kumtaşı	TTK Kozlu Müessesesi döküm sahası
7	Silttaşı	TTK Kozlu Müessesesi döküm sahası
8	Kireçtaşı	ZKÜ yeni kapı girişi inşaat alanı
9	Siyenit	Devrek-Yenice
10	Dolomit	Devrek
11	Andezit (Koyu Renk)	Zonguldak - Kdz. Ereğli 34. km
12	Andezit (Açık Renk)	Zonguldak - Kdz. Ereğli 35. km
13	Andezit (Açık Renk)	Zonguldak - Kdz. Ereğli 42. km
14	Diabaz	Devrek-Yenice
15	Alkali granit	Devrek-Yenice
16	Bazalt	Hasan Dağı etekleri

İncelenen kayaçların kırılma deney sonuçları ile Sievers minyatür delme deneyinden elde edilen sonuçlar Şekil 5'deki diyagram kullanılarak elde edilen delinebilirlik oranı indeks değerleri Çizelge 3'de sınıflama aralığıyla birlikte verilmektedir. Çizelge 3 incelendiğinde kayaçların delinebilirliklerinin genelde orta ile çok yüksek arasında değiştiği

görülmektedir. Sadece diabaz ve alkali granit örneklerinde bu değer düşük çıkmıştır. Laboratuvarında incelenen 16 farklı kaya örneğine ait tek eksenli basınç (σ_c) ve dolaylı çekme dayanımı (σ_t) deney sonuçları oranlanmıştır. Böylece her bir kaya örneğinin kırılma durumu üç yöntemle elde edilmiştir. Çizelge 4'de incelenen kayaçların kırılma durumları verilmiştir. Şekil 6'da

da DRI ile üç kırılma yöntemi karşılaştırılması verilmiştir.

Şekil 6 incelendiğinde birinci ve ikinci kırılma yöntemleri ile delme oranı indeksi arasında bir ilişki bulunamamıştır. Üçüncü

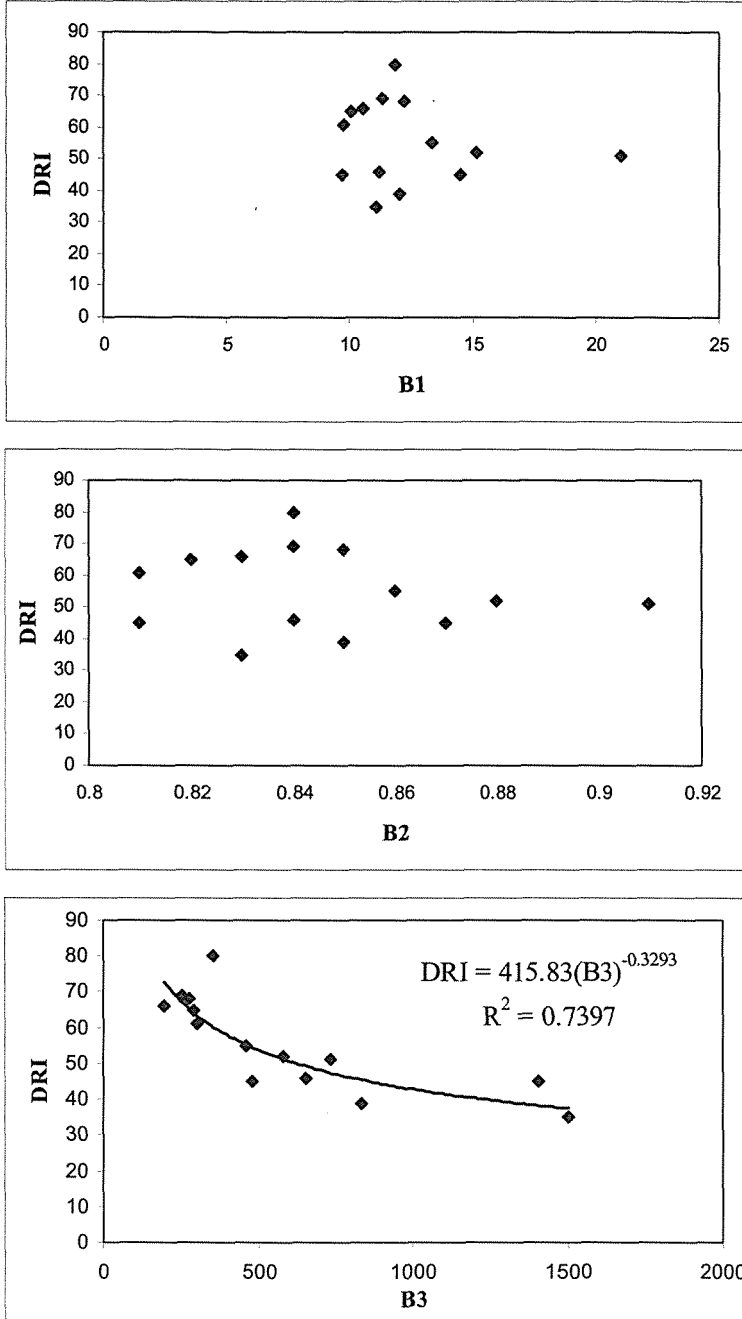
yöntemle DRI arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Bu da kayalık kırılma yönteminin delinebilirliği üzerine etkisini göstermektedir.

Çizelge 3. Kayaçların delme oranı indeksi değerleri ile sınıflaması.

No	Örnek Adı	S ₂₀	SJ	DRI	SINIFI
1	Kuvarsit	52.45	2.42 ± 0.16	45	Orta
2	Kireçtaşı	47.37	60.80 ± 4.75	58	Yüksek
3	Kumtaşı	37.35	50.43 ± 6.85	45	Orta
4	Kumtaşı	49.94	87.72 ± 1.61	61	Yüksek
5	Granodiorit	65.65	13.20 ± 1.50	66	Yüksek
6	Kumtaşı	54.71	96.90 ± 1.29	66	Yüksek
7	Silttaşı	46.63	133.39 ±	65	Yüksek
8	Kireçtaşı	57.70	67.84 ± 1.05	68	Yüksek
9	Siyenit	41.42	56.91 ± 1.39	51	Orta
10	Dolomit	69.47	89.73 ± 1.30	80	Çok
11	Andezit	40.79	102.57 ±	55	Orta
12	Andezit	50.87	103.68 ±	65	Yüksek
13	Andezit	42.53	80.46 ± 0.36	52	Orta
14	Diabaz	26.60	55.72 ± 2.12	35	Düşük
15	Alkali granit	44.19	3.10 ± 0.26	39	Düşük
16	Bazalt	41.32	36.98 ± 4.70	46	Orta

Çizelge 4. Kayaçların kırılma durumu.

No	DRI	σ _c (MPa)	σ _t (MPa)	B1	B2	B3
1	45	164.77 ± 12.29	17.07 ± 2.35	9.65	0.81	1406.31
2	58	-	10.34 ± 2.46	-	-	-
3	45	117.89 ± 8.55	8.15 ± 2.26	14.47	0.87	480.40
4	61	98.39 ± 7.92	7.89 ± 2.82	9.71	0.81	302.31
5	66	64.55 ± 10.43	6.14 ± 1.99	10.51	0.83	198.17
6	66	75.63 ± 22.53	6.69 ± 1.18	11.30	0.84	252.98
7	65	-	-	-	-	-
8	68	82.51 ± 13.84	6.78 ± 1.63	12.17	0.85	279.71
9	51	182.10 ± 8.47	8.34 ± 1.17	21.02	0.91	731.08
10	80	91.38 ± 6.49	7.70 ± 2.85	11.87	0.84	351.81
11	55	110.861 ± 4.32	8.30 ± 2.16	13.36	0.86	460.07
12	65	76.45 ± 4.15	7.62 ± 1.66	10.03	0.82	291.27
13	52	132.48 ± 6.54	8.76 ± 2.65	15.12	0.88	580.26
14	35	175.50 ± 10.85	16.50 ± 3.56	11.04	0.83	1502.33
15	39	141.56 ± 8.48	11.75 ± 2.85	12.05	0.85	831.67
16	46	120.73 ± 3.45	10.78 ± 3.45	11.20	0.84	650.73



Şekil 6. DRI (Delme Oranı İndeksi) ile kırılmalık yöntemlerinin karşılaştırılması.

5 SONUÇLAR

Laboratuvarında 16 adet kayaç örneği üzerinde yapılan kırılma deneyi ve Sievers minyatür delme deneyinden elde edilen sonuçlar kullanılarak diyagram yardımıyla kayaçların delinebilirlik oranı indeks değerleri bulunmuştur. Kayaçların delinebilirliklerinin genelde orta ile çok yüksek arasında değiştiği görülmektedir. Sadece diabaz ve alkali granit örneklerinde bu değer çok düşük çıkmıştır.

Bu çalışmada, literatürde kırılma ölçütü olarak kabul edilen üç farklı gevreklik ölçütü kullanılmıştır. Laboratuvarında incelenen 16 farklı kaya örneğine ait tek eksenli basınç ve dolaylı çekme dayanımı deney sonuçları oranlanmıştır. Böylece her bir kaya örneğinin kırılma durumu üç yöntemle göre elde edilmiştir. Birinci ve ikinci kırılma yöntemleri ile delme oranı indeksi arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Üçüncü yöntemle DRI arasında üssel bir ilişki bulunmuştur ($R^2=0.7397$). Bu da kayaç kırılmasının kayacın delinebilirliği üzerine etkisini göstermektedir.

Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar; bir sonraki aşamada arazide darbeli delicilerle yapılacak delme çalışmalarından elde edilecek; delme hızları ve burğu ömürleri ile birlikte değerlendirilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu bildiri, TÜBİTAK tarafından desteklenen "Mekanik Kazıda Kayaçların Petrografik Özellikleri İle Delinebilirlik ve Aşındırıcılık Özellikleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi" başlıklı araştırma projesi (proje no: 104M437) kapsamında hazırlanmıştır. Yazar, bu bildirin hazırlanmasında her türlü imkanı sağlayan TÜBİTAK'a, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Rektörlüğü'ne ve Prof. Dr. Bjorn NİLSEN'e (NTNU) ve Filip Dahl'a (SINTEF-Norveç) teşekkürü bir borç bilir.

KAYNAKLAR

- Altındağ, R., 2000. Darbeli delme performans analizlerinde kayaç gevrekliğinin rolü, 5. *Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu*, s.105-112, Isparta.
- Arı, H., 1990. *TTK Asma İşletmesi kömür çevre kayaçlarının kazılabilirliğinin incelenmesi*, Yüksek Mühendislik Tezi, HÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, 85 s.
- Bamford, et al., 1987. *Notes of the workshop held at Montreal on rock boreability, cuttability and drillability*, International Society for Rock Mechanics.
- Baş, N., 1993. *Elektro hidrolik delicilerin delme performansının incelenmesi*, Yüksek Mühendislik Tezi, HÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, 141 s.
- Bilgin, N., 1982. Zonguldak kömür havzasındaki formasyonların jeomekanik özelliklerinin burğu davranışlarına etkisi. *Türkiye 3. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, s.95-111, Zonguldak.
- Bilgin, N., 1989. *İnşaat ve maden mühendisleri için uygulamalı kazı mekaniği*, Birsen Yayınevi İstanbul, 192 s.
- Bruland, A., 1998. *Hard rock tunnel boring: Drillability Test Methods*, Project Report 13A-98, NTNU, Angleggsdrift, Trondheim, 23 p.
- Dahl, F., 2003. *DRI, BWI, CLI Standards*, NTNU, Angleggsdrift, Trondheim, 21 p.
- Gehring, K., 1974. *Über die Schrambarkiet von Gesteinen: Vortrak, Ostrava Symposium*, Jan .
- Nilsen, B., 2003. Investigation and testing for Norwegian hard rock TBM performance prediction, *Türkiye Yeraltı Kaynaklarının Bugünü ve Geleceği, İTÜ Maden Fakültesi 50. Yıl Sempozyumu Kitabı*, s. 89-96, İstanbul.
- Shahriar, K., 1988. *Kayaçların kazılabilirlik ve jeoteknik özelliklerinin kollu galeri açma makinalarının kazı hızları üzerindeki etkilerinin incelenmesi*, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 241 s.
- Tahdanand, S. and Unger, H. F., 1975. *Drillability Determination, A Drillability Index for Percussive Drills*. U. S. B. M., R. I. 8073, 20p

Kayaçların Basınç Direnci ile Elastisite Modülü Arasındaki İlişkinin Araştırılması

The study of Relationship Between The Modulus of Elasticity and Compressive Strength for Rocks

İ. Ocak

İBB, İETT Genel Müdürlüğü, Raylı Taşıım Daire Başkanlığı, Karaköy-İstanbul

İ.Ü. Müh. Fak. Maden Müh. Böl., Misafir Öğr. Üyesi, 34320 Avcılar-İstanbul

ÖZET Elastisite modülü (E) kaya malzemesini temsil etmede kullanılan önemli bir özelliktir. Elastisite modülü tünel kazıları, madencilik kazıları, şevler gibi pek çok mühendislik projesinin dizaynında kullanılan önemli bir parametredir. Ancak elastisite modülünün doğrudan belirlenebilmesi zordur ve deney için yüksek kalitede karotlar gerekmektedir. Bu nedenle elastisite modülünün tayini için yaygın olarak dolaylı yollara başvurulmaktadır. Ancak literatürde değişik korelasyon yöntemlerini kullanarak elastisite modülünü bulmayı amaçlayan bu yöntemlerin en önemli eksikliği az sayıda veriye dayanmalarıdır. Bu çalışmada Kadıköy-Kartal metro çalışmaları kapsamında yapılan sondajlardan alınan karotlardan elde edilen 139 adet data kullanılarak değişik litolojilerdeki kayaçların tek eksenli basınç dayanımları (UCS) ile elastisite modülü arasındaki ilişki araştırılmıştır. Sonuçta, litolojisine göre değişmekle birlikte basınç dayanımı ile elastisite modülü arasında kuvvetli bir ilişki olduğu ve bu ilişkiye dayanılarak elastisite modülünün yaklaşıklıkla tahmin edilebileceği görülmüştür.

ABSTRACT The modulus of elasticity (E) is an important rock property which is used in the design of several engineering projects such as slopes, tunnel and mining excavations. However, it is difficult to obtain the modulus of elasticity directly and high-quality cores are needed for the experiments. For this reason, indirect methods to estimate the modulus of elasticity, are gaining importance. The most significant deficiency of these methods aiming at estimating the modulus of elasticity by using different correlation techniques is that some of them are based on insufficient data. In this study, the relations between the uniaxial compressive strength of the rocks (UCS) and elastic modulus for different lithologies were investigated by using 139 data obtained from the drill holes within the corresponding area of Kadıköy-Kartal metro line. As a result, a good relationship between the modulus of elasticity and the compressive strength is found and it is shown that this relationship changes according to the litology and that the modulus of elasticity may be estimated via these relationships.

1 GİRİŞ

Elastisite modülü, maden mühendisliği ve inşaat mühendisliği çalışmalarının dizaynında birim hacim ağırlığı, kohezyon,

poisson oranı ve içsel sürtünme açısı ile birlikte girdi olarak kullanılmaktadır. Fakat bu parametrenin doğrudan tespiti için yüksek kalitede karot örnekleri gerekmektedir. Ancak bazı kayaçlarda yüksek porosite,

yüksek kil oranı ve sondajdan kaynaklanan nedenlerle iyi kalitede karot alınması mümkün olamamaktadır. Deney yapımındaki güçlükler dikkate alındığında elastisite modülünün dolaylı yollardan belirlenmesi uygun olarak kullanılmaktadır.

Dolaylı yollardan elastisite modülünü tespit etmeyi amaçlayan çalışmaların bir kısmında schmidt çekici (Deere ve Miller, 1966; Aufmuth, 1973; Sachpazis, 1990; Xu vd., 1990) kullanılmıştır. Daha fazla sayıda araştırmacı (Wuerker, 1959; Dhir ve Sangha, 1972; Lama ve Vutukari, 1978; Wilson, 1978; Dennis vd., 1982; Bell, 1983; Sachpazis, 1990; Rohde ve Feng, 1990; Tuğrul ve Zarif, 1999; Palchik, 1999; Lashkaripour ve Nakhaei, 2001) bu kestirim için tek eksenli basınç dayanımını kullanmışlardır. Diğer bir takım araştırmacı ise (Sönmez vd., 2004; Sönmez vd., 2004a) elastisite modülünün tahmini için basınç dayanımı ile birlikte yoğunluğu kullanmışlardır.

İstatistiksel bir çalışmanın güvenilirliği kullanılan veri sayısına bağlıdır. Kullanılan veri sayısı ne kadar fazla ise ulaşılan değerler de o kadar güvenilir olmaktadır. Ancak yukarıda değinilen pek çok araştırmada, sınırlı sayıda verilerin kullanılmış olduğu görülmektedir. Bu araştırmaların diğer iki eksikliği de farklı litolojik birimlerden elde edilen verilerin birlikte değerlendirilmesi ve örnek boyutlarının dikkate alınmamasıdır (Grasso vd., 1992).

Bu çalışmada, toplam 139 adet veri takımı kullanılmıştır. Bu veriler İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İETT Genel Müdürlüğü'nce inşaatı devam ettirilmekte olan Kadıköy-Kartal Metro Projesi çalışmalarını sırasında Kadıköy ile Kartal arasındaki 21,6 km lik güzergâhta yapılan 139 adet sondajdan elde edilmiştir. Farklı litolojiler hem ayrı ayrı, hem de birlikte değerlendirilmiştir. Veriler aynı boyutlu karotlar üzerinde yapılan deneyden elde edilmiştir.

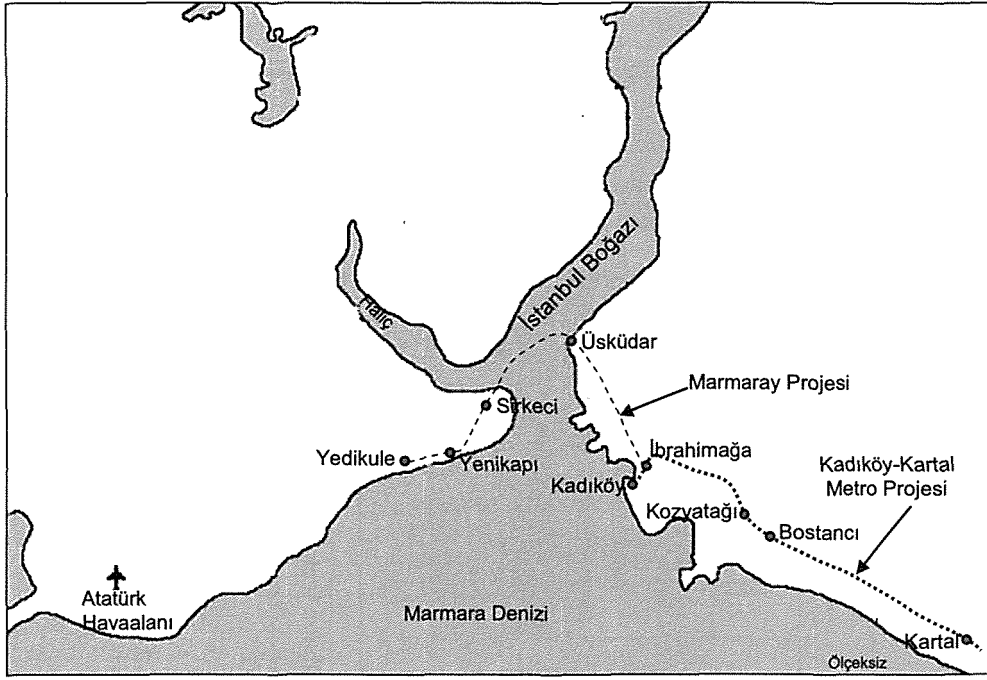
2 KADIKÖY-KARTAL RAYLI TOPLU TAŞIMA SİSTEMİ

Kadıköy – Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi Projesi Kadıköy ilçesinden başlayıp, Üsküdar, Maltepe ve Kartal ilçelerinden geçmektedir. Hattın tamamı 21,6 km uzunluğunda olup, 16 adet istasyon bulunmaktadır. Sistem Kadıköy’de Rıhtım caddesinin bulunduğu meydana başlamaktadır. Kadıköy İstasyonu’nda hattın kırmızı kotu -36,0 metrededir. Kadıköy–Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi, İbrahimağa İstasyonu’nda, İstanbul’un Avrupa ve Asya yakalarını boğazın altından batırma tünel ile birleştirecek olan Marmaray Tüpgeçit Projesi ile entegre olmaktadır. Böylece sistem ile hem doğu-batı yönündeki yolcu taşınacılığı sağlanacak, hem de Marmaray Projesi ile yapılan entegrasyon ile İstanbul’un Avrupa yakası ile irtibat sağlanacaktır (Şek. 1).

Metro sistemi iç çapı 5.70 m, dış çapı 6.30 m olan çift hat tünelden oluşmaktadır. Tüneller yüzeyden ortalama 30 m derinlikte olup iki tünel arası mesafe yaklaşık 32 metredir. Hat tamamlandığında bir yönde 60 000 yolcu taşınabilecektir. Ana hat tünelleri 2 adet tünel açma makinesi (TBM) ve 2 adet yer basıncı dengeleme sistemli tünel makinesi (EPBM) ile kazılacaktır. İstasyon platform tünelleri, yaklaşım tünelleri, şaftlar, makas tünelleri ve bağlantı tünelleri ise Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM) metodu ile kazılmaktadır.

3 BÖLGENİN JEOLJİSİ

Geçilen kayaçların durumunun tespiti için 139 adet sondaj yapılmıştır. Bu sondajlardan alınan karot örnekleri üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilmiş olan ortalama fizikomekanik özellikler Çizelge 1’de görülmektedir. Bölgenin jeolojik kesiti ise Şekil 2’de verilmiştir.



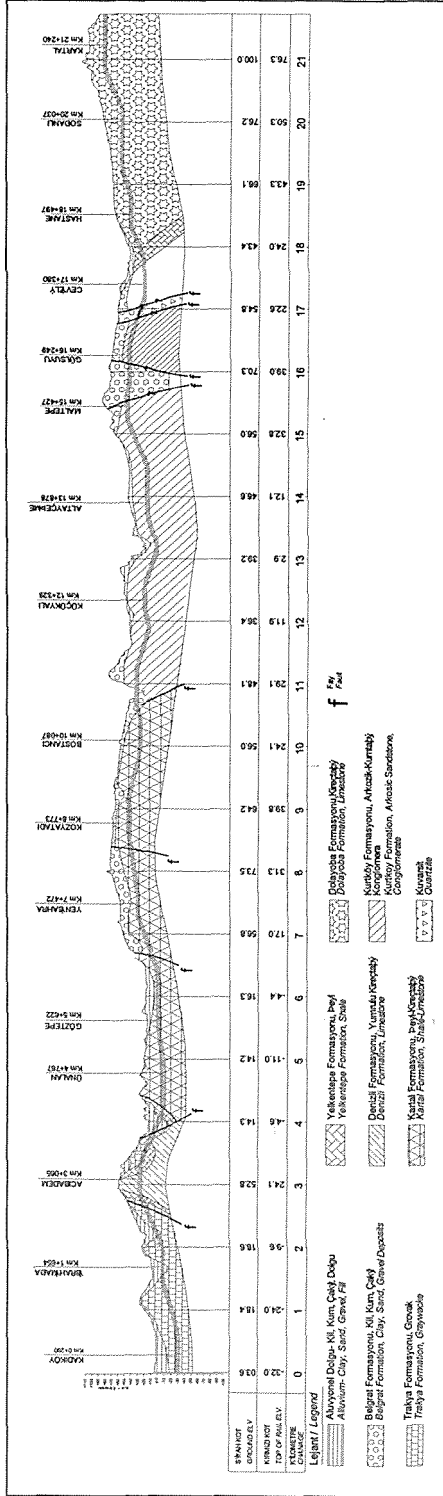
Şekil 1. Kadıköy-Kartal Raylı Sisteminin İstanbul'daki konumu.

İstanbul'un Asya yakasının stratigrafik istifi çoğunlukla "İstanbul Grubu" adı ile de bilinen İstanbul Paleozoyik istifi ile onun üzerinde yer yer görülen Triyas ve Tersiyer çökellerden oluşmaktadır (Şek. 3). Dere içlerinde yer alan alüvyonlar ile yamaç molozları ve dolgular ise en genç örtülerdir. Trakya formasyonu genelde ince tabakalı ve paralel şeyllerden oluşmaktadır (Kaya, 1978). Yelkentepe formasyonu şeyllerden

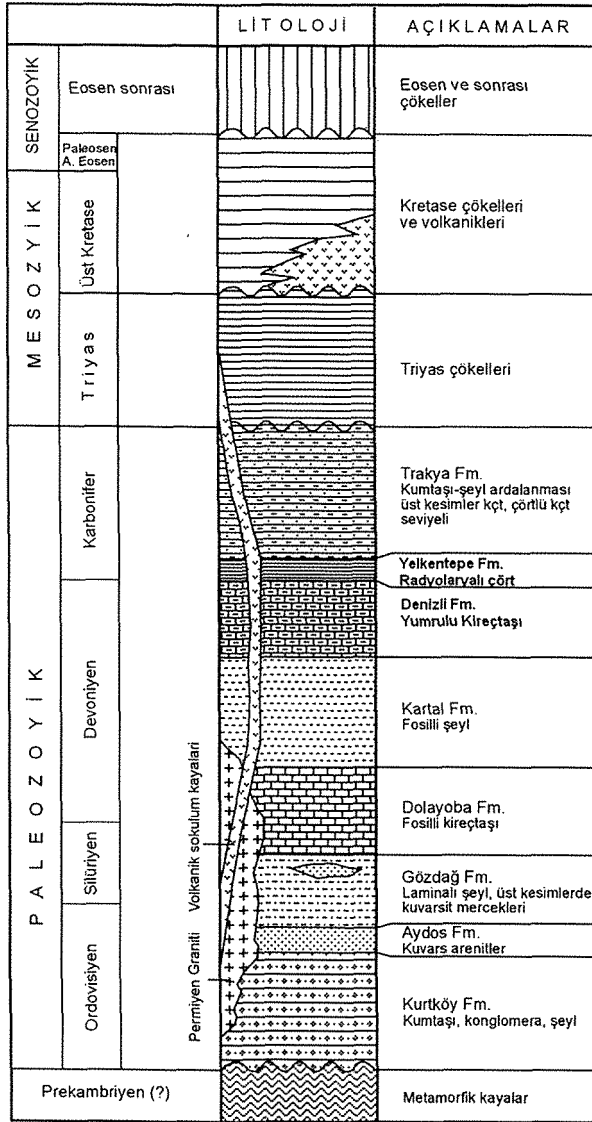
oluşmaktadır. Kartal Formasyonu sarımsı kahve-gri renkli, iyi yapraklanmalı, mercan ve fosilli, seyrek silttaşı ile kumtaşı aratabakalı şeyllerden ve kireçtaşı seviyelerinden oluşmuştur (Önalın, 1982). Kurtköy formasyonu mor renkli çakıltası, kumtaşı ve çamurtaşından oluşmaktadır. Dolayoba formasyonu kuvars, mercekli şeyl ile koyu mavi, gri renklere kireçtaşından oluşmaktadır (İETT, 2005).

Çizelge 1. Çalışma bölgesindeki kayaçların fizikomekanik özellikleri (İETT, 2005).

Formasyon	Litoloji	Birim hacim ağırlığı (kN/m ³)	İçsel sürtünme açısı (°)	Kohezyon (MPa)	Basınç direnci (MPa)	Elastisite modülü (GPa)
Trakya	Kumtaşı-silttaşı-kiltaşı	26,5	37,9	13,9	56,18	9,70
Tuzla	Şeyl	26,8	43,1	6,4	26,83	8,60
Kartal	Şeyl+çört	26,2	43,1	18,6	33,02	7,40
Kurtköy	Kumtaşı+konglemera	26,9	43,1	19,5	53,33	10,31
Aydos	Kuvarsit+andezit	26,1	54,2	-	73,03	12,64
Dolayoba	Kireçtaşı	27,0	49,4	10,6	42,96	15,82



Şekil 2. Kadıköy-Kartal Raylı Sistemi güzergâhının jeolojik kesiti (İETT 2005).

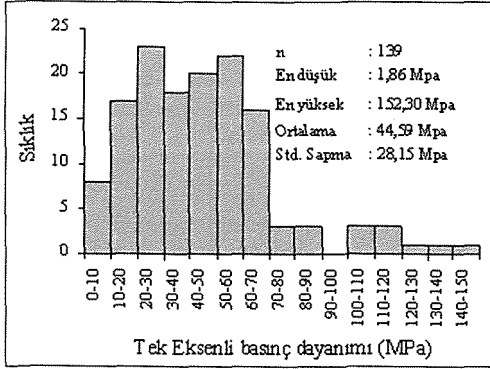


Şekil 3. İstanbul paleozoyik istifi ve üzerindeki birimlerin geliştirilmiş stratigrafi kesiti (İETT, 2005).

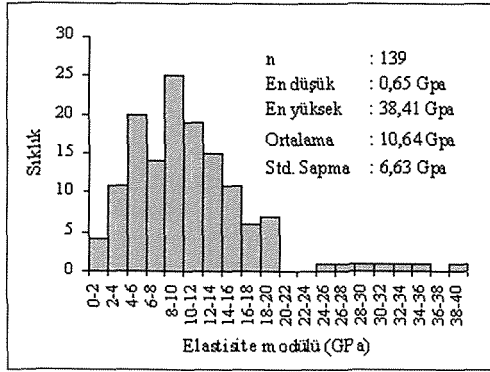
4 KULLANILAN VERİ TABANININ ÖZELLİKLERİ

Kullanılan veri tabanı, Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi güzergâhını kapsamaktadır. Datalar, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İETT Genel Müdürlüğüne yürütülen bu projedeki sondajlardan elde

edilmiş olan karotlar üzerindeki laboratuvar deneylerine dayanmaktadır. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı 1.86 MPa-152.30 MPa arasında, Elastisite modülü 0.65 GPa-38.41 GPa arasında değişmektedir. Kullanılan veri tabanına ait istatistiksel değerler Şekil 4 ve Şekil 5 verilmektedir.



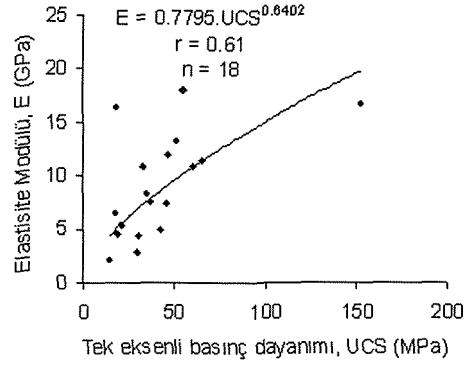
Şekil 4. Tek eksenli basınç direnci sonuçlarının istatistiksel dağılımı.



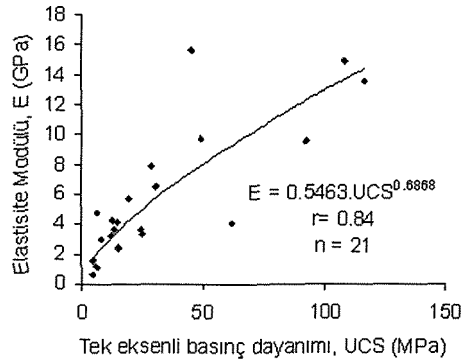
Şekil 5. Elastisite modülü sonuçlarının istatistiksel dağılımı.

5 TEK EKSENLİ BASINÇ DAYANIMI VE ELASTİSİTE MODÜLÜ ARASINDAKİ İLİŞKİ

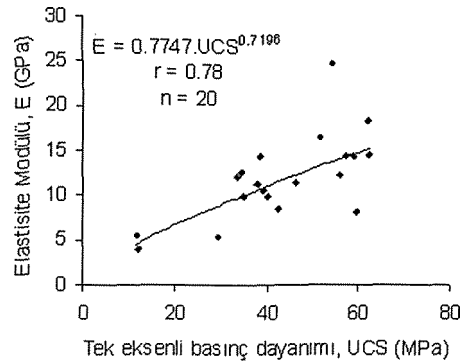
Kadıköy-Kartal Metro Sistemi güzergâhını oluşturan birimlerin tek eksenli basınç dayanımı ile elastisite modülü arasındaki ilişki her litoloji için ayrı ayrı (Şek. 6- Şek. 12) ve güzergâhtaki tüm formasyonlar için birlikte incelenmiştir (Şek. 13). Bu incelemede UCS ile E arasında litolojisine göre $r = 0,61$ ile $r = 0,90$ arasında değişen oranlarda korelasyon katsayısı olduğu görülmüştür.



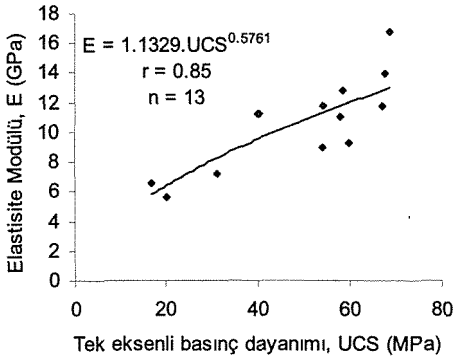
Şekil 6. Andezit ve diyabaz için UCS ile E ilişkisi.



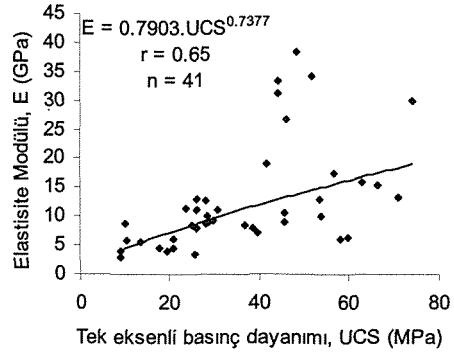
Şekil 7. Kiltaş-kireçtaşı-kumtaşı için UCS E ilişkisi.



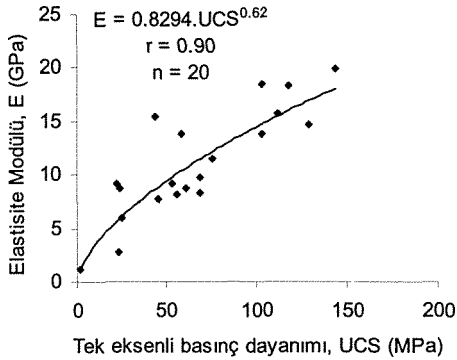
Şekil 8. Kireçtaşı için UCS ile E ilişkisi.



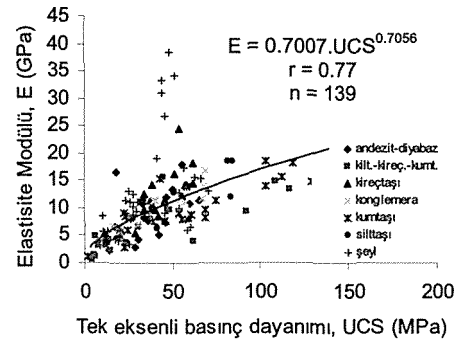
Şekil 9. Konglemera için UCS ile E ilişkisi



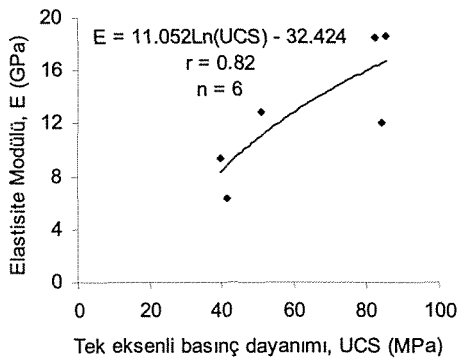
Şekil 12. Şeyl için UCS ile E ilişkisi.



Şekil 10. Kumtaşı için UCS ile E ilişkisi.



Şekil 13. Tüm litelojiler için UCS ile E arasındaki ilişki.

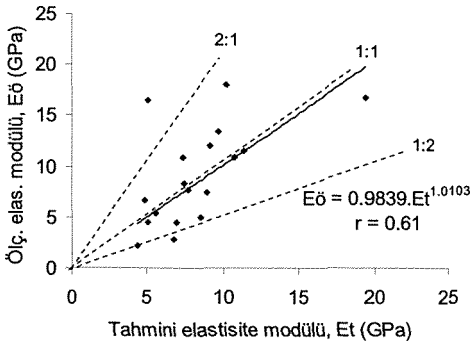


Şekil 11. Silttaşı için UCS ile E ilişkisi.

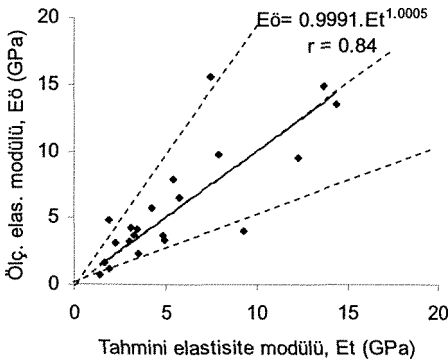
6 ELASTİSİTE MODÜLÜ TAHMİNİ

Metro güzergâhındaki kayaçların tek eksenli basınç direnci kullanılarak elastisite modülünün tahmini için, elde edilen istatistiksel eşitliklerden faydalanılmıştır. Bu eşitliklerin kullanılması ile elde edilen tahmini elastisite modülü (Et) ile ölçülen elastisite modülü (Eö) arasındaki korelasyon araştırılmıştır. Bu çalışmada tüm güzergâhı oluşturan kayaçlar için, Et ile Eö arasındaki ilişki tespit edilmiştir. Ayrıca çapraz kontrol grafikleri çizilmiştir. Bu incelemede magmatik diyabaz ve andezit sokulumları için $r=0.61$ ile en düşük ve kumtaşı için $r = 0.89$ ile en yüksek ilişki bulunmuştur. Et ve

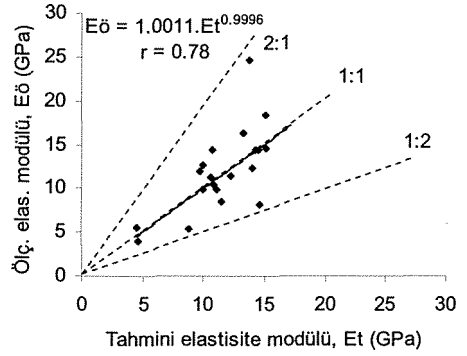
Eö arasındaki bu ilişki Kiltası-silttaşı-kumtaşı ardalanmaları için $r=0.84$, kireçtaşı için $r=0.78$, konglemera için $r=0.85$, silttaşı için $r=0.83$ ve şeyl için $r=0.65$, tüm litolojiler için $r=0.77$ olarak bulunmuştur. Şeyl ve diyabaz-andezit dayklarda kısmen, diğer litolojilerde ise büyük oranda hesaplanan ve tahmin edilen veri çiftlerinin 1:1 çizgisi üzerinde dağılmaktadır (Şek. 14-21). Kısacası, elde edilen eşitliklerin diyabaz-andezit ve şeylerde kısmen, diğerlerinde ise yeterli tahmin performansına sahip olduğunu görülmüştür.



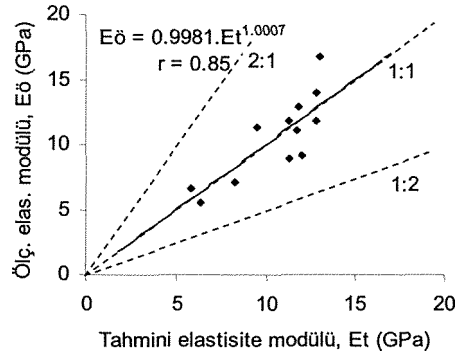
Şekil 14. Diyabaz ve andezit için Et ile Eö arasındaki ilişki.



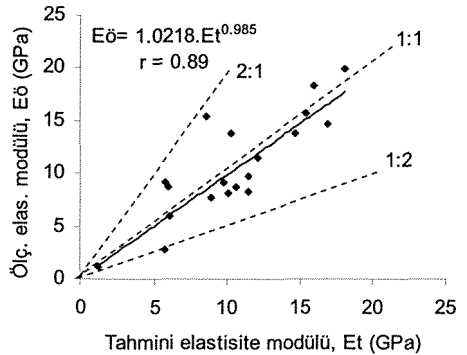
Şekil 15. Kiltası-silttaşı-kumtaşı için Et ile Eö arasındaki ilişki.



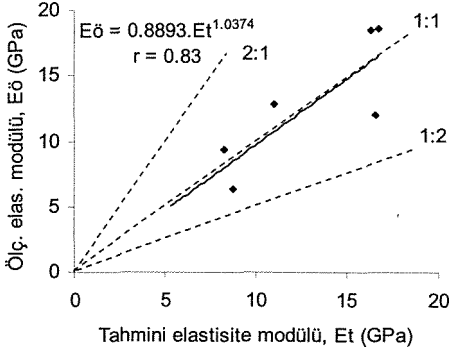
Şekil 16. Kireçtaşı için Et ile Eö arasındaki ilişki.



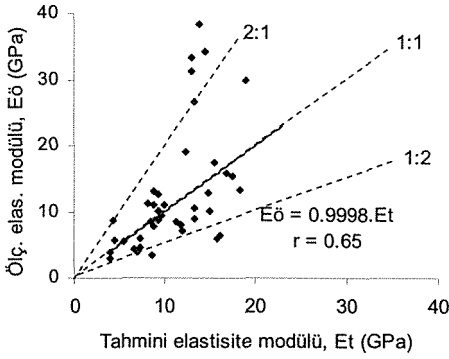
Şekil 17. Konglemera için Et ile Eö arasındaki ilişki.



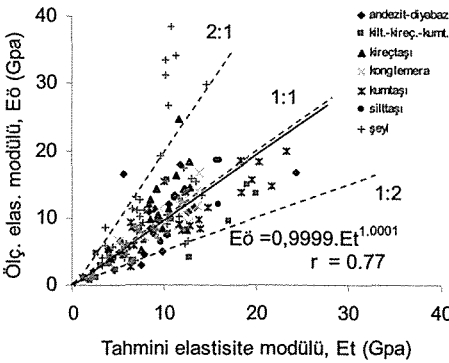
Şekil 18. Kumtaşı için Et ile Eö arasındaki ilişki.



Şekil 19. Silttaşı için Et ile Eö arası ilişki.



Şekil 20. Şeyl için Et ile Eö arası ilişki.



Şekil 21. Tüm litolojiler için Et ile Eö arası ilişki.

7 SONUÇLAR

- Bu çalışmada, tünel, temel ve her türlü kazının projelendirilmesinde ana girdilerden birisi olan ve normal yollardan tespiti yüksek kalitede karot örnekleri gerektirdiği için güç olan elastisite modülünün dolaylı olarak nasıl elde edilebileceği üzerinde durulmuştur. Çalışma sonucunda, kayacın tek eksenli basınç dayanımına dayanarak elastisite modülünün büyük bir yaklaşıklıkla kestirilebileceği görülmüştür.
- İstatistiksel analizlerdeki anlamlı ilişkiler, mekanik ve deformasyon özellikleri geniş bir aralıkta değişen farklı formasyonlara ait farklı kaya örneklerinden elde edilmiş geniş bir veri tabanının kullanılması ile elde edilmiştir.
- Çalışma sonucunda bulunan eşitliklere dayanarak, eğer kayacın tek eksenli basınç dayanımı biliniyorsa kumtaşı ($r=0.89$), Kilttaşı-silttaşı-kumtaşı ardalanmaları ($r=0.84$), kireçtaşı ($r=0.78$), konglemera ($r=0.85$), silttaşı ($r=0.83$) ve için elastisite modülü kestirimi yeterli doğrulukta yapılabilmektedir.
- İstanbul'da yapılmış ve hala yapımı devam eden metro çalışmaları büyük çoğunluğu itibariyle bu çalışmaya da konu olan formasyonlar içerisinde yapılmaktadır. Dolayısıyla bundan sonraki çalışmalarda, elastisite modülünün kestiriminde bu çalışmadan elde edilen korelasyonlardan faydalanmak mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

- Aufmuth R.E., 1973, A systematic determination of engineering 20 criteria for rock. *Bull. of Assoc. of Eng. Geol.* 11, pp. 235-245.
- Bell, F.G., 1983, Engineering Properties of Soil and Rocks, London
- Deere D.V., Miller R.L., 1966, Engineering Classification and Index Properties of Intact Rock. Department of Civil Engineering, University of Illinois, Urbana. Pp. 90-101.
- Dennis, R. D., Horing, F.G., Hooker, E. V., 1982, Mechanical Properties of oil Shale and Overlying Strata, Naval Oil Shale Reserve, Anvil Points, colo. Col. ISBM RI: 8608, pp. 1-43
- Dhir, R.K., Sangha, C.M., 1972, Rock Strength, Colliery Guardian, pp. 525-256

- Grasso P. Xu S., Mahtab A., 1992, Problems and Promises of Index Testing of Rock. *Rock Mechanics*. pp. 879-888.
- İETT Genel Müdürlüğü, 2005, İstanbul Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi Projesi, Mühendislik Jeolojisi Raporu.
- Kaya, O., 1978, İstanbul Ordovisiyeni ve Silüriyeni, *H.Ü. Yerbilimleri Enstitüsü Yayını*, Cilt:4, s.1-2, Ankara.
- Lama, R. D., Vutukari, 1978, Handbook and Mechanical Properties of Rock Trans. Tech. Publ., Amsterdamsdorf, Switzerland, Vol: 2, 1978, 481 p.
- Lashkaripour G.R., Nakhaei M., 2001, A Statistical Investigation on Mudrocks Characteristics. *Rock Mechanics*. pp. 131-136.
- Önalın, M., 1982, Pendik Bölgesi ile Adaların Jeolojisi ve Sedimanter Özellikleri, Yayınlanmamış, İ.Ü. Müh. Fak. *Doçentlik Tezi*, İstanbul.
- Palchik V., 1999, Influence of Porosity and Elastic Modulus on Uniaxial Compressive Strength in Soft Brittle Porous Sandstones. *Rock Mechanic and Rock Engineering* 32(4), pp. 303-309.
- Rohde, J., Feng, H., 1990, Analysis of the Variability of Unconfined Compression Tests of Rock, *Rock Mechanic and Rock Engineering*, 23, pp. 231 -236
- Sachpazis C.I., 1990, Correlating Schmidt Hardness With Compressive Strength and Young's Modulus of Carbonate Rocks. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.*, 42, pp. 75-83.
- Sönmez, H., Gökçeoğlu, C., Kasapoğlu, K.E., Tuncay, E., Zorlu, K., 2004, An empirical equation for estimating elasticity modulus of intact rock, *ROCKMEC'2004-VIIth Regional Rock Mechanics Symposium*, Sivas-Turkey
- Sönmez, H., Tuncay, E., Gökçeoğlu, C., 2004a, Models to predict the uniaxial compressive strength and the modulus of elasticity for Ankara Agglomerate, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 41, pp. 717-729
- Tuğrul A., Zarif I.H., 1999, Correlation of Mineralogical and Textural Characteristics with Engineering Properties of Selected Granitic Rock from Turkey, *Engineering Geology* 51, pp. 303-317.
- Wilson, A.H., 1978, Stability of Underground Working in the Soft Rocks of Coal Measures, *Ph.D. Thesis*, University of Nottingham
- Wuerker, R.G., 1959, The Shear Strength of Rocks, *Mining Engineering*, October, pp. 1022-1026
- Xu S., Grasso, P., Mahtab A., 1990, Use of Schmidt Hammer for Estimating Mechanical Properties of Weak Rock., *6th International IAEG Congress*. pp. 511-519.

Tek Eksenli Yükleme Altında Kaya Maddesinin Gerilme-Birim Deformasyon-Elektriksel Direnç Davranışı

Stress-Strain-Electrical Resistance Characterization of Rock Material under Uniaxial Loading

İ. Özkan, N. Bilim

Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

ÖZET Tek eksenli yükleme altında bazı kaya birimlerinin gerilme-birim deformasyon-elektriksel direnç davranışları bu çalışmada belirlenmeye çalışılmıştır. Konya bölgesinden seçilen dokuz farklı kaya biriminden, 27 adet NX boyutlarında karot hazırlanmıştır. Bu araştırmada tek eksenli basma dayanımı, deformabilite ve elektriksel direnç deneyleri, 3000 kN kapasiteli otomatik kontrollü bir hidrolik preste gerçekleştirilmiştir. Deneylerden hazırlanan veri tabanı kullanılarak birim deformasyon-gerilme eğrileri ve birim deformasyon-elektriksel direnç eğrileri aynı grafik ortamında çizilerek değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, maden topuğu gibi kaya yapılarının üzerindeki arazi gerilmelerine bağlı gelişen deformasyon davranışının, elektriksel direnç ölçüm yöntemi ile belirlenebileceği tespit edilmiştir.

ABSTRACT It has been studied in this study that the stress-strain-electrical resistance behaviour of some rock units was determined under uniaxial compression. The nine different rock units encountered in Konya region were selected for this study and then 27 NX-cores were prepared from them. In this research, uniaxial compressive strength, deformability and electrical resistance tests were carried out by servo-controlled hydraulic press which has 3000kN capacity. While the stress-strain curves obtained from tests were graphed, the electrical resistance-strain curves were also added into these graphs. The stress-strain and electrical resistance-strain curves were evaluated, comparing with each other. As a result, it has been determined that the electrical resistance measurements will be able to be used in order to determine the stress-strain behaviour of rock design like underground mining pillar.

1 GİRİŞ

Kaya mekaniği mühendisleri, insanoğlu için gerekli olan minerallerin yeraltından çıkarılmasında ortaya çıkan kaya yapılarının duraylılığını en iyi şekilde sağlamak ister. Yeraltı boşluklarının tahkimatında orijinal cevher malzemesinden topuk bırakılması yaygın olarak tercih edilen bir yöntemdir. Buna ülkemizden oda-topuk yönteminin kullanıldığı kaya tuzu madenciliği, kömür madenlerinde taban yolunun korunması için bırakılan kömür topukları örnek olarak verilebilir. Madencilik çalışmaları

neticesinde sürekli değişen ikincil gerilmeler, tahkimat görevi için oluşturulan topuklar tarafından karşılanmalıdır. Topukların boyutlandırılması bu bakımdan oldukça önemlidir. Topuklarda karşılaşılan yenilmelerin, çalışmaları aksatması kabul edilemez bir durumdur.

Günümüzde geliştirilen elektriksel yöntem ile kaya malzemeleri içerisindeki çatlak yapılarının konumları belirlenebilmektedir. Kayaçlar normal şartlarda yalıtkan malzemelerdir, elektriksel direnç kayacın su içeriğiyle bağlantılı olmaktadır. Su içeriği

arttıkça elektriksel direncin azaldığı bir başka deyişle iletkenliğin arttığı bilinmektedir. Kayaç içerisindeki boşluklara dolan elektrolitik sıvı, özellikle süreksizlik düzlemlerinin yerlerinin belirlenmesinde önemli belirteç olabilmektedir.

Bahr (1997) kaya matrisindeki tabaka düzlemleri arasına giren çözelti halindeki suyun elektriksel iletkenlik sağladığını belirterek, kendisinin hazırladığı yapay modeller üzerinde bir dizi parametrik deney yapmıştır. Bahr (1997), model küp numuneler içerisindeki anisotropik yapıyı elektriksel iletkenlik ile tespit etmiştir. Ayrıca Koelman ve Kuijper (1997), heterojen materyaller ile simetrik model numuneler üzerinde gerçekleştirdikleri deneyler sonrasında numunelere ait anisotropik yapının elektriksel iletkenlik yaklaşımı ile belirlenebildiğini belirtmişlerdir.

Kamenetsky ve Novikov (1997), suya doymuş sedimenter kayalar üzerinde yaptıkları deneylerde, düşük sıcaklıkta bile elektriksel iletkenliğin sağlandığını tespit etmişlerdir.

Roberts ve arkadaşları (1999a), Nugget kumtaşı ve Western graniti üzerinde yük ve sıcaklığa bağlı deneyler yapmışlardır. Artan sıcaklık ile direnç azalırken, artan yük ile direncin arttığını belirlemişlerdir. Kırılan numunede yük bir an sabitleşince direncin azaldığı görülmüştür. Roberts ve arkadaşları (1999b), ayrıca kuru numunelerde direncin büyük olacağını bunun ise su ile azaltılabileceğini ifade etmektedirler.

Shankland ve arkadaşları (1997), oda sıcaklığında ve basınç altında (250 MPa) özel bir düzenek içerisine konan karot numunelerde elektriksel iletkenliğin hem yatay hem de düşeyde oluşan mikro çatlaklardaki durumunu etüt etmişlerdir. Ayrıca araştırma neticesinde kayaç permeabilite değerlerinin (sıvı-gaz geçirgenlik değeri) basınçla azaldığını ve permeabilite değerinin artması ile de elektriksel iletkenliğin arttığını göstermişlerdir.

Lorne ve arkadaşları (1999), kumtaşı ve kuvars numunelerde (üç eksenli test hücresi gibi bir hücre içerisinde), basınç altında

numunelerin sıvı geçirgenlik değerlerine bağlı olarak elektriksel iletkenlik deneyleri yapmışlardır. Yapılan çalışmalar neticesinde, araştırmacılar deprem esnasında elektriksel potansiyel akımlarının ve jeokimyasal değişimlerin söz konusu olacağını vurgulamışlardır. Lorne ve arkadaşları (1999), artan basınçla numune üzerindeki elektriksel potansiyel fark değerlerinin doğrusal bir şekilde arttığını göstermişlerdir.

Jones (1999), yerkabuğunun elektriksel direnç özelliklerini etüt etmiştir. Elektriksel iletkenliğin sıcaklığa bağlı değişimini belirlemiş, yerkabuğunda derinlik arttıkça homojen bir yapı sergilemeye başlayan kayalardaki elektriksel direncin düştüğünü tespit etmiştir.

Yardley ve Valley (1997), su ile doymuş durumda olan kayaçların elektriksel iletkenlik özellikleri yardımıyla yerkabuğu hakkında bilgi toplanabileceğini iddia etmektedirler.

Kaya maddelerindeki çatlakların elektriksel yöntem ile belirlenmesine yönelik laboratuvar ölçekli bir test cihazı, Gökay ve Özkan (2000) tarafından geliştirilmiştir. Araştırmacılar, hazırladıkları doğal ve yapay model kaya malzemeler üzerinde yaptıkları çalışmalardan, mevcut süreksizlik düzlemlerinin bu ölçüm yöntemi ile rahatça belirlenebileceğini tespit etmişlerdir (Gökay ve Özkan, 2001; Bilim, Özkan ve Gökay, 2002; Bilim, 2002). Ayrıca bu çalışmalar esnasında, malzeme özellikleri ile malzemenin elektriksel direnci arasında da yakın bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Bilim, Özkan ve Gökay, 2002).

1960 yılından beri elektrik ve manyetik teknolojisi baskı altındaki kaya kırılmalarının araştırılmasıyla ilgilenmektedir. Kayalardaki gerilim ve elektriksel direncin deneysel olarak ilk araştırılması, direnç ve gerilme arasındaki ilişkiyi keşfeden Brace ve arkadaşları tarafından yapıldı (Brace; Chen ve Lin, 2004'den). Chen ve Lin (2004) ise üç farklı kaya biriminde (diabaz, kireçtaşı ve mermer) hazırladıkları 18 adet numune üzerinde gerilme ve birim deformasyon davranışlarını belirlerken aynı zamanda birim deformasyon ile elektriksel direnç arasında yakın bir ilişki olduğunu tespit

ederek, bir takım matematiksel analizler yapmışlardır. Benzer bir çalışma farklı beton malzemeler (C14,C18,C20,C25,C30 ve C35) üzerinde Özkan ve arkadaşları (2004) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada farklı beton içeriklerinden hazırlanan silindirik beton numuneler, sabit bir yük artışında hidrolik pres yardımıyla kırılmıştır. Deney esnasında gerilme nedeniyle malzemedeki deformasyon ve elektriksel direnç değişimleri izlenmiştir. Farklı malzemelerdeki deformasyon davranışlarındaki farklılıkların, elektriksel davranışlarda da görüldüğü ifade edilmiştir. Ayrıca malzemenin kırılmaya başladığı andan itibaren izlenen elektriksel direnç değerlerindeki belirgin azalışın malzemenin tamamen kırıldığı anda aniden artış eğilimine geçtiğini belirlemişlerdir. Araştırmacılar bu ölçüm tekniği ile uygulamadaki beton yapıların, yenilme açısından duraylılığını takip etmede kullanılabileceğini ilan etmişlerdir. Tek eksenli yükleme altındaki andezit ve jips kaya birimlerinin elektriksel potansiyel davranışlarının belirlenmesi için ayrıca bir araştırmada, Kılıç ve arkadaşları (2004) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada hazırlanan numuneler üç farklı yükleme hızında deney tabii tutulmuştur. Deneyler esnasında AC ve DC formda zamana bağlı elektriksel potansiyel farklar okunmuştur. Elde edilen sonuçlar ile gerilme altındaki malzemenin elektriksel potansiyel değişimlerinin, malzemenin yenilme davranışına uygun sistematik bir davranış sergilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Kahraman ve Alber (2006), Almanya'da bir enstitüde sekiz farklı kaya birimi üzerinde hasarsız ölçüm tekniği olarak kabul ettikleri elektriksel direnç deneyini uygulamışlardır. Deney sonuçları ile aynı kaya birimleri için belirledikleri; yoğunluk, gözeneklilik, nokta yükleme indeksi, tek eksenli basma dayanımı ve Elastik modül değerlerini karşılaştırmışlardır. Yaptıkları istatistiksel analizler ile elektriksel direnç ve mekanik değerler arasında oldukça iyi ilişkilerin olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar özellikle standart numune hazırlamada zorluklar ile karşılaşılacak zayıf kaya malzemelerinin mekanik büyüklüklerinin

tespitinde, bu yöntemden faydalanılabileceğini ifade etmektedirler.

Geniş ve Aydan (2006), Japonya'da odatopuk madenciliğinin daha önceden yapıldığı ancak şu anda terk edilmiş olan bir yeraltı linyit kömür ocağında bulunan topuklar üzerinde zamana bağlı bir seri, yerinde ölçümler yapmışlardır. Bu ölçümlerden bir tanesi de, elektriksel potansiyel farkların (mV) ölçülmesi olmuştur. Yaklaşık 220 gün takip edilen ölçümler sırasında ölçümlerin 180. gününde Tokaido depremi oluşmuştur. Bu depremin olduğu tarihten yaklaşık 40 gün öncesinden başlayarak elektriksel potansiyel farklarının şaşırtıcı bir şekilde arttığı izlenmiştir.

Bu araştırma çalışmasında, dokuz farklı kaya birimi model olarak seçilmiştir. Bu kaya birimlerinden hazırlanan NX boyutlarındaki numuneler, ISRM tarafından önerilen yükleme hızında, hidrolik pres altında tek eksenli olarak sıkıştırılmaları planlanmıştır. Gerilme altındaki numunenin elektriksel direnç değişimlerini izleyebilmek için numuneler 24 saat boyunca normal oda sıcaklığında, çeşme suyunda bekletilmiştir. Suya doymun hale getirilen numuneler bir streç-film ile sarılarak deneye tabii tutulmuştur. Deney esnasında zamana bağlı olarak yük artışları, yatay ve düşey deformasyon değişimleri ve ayrıca eş zamanlı elektriksel direnç değişimleri okunmuştur. Elde edilen sonuçlar bu bildiriye sunulmuştur.

2 NUMUNELERİN HAZIRLANMASI

Tek eksenli gerilme altında kaya malzemesinin elektriksel direnç ve deformasyon davranışlarının belirlenmesi amacıyla dokuz farklı kaya biriminden NX boyutunda numuneler hazırlanmıştır. Bu seçilen kaya birimleri sırasıyla; orta taneli gri-beyaz kireçtaşı (OTK), ince taneli beyaz kireçtaşı (İTK), fosilli kireçtaşı (FK), dolomitli kireçtaşı (DK), kil taşı (K), Gri konglomera (GK), jips (J), kırmızı konglomera (KK) ve kahve renkli konglomera (KRK)'dir. Bu çalışmada özellikle numune boyutlarının aynı olmasına dikkat edilerek boy-çap (l/d) oranları 2

alınmıştır. Dokuz farklı kaya biriminden toplam 27 adet karot numunesi hazırlanmıştır. Numunelerin hazırlandığı kaya birimleri, boyutları ve adetleri Çizelge 1’de görülmektedir.

Çizelge 1. Hazırlanan numunelerin kaya birimlerine göre dağılımı ve boyutları.

Kaya birimi	Boy, L (mm)	Çap, D (mm)	Miktarı (Adet)
OTK	108,5	54,0	3
İTK	108,5	54,0	3
FK	108,5	54,0	3
DK	108,0	54,0	3
K	108,5	54,0	3
GK	105,0	51,3	3
J	105,0	51,4	3
KK	109,0	54,0	3
KRK	109,0	54,0	3

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmaya temel teşkil eden dokuz kaya biriminden hazırlanan numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar şu şekildedir;

3.1 Mekanik Deneyler

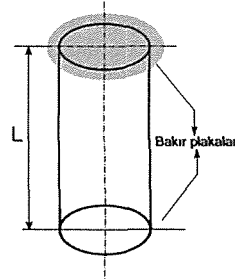
Bu araştırma çalışmasında, farklı dayanımlardaki kaya birimlerinden hazırlanan numuneler üzerinde yoğunluk, tek eksenli basma dayanımı ve deformabilite deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de sunulmuştur. Kireçtaşı kökenli (OTK, İTK, FK ve DK) kaya birimlerinin γ , σ_c ve E_t değerleri sırasıyla 2,38-2,71 gr/cm³, 19,43-33,19 MPa, 3,38-5,16 GPa aralığında iken konglomera kökenli kaya birimlerinde (GK, KK, ve KRK) bu değerlerin sırasıyla 1,62-2,65 gr/cm³, 10,43-22,86 MPa, 0,77-2,32 GPa aralığında olduğu görülmektedir. Kilitaşı (K) kaya birimi sonuçları kahve renkli konglomera (KRK) sonuçlarına yakınen jips (J) kaya biriminin, kireçtaşı ile konglomera arasında konumlandığı belirlenmiştir.

3.2 Elektriksel Direnç Ölçüm Deneyleri

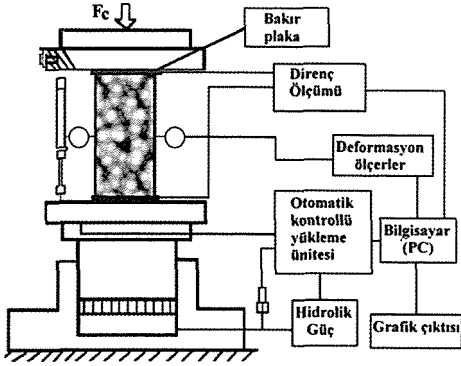
Farklı kaya birimlerinden hazırlanan karot numuneler üzerinde elektriksel direnç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Öncelikle suya doyurulmuş numunelerin simetrik üst ve alt yüzeyine 1 mm kalınlığında ve 60 mm çapında bakır levhalar yerleştirilmiştir. Nem kaybını engellemek amacıyla numune plastik streç ile kaplanmıştır (Şekil 1). Deney hazırlanan numuneler, Şekil 2’de görülen deney düzeneğindeki 300 tonluk hidrolik pres altında ISRM tarafından önerilen 1MPa/sn yükleme hızı ile sabit artan bir yüklemeye maruz bırakılmıştır. Bu deney esnasında numunelerin birim deformasyon-gerilme davranışları zamana bağlı belirlenirken, aynı zamanda Şekil 2’de görüldüğü gibi numune üzerinden eş zamanlı elektriksel direnç değişimleri belirlenmiştir. Bu deney sonucunu yansıtan her bir farklı kaya birimine ait tipik birer grafik Şekil 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 ve 11’de sunulmuştur.

Çizelge 2. Seçilen kaya birimlerinin; tabii yoğunluk (γ), tek eksenli basma dayanımı (σ_c) ve tanjant Elastik modül (E_t) değerleri.

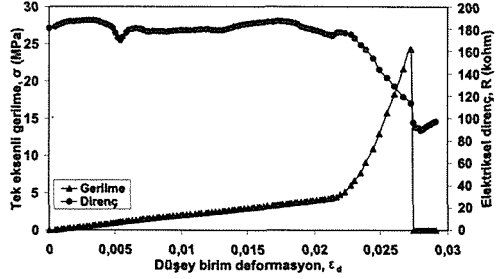
Kaya Birimi	γ (gr/cm ³)	σ_c (MPa)	E_t (GPa)
OTK	2,71±0,05	28,63±13,12	5,16±3,57
İTK	2,60±0,01	33,19±9,05	5,16±0,41
FK	2,50±0,06	19,43±6,04	3,38±1,44
DK	2,38±0,01	25,83±6,48	3,67±3,2
K	1,59±0,02	16,11±2,17	0,86±0,18
GK	2,65±0,03	18,71±11,41	1,67±1,29
J	2,33±0,00	14,61±0,10	0,99±0,14
KK	1,85±0,08	22,86±2,98	2,32±1,18
KRK	1,62±0,06	10,43±0,83	0,77±0,24



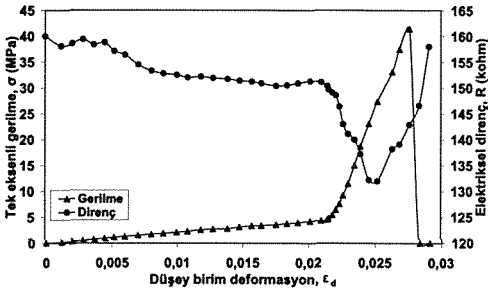
Şekil 1. Elektriksel direnç deneyleri için bakır levhalar ile hazırlanmış tipik bir numune modeli.



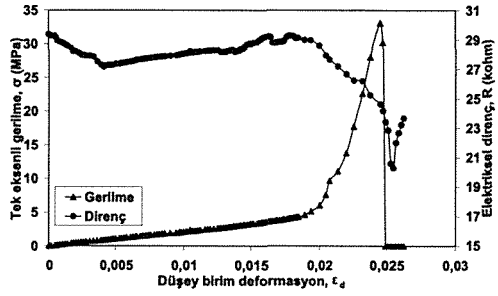
Şekil 2. Sabit artan yük altında gerilme-deformasyon-elektriksel direnç ölçüm deney düzeneği.



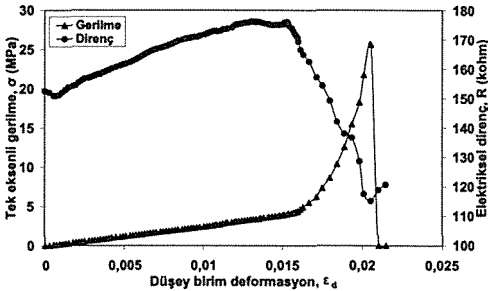
Şekil 5. Fosilli kireçtaşı (FK3) kaya birimi için tipik bir birim deformasyona karşı gerilme ve elektriksel direnç davranışı.



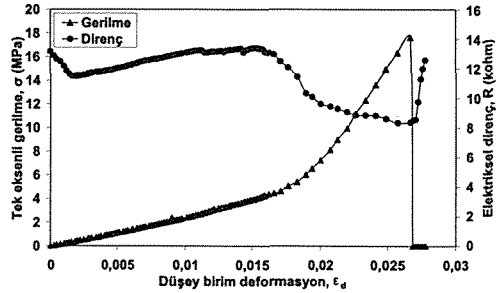
Şekil 3. Orta taneli gri-beyaz renkli kireçtaşı (OTK1) kaya birimi için tipik bir birim deformasyona karşı gerilme ve elektriksel direnç davranışı.



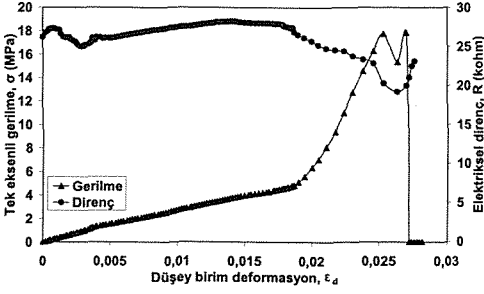
Şekil 6. Dolomitli kireçtaşı (DK1) kaya birimi için tipik bir birim deformasyona karşı gerilme ve elektriksel direnç davranışı.



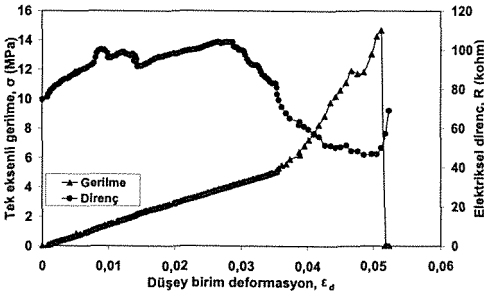
Şekil 4. İnce taneli beyaz kireçtaşı (İTK2) kaya birimi için tipik bir birim deformasyona karşı gerilme ve elektriksel direnç davranışı.



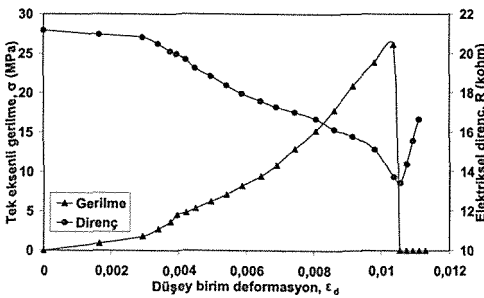
Şekil 7. Kil taşı (K3) kaya birimi için tipik bir birim deformasyona karşı gerilme ve elektriksel direnç davranışı.



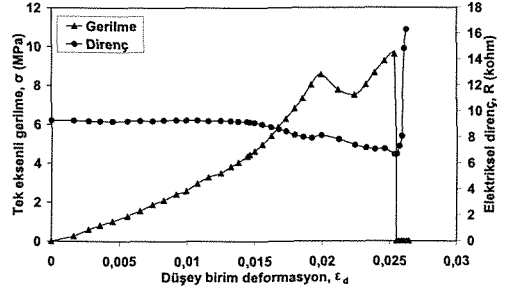
Şekil 8. Gri konglomera (GK6) kaya birimi için tipik bir birim deformasyona karşı gerilme ve elektriksel direnç davranışı.



Şekil 9. Jips (J3) kaya birimi için tipik bir birim deformasyona karşı gerilme ve elektriksel direnç davranışı.



Şekil 10. Kırmızı konglomera (KK1) kaya birimi için tipik bir birim deformasyona karşı gerilme ve elektriksel direnç davranışı.



Şekil 11. Kahve renkli konglomera (KRK2) kaya birimi için tipik bir birim deformasyona karşı gerilme ve elektriksel direnç davranışı.

4 DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

OTK, İTK, FK, DK, K, GK, J, KK ve KRK kodlu kaya birimlerinden hazırlanan karot numunelere ait grafikler incelendiğinde; i) yüklemenin ilk aşamasında sabit yük artışı ile oluşan basma gerilmesi altındaki malzemede ilk önce gözeneklerin kapandığı ve elastik sınırlar içerisinde olduğu esnada malzemede elektriksel direnç değerlerinin küçük sabit bir eğimde değişim sergilediği görülmektedir, ii) ancak muhtemelen kaya davranışının elastik kısmı geçildikten hemen sonra başlayan doğrusal karakterdeki düşey birim deformasyon-basma gerilmesi değerlerinin başlangıcında (muhtemelen mikro çatlakların oluşmaya başladığı bölge) elektriksel direnç değişimlerinin de hızlı bir azalma eğilimi gösterdiği tespit edilebilmektedir, iii) düşey birim deformasyon-basma gerilmesinin doğrusal davranış gösteren ikinci kısmında ise (yenilme noktasına doğru-kalıcı deformasyonların görüldüğü bölge) elektriksel direnç değişimlerinin yine hızlı ve hemen hemen aynı eğimde azaldığı görülmektedir, iv) ancak malzemede yenilmenin gerçekleştiği noktada oluşan en düşük elektriksel direnç değerinin, karot numunesinin parçalanmasına paralel tekrar hızlı artma eğilimine girdiği görülmektedir.

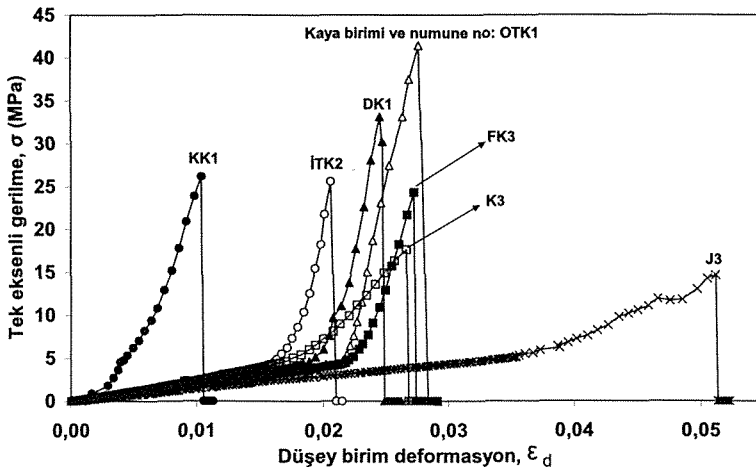
Bu çalışmaya model teşkil eden kaya birimleri üzerinde gerçekleştirilen deneylere ait sonuçlar, ayrıca kaya birimlerinin birbirleri ile karşılaştırılmasında

kullanılmıştır. Düşey birim deformasyon-tek eksenli gerilme davranışları Şekil 12’de, düşey birim deformasyon-elektriksel direnç davranışı Şekil 13’de ve elektriksel direnç-tek eksenli gerilme davranışı ise Şekil 14’de sunulmuştur.

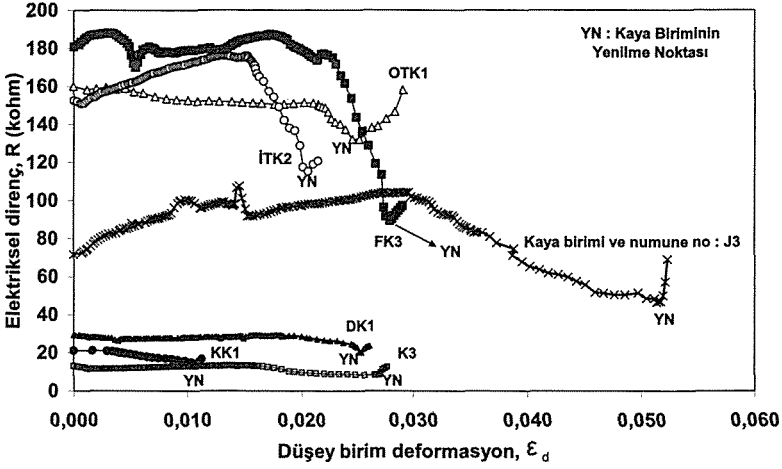
Şekil 12’de görüldüğü gibi düşey birim deformasyon ile tek eksenli gerilme davranışlarının malzeme dayanımına bağlı olarak daha dik eğimlere ulaştığı ve yenilme dayanımlarının büyüdüğü tespit edilmiştir. Seçilen kaya birimlerinin tek eksenli basma dayanımlarının 10-33 MPa aralığında, en yüksek düşey birim deformasyonlarının ise 0,01-0,05 aralığında değiştiği görülmektedir. Şekil 13’de verilen düşey birim deformasyon ve elektriksel direnç ilişkisinde ise, direnç değerlerinin malzemenin düşey birim deformasyon değerlerinin artmasıyla başlangıçta çok az değiştiği ancak malzemede elastik sınırın aşılması ile elektriksel direncin birden azaldığı ve takibinde malzemenin yenilmesi sonucunda direncin hızla arttığı görülmektedir. Deneylerden belirlenen elektriksel direnç değerlerine bakıldığında üç farklı gruplaşmanın olduğu görülmektedir. Kaya birimleri; 10-30 kohm, 150-180 kohm ve 70 kohm aralıklarında gruplanmaktadır. Deney başlangıcında elektriksel direnç değerlerinin büyük olduğu (150-180 kohm) kaya birimlerinde, elektriksel direnç değişimlerinin tek eksenli gerilmeye bağlı

olarak daha büyük aralıkta olurken (örneğin FK3 kaya birimi için 180-80 kohm), 10-30 kohm aralığında gruplaşan kaya birimlerinde ise elektriksel direnç değişimlerinin daha az (örneğin DK1 kaya birimi için 30-25 kohm) olduğu belirlenmiştir. Ancak direnç değişimleri, ister büyük olsun ister küçük olsun tek eksenli yükleme altında kaya maddesinin elektriksel direnç değişimleri hep aynı davranışları sergilemişlerdir, yani yenilme öncesi hızla azalan elektriksel direnç değerleri kırılma anından sonra hızla artmaktadır. Direnç ve tek eksenli basma dayanımının verildiği Şekil 14’de ise, elektriksel dirençlerin malzemenin yenilme öncesine kadar değişim göstererek azaldığı sonrasında ise birden direnç değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca kaya malzemesinin mekanik değerleri (γ , σ_c ve E_t) iyileştikçe elektriksel direnç verilerinin büyüdüğü tespit edilmiştir.

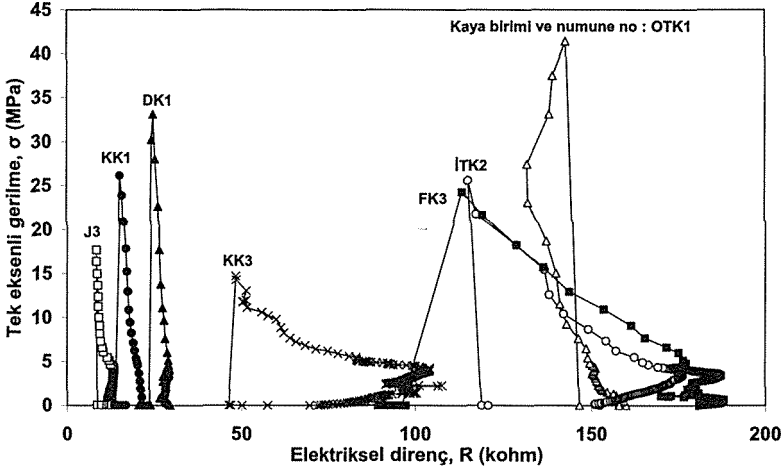
Deneyisel çalışmalar neticesinde ayrıca numunelerin kırılma anında ölçülen elektriksel direnç değerleri, tek eksenli basma dayanımı ve Elastik modül değerleriyle karşılaştırılmıştır. Her iki durumu yansıtan grafikler Şekil 15 ve 16’da verilmiştir. Bu grafiklerden görüldüğü gibi kırılma anındaki elektriksel direnç değeri büyüdükçe tek eksenli basma dayanımı ve Elastik modül değeri logaritmik karakterde artmaktadır.



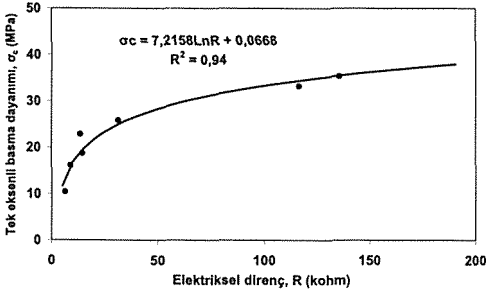
Şekil 12. Farklı kaya birimleri için düşey birim deformasyon-gerilme davranışı.



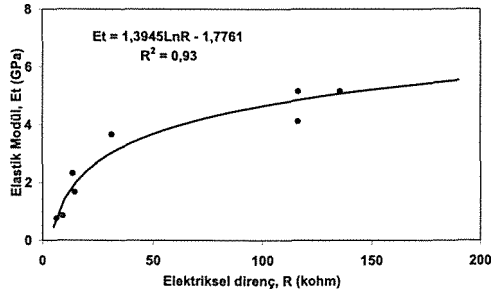
Şekil 13. Farklı kaya birimleri için düşey birim deformasyon-elektriksel direnç değişimi.



Şekil 14. Farklı kaya birimleri için elektriksel direnç-gerilme davranışı.



Şekil 15. Farklı kaya birimleri için yenilme anındaki elektriksel direnç-tek eksenli basma dayanımı davranışı.



Şekil 16. Farklı kaya birimleri için yenilme anındaki elektriksel direnç-elastik modül ilişkisi.

5 SONUÇLAR

Bu çalışmada dokuz farklı kaya biriminden hazırlanan NX karot numuneler üzerinde yoğunluk, tek eksenli basma dayanımı, deformabilite ve elektriksel direnç ölçüm deneyleri gerçekleştirilmiş ve sonuçları aşağıda sunulmuştur.

1. Kaya birimleri için gerçekleştirilen mekanik deney sonuçlarının birbirleri ile uyumlu oldukları görülmüştür. Tek eksenli basma dayanımı ile tanjant elastik modül değerlerine göre kaya birimleri sağlamdan zayıfa doğru; ince taneli beyaz kireçtaşı (İTK), orta taneli gri-beyaz kireçtaşı (OTK), dolomitli kireçtaşı (DK), kırmızı konglomera (KK), fosilli kireçtaşı (FK), gri konglomera (GK), kil taşı (K) , jips (J) ve kahve renkli konglomera (KRK) olarak sıralanmaktadır (Çizelge 2).

2. Sabit artan yüklemeye altında elektriksel direnç değişimleri, birim deformasyon ve tek eksenli basma gerilmesi ile oldukça uyumlu sistematik bir davranış sergilemiştir (Şekil 3-11).

3. Deney sonuçları, malzeme üzerindeki gerilmeye bağlı deformasyon davranışının (malzeme üzerinde önce mikro ve daha sonrasında malzemenin kırılmasına neden olan makro çatlakların oluşumunun), elektriksel ölçüm yöntemi ile takip edilebileceğini ifade etmektedir.

4. Gerilme altındaki kaya malzemelerinin kırılma öncesinde elektriksel dirençlerinin düştüğü takibinde ise arttığı bulgusu (Lorne ve arkadaşları (1999), Chen ve Lin (2004), Özkan ve arkadaşları (2004), Kılıç ve arkadaşları (2004), Geniş ve Aydan (2006)), bu çalışma sonuçlarında da görülmüştür (Şekil 3-11).

5. Sabit artan yüklemeye altında elektriksel direnç değişimleri, malzeme dayanımının artmasıyla birinci maddedeki sıralamaya uygun farklı büyüklüklerde ancak benzer sistematik davranışlar sergilemişlerdir (Şekil 13).

6. Bu çalışma için seçilen kaya birimlerinin mekanik dayanımları arttıkça göreceli olarak elektriksel direnç değerlerinin de arttığı belirlenmiştir (Şekil 13).

7. Sabit artan yüklemeye altında elektriksel direnç değişimleri, kaya malzemelerinin

yenilme öncesine kadar azalma yönünde bir değişim gösterdiği daha sonra ise hızla arttığı tespit edilmiştir (Şekil 13 ve 14).

8. Mekanik ve tek eksenli gerilme altındaki elektriksel direnç değerleri birbirleri ile karşılaştırılmış, sonuç olarak kırılma anındaki elektriksel direnç değerleri ile tek eksenli basma dayanımı ve elastik modül değerleri arasında logaritmik yakın bir istatistiksel ilişkinin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 15 ve 16).

9. Basma gerilmesi etkisinde kalan malzemelerin elektriksel direnç davranışlarında belirlenen sistematik yapının, laboratuvar çalışmalarında kaya malzemelerinin yenilme davranışlarının belirlenmesinde ve izlenmesinde kullanılabilecek bir yöntem olduğu ortaya konulmuştur.

10. Bu çalışmada model olarak seçilen doğal kaya malzemelerinde izlenen sistematik gerilme-direnç davranışının, yerinde topuk gibi doğal kaya yapılarında da izlenebileceği düşüncesi oluşmuştur. Gerilme-direnç davranışının, kaya mühendislik yapılarındaki kaya malzemelerinin yenilme öncesi davranışlarının belirlenmesinde kullanılması ve hatta matematiksel olarak da tanımlanabilecek olması uygulayıcı mühendislerin karşılaştıkları duraysızlık problemleri için önceden tedbir almasına olanak tanyabilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, Öğretim Görevlisi Sayın Osman Sami Güven'e elektriksel ölçüm düzeneğinin hazırlanmasındaki katkılarından dolayı teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Bahr, K., 1997. Electrical anisotropy and conductivity distribution functions of fractal random networks and of the crust: the scale effect of connectivity, *Geophys. J. Int.*, 130, s.649-660.
- Bilim, N., Özkan, İ., Gökay, M.K., 2002. Elektriksel direnç yöntemi aracılığıyla kaya maddelerinde süreksizlik düzlemlerinin belirlenmesi. KAYAMEK'2002-VI. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, s.121-127.

- Bilim, N. 2002. Elektriksel direnç yöntemi aracılığıyla kaya maddelerinde süreksizliklerin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. 116s.
- Chen, G., Lin, Y, 2004. Stress-strain-electrical resistance effects and associated state equations for uniaxial rock compression, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 41. pp. 223-236.
- Geniş, M., Aydan, Ö, 2006. Terkedilmiş oda-topuk yeraltı linyit ocağının dinamik duraylılığının değerlendirilmesi, KAYAMEK'2006, 8. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, İstanbul, s.29-38.
- Gökay, M.K., Özkan, İ, 2000. Su içeriğinin kayalardaki elektrik geçirgenliğine etkisi, 5. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, Isparta, s.76-89.
- Gökay, M.K., Özkan, İ, 2001. Diversity of electrical conductivity in a water-bearing rock material, 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey IMCET 2001, Ankara, pp 431-436.
- Jones, A.G, 1999. Imaging the continental upper mantle using electromagnetic methods, Lithos 48, pp 57-80.
- Kahraman, S., Alber, M, 2006. Predicting the physico-mechanical properties of rocks from electrical impedance spectroscopy measurements. Int. J. of. Rock. Mech.& Mining Sci. Vol.43, pp.543-553.
- Kamenetsky, F.M., Novikov, P.V, 1997. A physical study of low-frequency dispersion of rock conductivity in time-domain electromagnetics, Association of Geoscientists & Engineers, Geophysical Prospecting, 45, pp 421-434.
- Kılıç, M., İnan, H.S., Bilgin, H.A, 2004. Bazı kayaların tek eksenli yükleme altında elektriksel potansiyel davranışları, KAYAMEK'2004, 7. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Sivas, s.145-150.
- Koelman, J.M.V.A., Kuijper, A. de. 1997. An effective medium model for the electric conductivity of an n-component anisotropic and percolating mixture, Physica A 247, pp 10-22.
- Lorne, B., Perrier, F., Avouac, J, 1999. Streaming potential measurements 2. relationship between electrical and hydraulic flow patterns from rock samples during deformation, Journal of Geophysical Research, Vol. 104, No. B8, pp 17879-17896.
- Özkan, İ., Bilim, N., Sezer, R., Gökay, M.K, 2004. Beton malzemelerde dayanım değerlerinin belirlenmesi için hasarsız yeni bir yaklaşım: Elektriksel geçirgenlik yöntemi, KAYAMEK'2004, 7. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Sivas, s.157-167.
- Roberts, J.J., Duba, J.J., Mathez, E.A., Shankland, T.J., Kinzler, R, 1999a. Carbon-enhanced electrical conductivity during fracture of rocks, Journal of Geophysical Research, Vol. 104, No. B1, pp 737-747.
- Roberts, J.J., Tyburczy, J.A, 1999b. Partial-Melt Electrical Conductivity: Influence of Melt Composition, Journal of Geophysical Research, Vol. 104, No. B4, pp 7055-7065.
- Shankland, T.J., Duba, A.G., Mathez, E.A., Peach, C.L, 1997. Increase of electrical conductivity with pressure as an indicator of conduction through a solid phase in midcrustal rocks, Journal of Geophysical, Vol. 102, No. B7, pp. 14,741-14,750.
- Yardley, W.D., Valley, J.W, 1997. The petrologic case for a dry lower crust, Journal Geophysical Research, Vol. 102, No. B6, pp. 12173-12185.

Bazı Granitlerin Fiziko-Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkilerinin Değerlendirilmesi

Evaluating Relationships Between The Physico-Mechanical Properties of Some Granites

A.M. Kılıç, M.Ö. Keskin
Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

ÖZET Granit, yapılarda dış cephe kaplama ve bina içi yer döşemelerinde kullanılan bir kayadır. Genelde iri taneli olması ona estetik bir değer kazandırırken, fiziko-mekanik özellikleri diğer kesilip parlatılabilen kayalara göre oldukça yüksektir. Ülkemizde granit üretimi Marmara, İç Anadolu, Ege, Doğu Anadolu, Orta ve Doğu Karadeniz bölgelerinde gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada, Ege Bölgesi'nde üretilen Bergama Gri, İç Anadolu Bölgesi'nde üretilen Aksaray Yaylak, Trakya Bölgesi'nde üretilen Balaban Green ve Doğu Karadeniz Bölgesi'nde üretilen Giresun Vizon granitlerinin, fiziko-mekanik özelliklerinden, birim hacim ağırlık, tek eksenli basma dayanımı, nokta yük dayanım indeksi, darbe dayanımı, yüzeysel aşınma kaybı, eğilme dayanımı ve çekme dayanımı değerleri yapılan laboratuvar çalışmalarıyla tespit edilmiş ve bulunan bu fiziko-mekanik değerler arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

ABSTRACT: Granite is a kind of rock, used as covering and flooring material in the buildings. It has higher physical and mechanical properties than other rocks which can be cut and shined. Being a big grain size makes it more valuable and aesthetic. The granite production is realized in Marmara, Central Anatolian, Aegean, East Anatolia and Black Sea regions.

In this study, the physical and mechanical properties, such as unit weight, uniaxial compressive strength, point load index, impact strength, surface abrasion, flexural strength and indirect tensile strength values of Bergama gray granite produced in Aegean, Aksaray yaylak granite produced in Central Anatolian, Balaban Green granite produced in Trakya and Giresun Vizon granite produced in Eastern Black sea regions have been determined by the laboratory tests and also the relationships between these physico-mechanical properties have been investigated.

1 GİRİŞ

Doğal yapı taşlarının insan hayatına girmesi binlerce yıl öncesine dayanır. Doğal yapı ve kaplama taşlarının dayanımı, zarafeti ve potansiyel zenginliği ile asırlardan beri insan oğlunun vazgeçilmez sanat kollarından birini ve yapı elemanlarını oluşturmuştur. Hititler, Eski Mısırlılar, Frigyalılar, Mezopotamya Medeniyeti, Persler, Lidyalılar, Eski

Yunanlılar, Greko Romenler, Romalılar, Selçuklular, Osmanlılar ve diğer birçok medeniyet, günümüze kadar gelen ve çağlarına ışık tutan tüm yapı ve güzel sanat eserlerinde doğal yapı taşlarını sıkça kullanmışlardır. Dünya coğrafyasına baktığımız zaman petrografide mermer olarak adlandırılan granit; yapısında bulunan mineraller sayesinde tüm iklim koşullarına

dayanıklı, parlaklığını uzun süre koruyabilen, sert, estetik açıdan güzel olmasından dolayı iç ve dış cephelerde, yer döşemesi, lavabo, tezgâh yapımında ve yapı sektöründe kullanılmaktadır. Yer kabuğunun derin kısımlarında olması ve sertliğinin fazla oluşu sebebiyle çıkarılıp işlenmesi zor olsa da yaşamın doğallığını, kaliteyi isteyen tüketiciler tarafından tercih edilmektedir.

Dünya'da mermer ve granite olan talep sürekli artmakta ve mermercilik sektörü, en cazip sektörlerden biri haline gelmektedir.

Alp-Himalaya kuşağı içinde kalan Portekiz, İspanya, İtalya, Yunanistan, Türkiye, İran ve Pakistan gibi ülkeler karbonatlı kayalar, mermer, kireçtaşı, traverten, granit ve oniks açısından büyük potansiyele sahiptirler. İspanya, Norveç, Finlandiya, Ukrayna, Rusya, Pakistan, Hindistan, Çin, Brezilya ve Güney Afrika ise işletilebilir magmatik kayaç (sert taş) potansiyeli yüksek olan ülkelerdir (Yılmaz ve Safel, 2004).

Dünya genelinde doğal taşların yapı ve dekorasyon malzemesi olarak kullanılmaya başlanması doğal taş üretiminin artmasına neden olmuştur. Özellikle son on yılda görülen artış, kazanım ve işleme teknolojisindeki gelişmelere paralellik göstermektedir. Giderek daha mükemmel hale getirilen işleme teknikleri ile taş, kolay ve ekonomik olarak istenen şekilde işlenmekte ve yeni kullanım alanları bulmaktadır.

Doğal taşın malzemelerin mimar ve tasarımcılar tarafından daha fazla tercih edilmesi dünyadaki tüketici sayısının artmasına neden olmuştur. Önemli ölçüde düşen piyasa fiyatları, ekolojik ve estetik görünümlü malzemelere olan ilginin artması da tüketimin artmasına yardımcı olmuştur. Uzmanlar gelecek yıllarda bu gelişmenin süreceği tahmininde bulunmaktadır (Mermer Sektörü, 2004).

Dünya doğal taş üretimi oldukça hızlı bir artış göstermektedir. 1986 yılında 22 milyon ton olan üretim, 2003 yılında 75 milyon tona yükselmiştir. Türkiye'nin üretimdeki payı ise 6 milyon ton ile % 8'e ulaşmıştır (Mermer Sektörü, 2004).

Dünya doğal taş sektöründe Çin, İtalya, İspanya, Türkiye, Hindistan, Brezilya ve Portekiz dünya doğal taş üretiminin yaklaşık % 70'ini gerçekleştirmekte, üretimini arttıran ülkeler sıralamasında Çin, Türkiye ve Brezilya ilk üç sırada yer almaktadır.

Dünya ticaretinde 1990-2002 yılları arasındaki ortalama yıllık artış oranı % 3,8 iken, aynı dönemde doğal taş ticaretindeki artış oranı % 8,1 olarak gerçekleşmiştir (Stone 2005).

Dünya doğal taş ticareti 2003 yılında yaklaşık 27,5 milyon ton olup bunun % 55'i işlenmiş ürün olarak gerçekleşmiştir. Bu, 6-7 milyar \$'lık bir değere karşılık gelmektedir. Türkiye'de ise 1,1 milyon tonluk doğal taş ticaretinde işlenmiş ürün oranı % 75 olup, ülkemiz, dünya doğal taş ticaretinden % 4 oranında pay almaktadır (Stone 2005).

Projeksiyonlar, 2003 yılında yaklaşık 75 milyon ton olan dünya doğal taş üretiminin, 2010 yılında 116 milyon tona, 2025 yılında ise 320 milyon tona çıkacağını göstermektedir (TUMMER, 2004).

Doğal taş tüketimindeki artış hızı aynen devam ederse, 2002 yılında yaklaşık 736 milyon m² olan dünya doğal taş tüketiminin, 2010 yılında 1.2 milyar m² ye, 2025 yılında ise 3.4 milyar m² ye çıkacağı tahmin edilmektedir (Stone 2005).

Dünyada doğal taş kullanımını arttıran faktörlerin başında zenginlik, kültür ve nüfus gelmektedir. Ancak, nüfusu nedeniyle dünyada Çin ilk sırada gözükmeye karşın kişi başına düşen doğal taş kullanımı sıralamasında çok gerilerde kalmaktadır.

Türkiye'nin doğal taş üretimi 15 yıl içinde büyük bir ivme kazanarak 1986 yılında 600 bin ton iken 2003 yıl itibarıyla 6 milyon tona yükselerek tam 10 kat artış göstermiştir (Stone 2005).

Kayaçların fiziko-mekanik değerleri arasında orantısız bir ilişki mevcuttur. Örneğin, granitik kayaçlarda, tek eksenli basma dayanımı değerinin, nokta yük dayanım indeksi değeriyle doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir (Basu ve Aydın, 2006). Yine, Türkiye'de bulunan granitik kayaçlar üzerinde yapılan testler, granitik kayaçların tüm fiziko-mekanik değerleri arasında bir korelasyon olduğunu

göstermektedir (Tuğrul ve Zarif, 1999). Porozite ile yoğunluk ilişkisi grafiklerinden bulunan formüllerle, aşağı yukarı, belirli bir yoğunluktaki porozite tahmin edilebilmektedir (Begonhaa ve Sequeira, 2002). Tabi bu ilişki grafiği ile elde edilen formül ve regresyon katsayısı, farklı kayaç gruplarında, farklı bulunup hesaplanmalıdır. Kayaçlarda, tek eksenli basma dayanımı değerleriyle sonik hız değerleri orantılı olarak artmaktadır (Entwisle, ve diğ., 2005). Kayaçlarda, deneyler sonucu bulunan tek eksenli basma dayanımı değerleri ile sonik hız üzerinden tahmini bulunan değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür (Karakuş ve Tütmez, 2006). Bununla birlikte, kayaçların young modülü ve elastisite indisi değerleri, sonik hızlarıyla orantılı olarak değişmektedir (Doghmane ve diğ., 2007). Kayaçlarda eklem pürüzlülük katsayıları değişimi bile sonik hız değerleriyle ilişkilidir (Kahraman, 2002). Kayaçlardan P dalgalarının geçiş hızları, laboratuvar ortamında, doğrudan tespit edilebildiği gibi dolaylı yollardan da tespit edilebilir (Kahraman, 2002; Kılıç, 2006).

Tüm kesilip-parlatılabilen taşlarda olduğu gibi granitlerin de ekonomik olarak değerlendirilmeden önce bazı önemli özelliklerinin tespit edilmesi gerekir. Jeolojik özellikler, üretim (blok alma vs.) aşamasını ve üretim yöntemini şekillendirirken, fiziksel ve mekanik özellikler, üretilen malzemelerin boyut ve şekilleri ile kullanımını ve pazar durumunu belirlemektedir.

Türkiye’de işlenen birçok asidik ve bazı nötr kayaçların yayılımlarına dikkat edilirse bunların üç bölgede toplandıkları görülür.

a) Türkiye’nin kuzeybatısı ve Marmara Denizi’nin güneyi,

b) Orta Anadolu Bölgesi, Kırşehir- Nevşehir yöresi,

c) Türkiye’nin Kuzey doğusu, Doğu Karadeniz bölgesi.

Bu bölgeler dışında ülkemizde daha birçok irili ufaklı granit ve granadiyorit sokulumlarına rastlamak mümkündür. Ülkemizde işletilen asidik kayaçlar içinde en tanınanları Ayvalık ile Bergama arasında işletilen Kozak graniti, Doğankent-Giresun’da işletilen Karadeniz Gri, Ortoklas

kristallerinin rengi nedeni ile hafif pembe görümlü olan Kaman-Kırşehir’de işletilen Türk Lokumu, Sıvı-Kırşehir’de işletilen Anadolu ve epidotlu granit olan Balaban Green, Giresun Vizon, Kırşehir Kaman, Aksaray Nova, Aksaray Yaylak, Kırçıçeği Pembe, Kırçıçeği, Anatolian Grey, Beypazarı ve Kaman Rosa bilinen Türk granitleridir (Temur ve Yıldırım, 2005).

2 ÇALIŞMA ALANLARIYLA İLGİLİ BİLGİLER

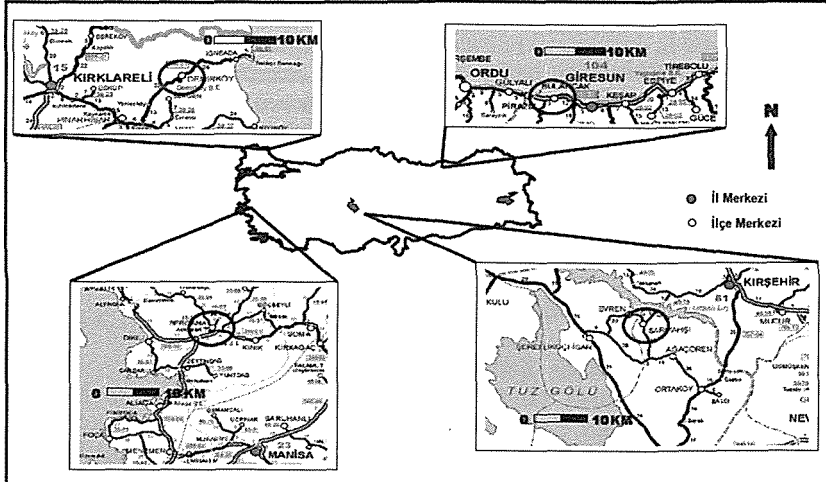
Granitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi için Türkiye’de dört farklı bölgeden numuneler alınmıştır. Bu numuneler, Ege, İç Anadolu, Marmara ve Karadeniz Bölgelerindeki Granitaş’a bağlı ocaklardan alınan, Aksaray Yaylak, Giresun Vizon, Bergama Gri ve Balaban Green olarak adlandırılan granit numuneleridir (Şekil 1).

Aksaray Yaylak granit ocağı, Aksaray ili Sarıyahşi ilçesine bağlı yaylak köyünde bulunmaktadır. 1995 yılında üretime başlayan ocağın 500,000 m³ görünür rezervi olup, 4000-5000 m³/yıl üretim yapılmaktadır (Şek. 1).

Giresun vizon granit ocağı, Giresun ili Bulancak ilçesi Derecikalan köyüne bağlıdır. 1993 yılında üretime başlayan ocakta görünür rezerv 200,000 m³’tür ve yıllık 1000-1500 m³’lük üretim yapılmaktadır (Şek. 1).

Bergama gri granit ocağı, İzmir ili Bergama ilçesi Hacıhamzalar köyüne bağlıdır. 1996 yılında üretime başlanan ocak 200,000 m³’lük görünür rezerve sahiptir ve 3000 m³/yıl üretim yapılmaktadır (Şek. 1).

Balaban Green granit ocağı ise Kırklareli ili Demirköy ilçesi Balaban köyü sınırları içerisinde. Bu ocak 1991 yılında üretime başlamış olup 100,000 m³ görünür rezerv ve 500-1000 m³’lük yıllık üretime sahiptir (Şek. 1).



Şekil 1. Numunelerin alındığı ocakların yer bulduru haritası.

3 FİZİKO-MEKANİK ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİ İÇİN YAPILAN DENEYLER

3.1 Birim Hacim Ağırlık

Kayaçların birim hacim ağırlık değerlerini tespit etmek için 4x4x9 cm ebatlarında dikdörtgen prizma şeklinde 5 adet numune taş kesme testeresi ile kesilerek hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler, 105°C'ye ısıtılmış etüvde kurutulup, 0,1 mm hassasiyetli kumpasla boyutları belirlendikten sonra, ağırlıkları tartılarak tespit edilmiştir. Numunelerin birim hacim ağırlık değerleri, ağırlıklarını hacimlerine oranlayarak, 1 nolu eşitlikten hesaplanmıştır (TS 699, 1987).

$$d_h = \frac{G}{V} \quad (1)$$

Eşitlikte;

- d_h : Birim hacim ağırlık, gr/cm^3
- G : Numunenin ağırlığı, gr
- V : Numune hacmi, cm^3 'tür.

3.2 Kütlece Su Emme

Yaklaşık olarak 3 cm kalınlığa sahip plakalardan, taş kesme testeresi ile kesilerek hazırlanmış olan 4x4 cm'lik kare numuneler kurumaları için 24 saat süreyle etüvde bekletilmiştir. Kuruyan plaklar desikatörde

soğutulduktan sonra, havanın neminden etkilenmemesi için, hemen tartılmış ve 4 cm derinliğe sahip, içleri su dolu, metal tepsilere yerleştirilmiştir. Bu şekilde su içerisine bırakılan numuneler ısıtıcı üzerine konularak suyun kaynaması beklenmiş ve 5 saat süresince su kaynatılmıştır. Bu işlemden sonra ısıtıcının üzerinden alınan ve içerisinde numune bulunan tepsi, yaklaşık oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulmuştur. Daha sonra numuneler su içerisinden alınıp ıslak bir bez yardımıyla silinmiş ve hemen tartılmıştır. Kütlece yüzde su emme miktarları 2 nolu eşitlikten tespit edilmiştir (TS 699, 1987).

$$S_k = \frac{G_d - G_k}{G_k} \times 100 \quad (2)$$

Eşitlikte;

- S_k : Numunenin kütlece su emme oranı, %
- G_d : Numunenin doymun haldeki kütlesi, gr
- G_k : Değişmez kütlede kurutulmuş numunenin kütlesi, gr'dır.

3.3 Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Kayaçların basınç dirençlerinin bulunması için 4x4x9 cm ebatlarında dikdörtgen prizma şeklinde 5 adet numune taş kesme testeresi ile kesilerek hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler, 105°C'ye ısıtılmış etüvde kurutulup, 0,1 mm hassasiyetli kumpasla

boyutları belirlenerek basma dayanımı test cihazında (Şek. 2) kırılmış ve kırılma yükü kaydedilmiştir. Kırılma yükü ve numune yüzey alanını kullanarak, 3 nolu eşitlikten tek eksenli basınç mukavemeti değerleri tespit edilmiştir (TS 699, 1987).

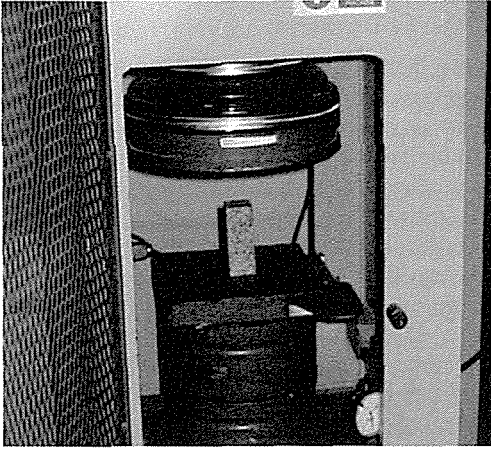
$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3)$$

Eşitlikte;

σ : Tek eksenli basınç dayanımı, kg/cm²,
ve ya MPa

P: Numune yenilme yük değeri, kg

A: Numune yüzey alanı, cm²

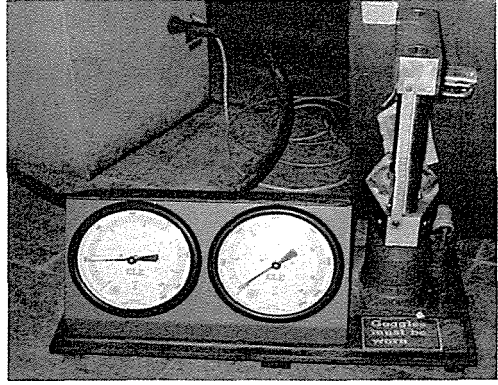


Şekil 2. Tek eksenli basınç dayanımı deney düzeneği.

3.4 Nokta Yük Dayanım İndeksi

Kayaçların nokta yükü dayanım indeksi değerlerinin bulunması için 20×20×20cm'lik bloklardan karotiyer yardımıyla 4,2 cm çapında karotlar alınmış ve taş kesme testeresi ile 5 adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler, 105°C'ye ısıtılmış etüvde kurutulup, 0,1 mm hassasiyetli kumpasla boyutları belirlenerek, deney düzeneğindeki (Şek. 3) baskı uçları arasına yerleştirilmiştir. Numune üzerine devamlı bir yük etkisi verilerek, numunenin 10-60 saniye içerisinde kırılması sağlanmış ve yenilme yük değeri kaydedilmiştir. Deney boyutlarına göre granitin tek eksenli basınç dayanım değeri 4 nolu eşitlikten ve nokta yük

dayanımı indeks değeri ise 5 nolu eşitlikten bulunmuştur (Bieniawski, 1975).



Şekil 3. Nokta yük cihazı.

$$G_C = 24.I_{S(50)} \quad (4)$$

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (5)$$

Eşitliklerde;

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı, MPa

I_s : Nokta yükü dayanım indeksi, MPa

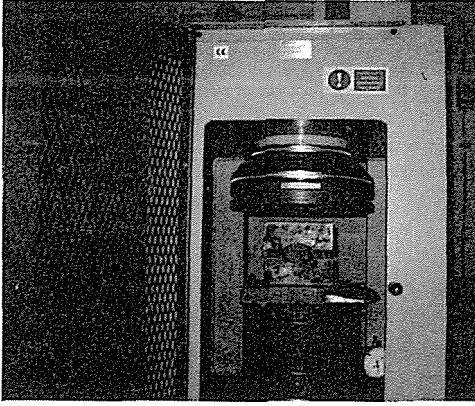
P: Kırılma yükü, kN,

D_e : Eşdeğer çap, cm

3.5 Çekme Dayanımı

Kayaçların çekme dayanımı değerlerinin bulunması için 20×20×20 cm'lik bloklardan karotiyer yardımıyla 4,2 cm çapında karotlar alınmış ve taş kesme testeresi ile 5 adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler, 105°C'ye ısıtılmış etüvde kurutulup, 0,1 mm hassasiyetli kumpasla boyutları belirlenerek (çap-D, kalınlık-t), tek eksenli basma dayanımı test cihazında, endirekt çekme aparatına yerleştirilip (Şek. 4), çapsal yükleme yapılarak kırılmış ve kırılma yükü tespit edilmiştir (P). Yarmada çekme dayanımı, bu değerler yardımıyla 6 nolu eşitlikten hesaplanmıştır (TS 699, 1987).

$$\sigma_t = \left(\frac{0,636 \times P}{D \times t} \right) \times 10^{-3} \quad (6)$$



Şekil 4. Dolaylı çekme dayanımı deney düzeneği.

3.6 Eğilme Dayanımı

Kayaçların eğilme dayanımı; standart boyutta plakaların belirli doğrultuda kırılmaya karşı gösterdiği dirençtir. Granitlerin kullanımı, genellikle belirli boyut ve kalınlıklarda plakalar şeklinde olduğundan, eğilme direnci son derece önemli bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Çünkü plaka kalınlığı, plaka destek ve noktaları arasındaki mesafe granitin eğilme dayanımına göre tespit edilebilmektedir.

Eğilme dayanımının belirlenmesi için granit bloklarının tabakalaşma (şistozite düzlemlerine) yönü dikkate alınarak 3 X 10 X 20cm boyutlarındaki numunelerden 5'er adet hazırlanmıştır.

Deney numuneleri Şekil 5'te görülen deney düzeneğindeki gibi plaka şeklinde, mesnetler arası açıklık 18 cm olacak şekilde deney presi tablaları arasına, yükleme ortadan uygulanabilecek şekilde yerleştirilmiş ve kırılana kadar yük uygulanmıştır. 7 nolu eşitlikten eğilme dayanımı hesaplanmıştır (TS 699, 1987).

$$\sigma_{eg} = \frac{3P \times L}{2b \times h^2} \quad (7)$$

Eşitlikte;

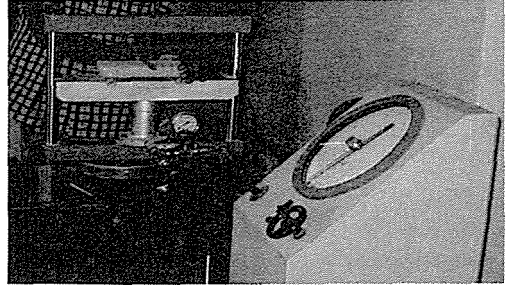
σ_{eg} : Eğilme dayanımı, MPa

P: Kırılmaya neden olan en büyük yük, kg,

L: Deney numunesinin mesnetler arasındaki mesafesi, cm,

b: Deney numunesini genişliği, cm,

h: Deney numunesinin kalınlığı, cm.



Şekil 5. Eğilme dayanımı deney aleti.

3.7 Darbe Dayanımı

Darbe dayanımı; belirli bir doğrultuda gelen darbelere karşı kayacın gösterdiği dirençtir. Darbe dayanımlarının belirlenmesi için blok numunelerden, 4x4x4cm boyutlarında küp numuneler, taş kesme testeresi ile kesilerek hazırlanmıştır.

Darbe dayanımı deneyleri, Şekil 6'da görülen darbe dayanımı deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler, darbe dayanımı deney düzeneğinde, örnek yuvasına yerleştirilip deney tokmağı, 6 nolu eşitlikten hesaplanan, 2,56 cm yükseklikten düşürülmüştür.

$$H=0,04 \times V \quad (8)$$

Eşitlikte;

H : Tokmağın düşme yüksekliği, cm

V : Deney numunesinin hacmi, cm³

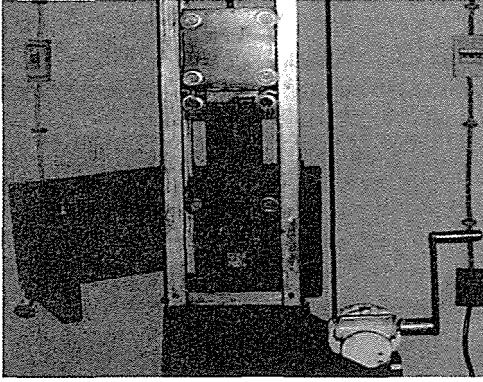
Birinci darbeden sonraki takip eden her darbeye düşme yüksekliği, bir önceki yüksekliğin, ilk düşme yüksekliği kadar (H) artırılmasıyla elde edilmiştir. Deney numunesi kırılana kadar bu işleme devam edilip, kırılmaya neden olan darbe sayısı tespit edilmiştir. Darbe dayanımı, 9 nolu eşitlikten belirlenmiştir (TS 699, 1987).

$$D_n = n(n+1) \quad (9)$$

Eşitlikte;

D_n : Numunenin darbe dayanımı, kg.cm/cm³,

n: Kırılmaya sebep olan darbe sayısıdır.



Şekil 6. Darbe dayanımı deney aleti.

3.8 Sürtünmeyle Aşınma Kaybı

Kayaçların aşınma kaybı, belirli bir yüzeyinde aşındırıcı maddelerle meydana getirilen aşındırma sonucu, oluşan kalınlık ya da ağırlık kaybıdır. Sürtünme etkisi ile oluşan aşınma kayıpları, genellikle karbonatlı kayaçlarda yüksek, mineral içeriği ve içerdiği minerallerin özellikleri nedeniyle sert taş olarak nitelendirilen magmatik kökenli kayaçlarda (granit v.s.) ise düşüktür. Böhme sürtünmeyle aşınma kaybı deneyi, deney sonunda, deney numunelerinin kalınlıklarında veya hacimlerinde meydana gelen azalmanın ölçülmesi esasına dayanır. Böhme yüzey aşındırma deneyi için 7,1×7,1×7,1 cm boyutlarında küp numuneler kullanılmaktadır. Aşındırıcı toz olarak kullanılan zımpara tozu, TS 699'da belirtilen zımpara tozuna uygun olarak seçilmiştir.

Yüzeyinde 9 farklı nokta işaretlenen numunenin, bu noktalarındaki kalınlıkları, kumpas yardımıyla ölçülerek, numunenin aşınmadan önceki kalınlıkları bulunmuş ve bu değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Ebatları ölçülen numune, Şekil 7'de görülen aşındırma cihazındaki deney örneği yuvasına yerleştirilip sürtünme şeridine, her defasında, 20 gr zımpara tozu serpilerek, 440 devirlik aşındırma işlemi, birbirine dik yüzeyler boyunca uygulanmıştır. Aşındırma işleminden sonra, aşındırılmış olan yüzeylerde işaretlenen 9 farklı noktadan numunenin kalınlıkları tespit edilmiş ve bu değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Bu değerler kullanılarak, kalınlık azalması

cinsinden aşınma kaybı değeri 10 nolu eşitlikten hesaplanmıştır (TS 699, 1987).

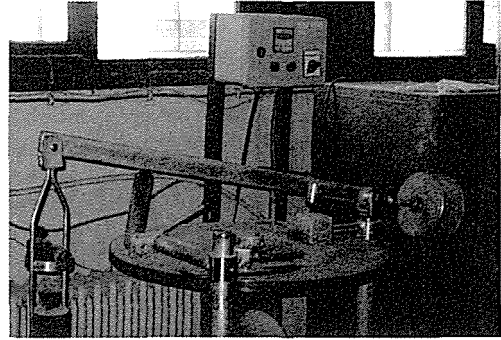
$$d=(d_0-d_i)\times 50 \quad (10)$$

Eşitliktee;

d : Böhme yüzey aşınma kaybı, $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$

d_0 : Numunenin deney öncesi ortalama kalınlığı, cm

d_i : Numunenin deney sonrası ortalama kalınlığı, cm



Şekil 7. Böhme yüzey aşındırma deney aleti.

$$V = \frac{L}{t} \quad (11)$$

3.9 Sonik Hız

Standartlara ultrasonik darbe tayini olarak geçen bu deney, numunenin içerisinden geçen P dalga hızını, Pundit cihazıyla yapılan okuma ve kullanılan numunenin boyuyla tespit etme esasına dayanmaktadır. Öncelikle, kalibrasyon silindiri yardımıyla cihaz ayarlanmıştır. Numunenin boyu ya da uzunluğu (L) ile çapı kumpas ile tespit edilmiş ve Pundit cihazının bir başlığından gönderilen ultrasonik darbenin numunenin içerisinden geçerek diğer başlığına ne kadar sürede ulaştığı, cihazın göstergesinden okunmuştur (t). Bu değerlerden 11 nolu eşitlik kullanılarak, P dalga hızları bulunmuştur (BS EN 12504, 2004).

4 ARAŞTIRMA BULGULARI

Her bir deney için 5 farklı numune kullanılmış olup, 4 farklı granit tipine ait olan fiziko-mekanik özellikler tespit edilmiştir. Granitlerin fiziksel özelliklerinden birim hacim ağırlık ve kütlece su emme yüzdeleri belirlenirken, mekanik özelliklerden, tek eksenli basma dayanımı, nokta yük dayanım indeksi, çekme dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı ve sürtünme ile aşınma kaybı dayanımı değerleri belirlenmiştir. Son olarak ise sonik hız değerleri tespit edilmiştir.

Birim ağırlık deney sonuçlarına bakıldığında ortalama değerlerin 2.66 ile 2.71 gr/cm³ arasında değiştiği görülmekle birlikte, en düşük değer Aksaray Yaylak granitinde elde edilirken, en yüksek değer ise Balaban green granitinde elde edilmiştir. Çizelge 1'de elde edilen değerler toplu olarak verilmektedir.

Çizelge 1. Birim ağırlık deney sonuçları.

Numune Cinsi	Num. No	d _h , gr/cm ³	Ort. d _h , gr/cm ³
Bergama Gri	1	2,66	2,66±0,011
	2	2,68	
	3	2,66	
	4	2,65	
	5	2,67	
Aksaray Yaylak	1	2,61	2,61±0,011
	2	2,63	
	3	2,60	
	4	2,61	
	5	2,61	
Giresun Vizon.	1	2,68	2,67±0,014
	2	2,66	
	3	2,66	
	4	2,69	
	5	2,66	
Balaban Green	1	2,70	2,71±0,016
	2	2,73	
	3	2,72	
	4	2,69	
	5	2,72	

Kütlece su emme değerlerinde ortalama su emme değerlerinin, %0,23-%0,38 arasında değişim gösterdiği görülmüştür. Deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 2. Kütlece su emme deney sonuçları.

Numune Cinsi	Num. No	S _k , %	Ort. S _k , %
Bergama Gri	1	0,39	0,38±0,009
	2	0,39	
	3	0,39	
	4	0,37	
	5	0,38	
Aksaray Yaylak	1	0,34	0,35±0,013
	2	0,36	
	3	0,33	
	4	0,36	
	5	0,35	
Giresun Vizon.	1	0,32	0,31±0,016
	2	0,3	
	3	0,33	
	4	0,32	
	5	0,29	
Balaban Green	1	0,22	0,23±0,011
	2	0,25	
	3	0,24	
	4	0,23	
	5	0,23	

Mekanik özelliklerden tek eksenli basınç dayanımı değerleri irdelendiğinde, ortalama değerlerin 109,98 MPa (Bergama gri graniti) ile 152,44 Mpa (Balaban green graniti) arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Granitlere ait belirlenen tek eksenli basma dayanımı değerleri Çizelge 3'de ayrıntılı olarak verilmektedir.

Nokta yük dayanım indeksi deney sonuçlarına gelindiğinde, tek eksenli basma deney sonuçlarında olduğu gibi en düşük değer Bergama gri granitinde (10,40 MPa) bulunurken, en yüksek değer, Balaban green granitinde (14,55 Mpa) tespit edilmiştir. Deneyler sonucu bulunan değerler Çizelge 4'de verilmektedir.

Çekme dayanımı deney sonuçları da, aynen önceki bölümde verilen sonuçları onaylar bir biçimde elde edilmiştir (Çiz. 5). En düşük değer Bergama gri de (11,31 MPa) bulunurken, en yüksek değer, Balaban green de (16,49 MPa) tespit edilmiştir.

Çizelge 3. Tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları.

Numune Cinsi	Num. No	TEBD, MPa	Ort. TEBD, MPa
Bergama Gri	1	109,67	108,98±2,04
	2	110,79	
	3	105,91	
	4	110,56	
	5	107,96	
Aksaray Yaylak	1	110,28	111,86±1,49
	2	113,75	
	3	111,43	
	4	110,77	
	5	113,09	
Giresun Vizon.	1	123,92	122,58±2,71
	2	119,87	
	3	122,21	
	4	120,39	
	5	126,50	
Balaban Green	1	152,18	152,44±1,64
	2	152,49	
	3	150,75	
	4	155,13	
	5	151,66	

Çizelge 4. Nokta yük dayanım indeksi deney sonuçları.

Numune Cinsi	Num. No	Is, Mpa	Ort. Is, Mpa
Bergama Gri	1	10,55	10,40±0,42
	2	10,49	
	3	10,52	
	4	9,67	
	5	10,79	
Aksaray Yaylak	1	11,07	10,67±0,73
	2	9,71	
	3	10,96	
	4	10,14	
	5	11,50	
Giresun Vizon.	1	11,19	11,96±0,83
	2	13,26	
	3	12,23	
	4	11,73	
	5	11,38	
Balaban Green	1	14,84	14,55±0,50
	2	14,95	
	3	14,32	
	4	13,78	
	5	14,89	

Çizelge 5. Çekme dayanımı deney sonuçları.

Numune Cinsi	Num. No	σ_f , MPa	Ort. σ_f , MPa
Bergama Gri	1	11,21	11,31±0,50
	2	11,58	
	3	10,61	
	4	11,18	
	5	11,97	
Aksaray Yaylak	1	12,08	12,17±0,21
	2	11,89	
	3	12,46	
	4	12,15	
	5	12,29	
Giresun Vizon.	1	14,10	13,82±0,38
	2	13,27	
	3	14,12	
	4	13,59	
	5	14,05	
Balaban Green	1	17,02	16,49±0,58
	2	16,93	
	3	16,68	
	4	15,58	
	5	16,27	

Eğilme ve darbe dayanımı deney sonuçları ise diğer mekanik deney sonuçlarına benzer bir şekilde elde edilmiştir (Çiz. 6 ve Çiz. 7).

Çizelge 6. Eğilme dayanımı deney sonuçları.

Numune Cinsi	Num. No	σ_{eg} , MPa	Ort. σ_{eg} , MPa
Bergama Gri	1	9,65	10,22±0,42
	2	10,02	
	3	10,76	
	4	10,48	
	5	10,21	
Aksaray Yaylak	1	11,26	10,56±0,52
	2	10,79	
	3	9,98	
	4	10,64	
	5	10,13	
Giresun Vizon.	1	12,18	12,19±0,19
	2	12,35	
	3	12,29	
	4	11,87	
	5	12,27	
Balaban Green	1	13,85	13,90±0,57
	2	14,72	
	3	13,16	
	4	13,70	
	5	14,09	

Çizelge 7. Darbe dayanımı deney sonuçları.

Numune Cinsi	Num. No	Dn, kg.cm/cm ³	Dn, kg.cm/cm ³
Bergama Gri	1	20	22±4,47
	2	30	
	3	20	
	4	20	
	5	20	
Aksaray Yaylak	1	30	24±5,47
	2	20	
	3	20	
	4	20	
	5	30	
Giresun Vizon.	1	30	28±4,47
	2	30	
	3	30	
	4	20	
	5	30	
Balaban Green	1	30	32,4±5,36
	2	30	
	3	42	
	4	30	
	5	30	

Son olarak aşınma kaybı değerleri ise 2,60-4,64 cm³/50cm² arasında çıkmakla beraber en düşük ve en yüksek değerler Bergama gri ve Balaban green granitlerinde elde edilmiştir (Çiz. 8).

Sonik hız değerleri deney sonuçlarına gelince, mekanik deney sonuçlarına benzer değişim gösteren sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar Çizelge 9'da ayrıntılı bir şekilde verilmektedir.

Çalışmanın bu aşamasında ise, granitlere ait fiziksel ve mekanik özellikler ile sonik hız deneyleri neticesinde elde edilen deneyler arasındaki ilişki irdelenmiştir. Bu amaçla çeşitli grafikler elde edilmiş ve bu grafikler arasındaki regresyon ortaya konmuştur. Çalışma sonucunda granitlere ait fiziko-mekanik özellikler ile granitlerdeki sonik hız değerleri arasında istatistiksel bir bağlantının bulunduğu tespit edilmiştir. Çalışmalar sonucunda elde edilen bu ilişkiler sırasıyla Şekil 8-15 arasında ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

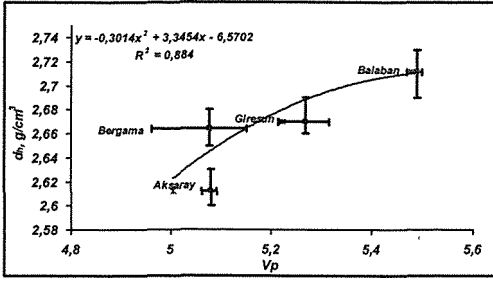
Regresyon analizleri sonucu bulunan regresyon katsayıları ve sonik hız ile diğer özellikler arasındaki ilişkileri belirleyen eşitlikler, Çizelge 10'da verilmiştir.

Çizelge 8. Aşınma kaybı deney sonuçları.

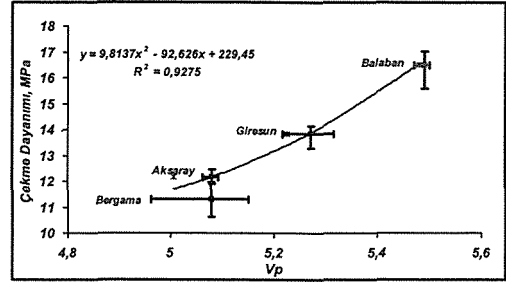
Numune Cinsi	Num. No	Δ_h , cm ³ /50cm ²	Ort. Δ_h , cm ³ /50cm ²
Bergama Gri	1	2,63	2,60±0,03
	2	2,56	
	3	2,59	
	4	2,63	
	5	2,61	
Aksaray Yaylak	1	3,42	3,43±0,07
	2	3,49	
	3	3,51	
	4	3,34	
	5	3,39	
Giresun Vizon.	1	4,15	4,16±0,05
	2	4,18	
	3	4,08	
	4	4,22	
	5	4,17	
Balaban Green	1	4,7	4,64±0,05
	2	4,63	
	3	4,56	
	4	4,68	
	5	4,61	

Çizelge 9. Sonik hız deney sonuçları.

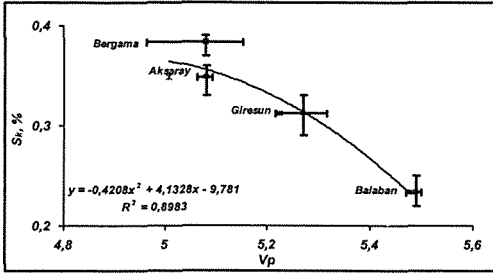
Numune Cinsi	Num. No	Vp, km/s	Ort. Vp, km/s
Bergama G.	1	5,08	5,08±0,01
	2	5,08	
	3	5,09	
	4	5,06	
	5	5,08	
Aksaray Y.	1	5,07	5,00±0,08
	2	5,03	
	3	4,89	
	4	5,08	
	5	4,96	
Giresun V.	1	5,27	5,22±0,03
	2	5,22	
	3	5,23	
	4	5,17	
	5	5,23	
Balaban G.	1	5,48	5,48±0,01
	2	5,46	
	3	5,48	
	4	5,49	
	5	5,49	



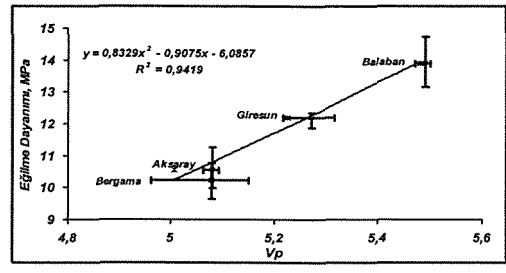
Şekil 8. Birim hacim ağırlık-sonik hız regresyon ilişkisi.



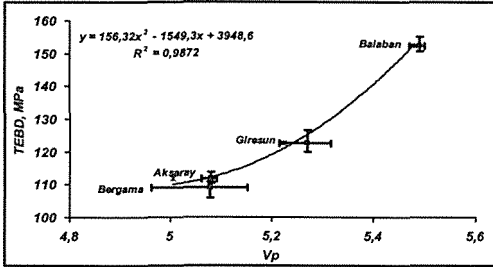
Şekil 12. Çekme dayanımı-sonik hız regresyon ilişkisi.



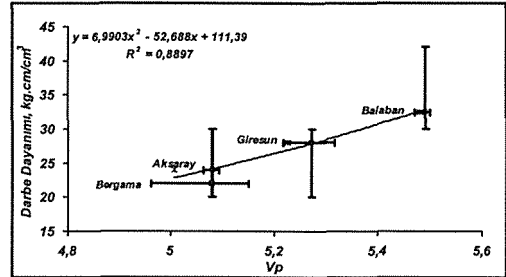
Şekil 9. Kütlece su emme-sonik hız regresyon ilişkisi.



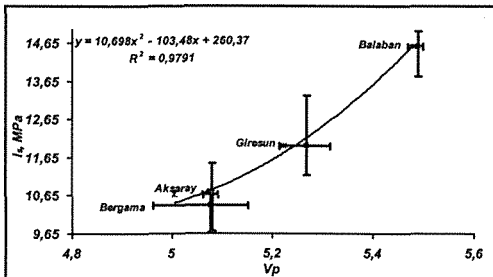
Şekil 13. Eğilme dayanımı-sonik hız regresyon ilişkisi.



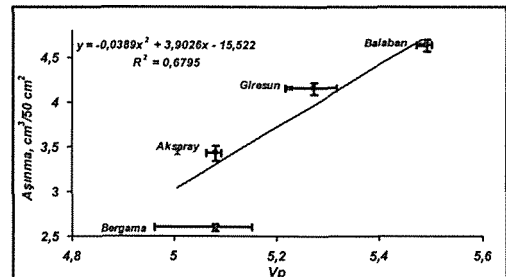
Şekil 10. Tek eksenli basma dayanımı-sonik hız regresyon ilişkisi.



Şekil 14. Darbe dayanımı-sonik hız regresyon ilişkisi.



Şekil 11. Nokta yük dayanım indeksi-sonik hız regresyon ilişkisi.



Şekil 15. Aşınma kaybı-sonik hız regresyon ilişkisi.

Çizelge 10. Sonik hız ile diğer özellikler arasındaki ilişki.

x	y	a	b	c	R ²	Eşitlik
Sonik Hız	Birim Hacim Ağırlık	-0,3	3,3	6,6	0,88	$y=ax^2+bx-c$
Sonik Hız	Tek Eksenli Basınç Dayanımı	156,3	1549,3	3948,6	0,98	$y=ax^2-bx+c$
Sonik Hız	Çekme Dayanımı	9,8	92,6	229,4	0,93	$y=ax^2-bx+c$
Sonik Hız	Eğilme Dayanımı	0,8	0,9	6,1	0,94	$y=ax^2-bx-c$
Sonik Hız	Nokta Yük Dayanım İndeksi	10,7	103,5	260,4	0,98	$y=ax^2-bx+c$
Sonik Hız	Darbe Dayanımı	6,9	52,7	111,4	0,89	$y=ax^2-bx+c$
Sonik Hız	Aşınma Kaybı	-0,04	3,9	15,5	0,68	$y=ax^2+bx-c$

5 SONUÇLAR

Çalışma kapsamında dört farklı yöreye ait granitlerin fiziko-mekanik özellikleri incelenmiş olup, bu özellikler ile sonik hız değerleri arasındaki regresyon (R²) ilişkileri incelenmiştir.

Birim ağırlık deney sonuçlarına bakıldığında ortalama değerlerin 2,66 ile 2,71 gr/cm³ arasında değiştiği görülmekle birlikte, en düşük değer Aksaray Yaylak granitinde elde edilirken, en yüksek değer ise Balaban gren granitinde elde edilmiştir.

Kütlece su emme değerlerinde ortalama su emme değerlerinin, %0,23-%0,38 arasında değişim gösterdiği görülmüştür.

Mekanik özelliklere gelince tüm deney sonuçlarında en düşük değerlere Bergama gri granitinde rastlanırken, en yüksek değerlere ise, Balaban green granitinde rastlanmıştır.

Sonik hız değerleri ile fiziko-mekanik özellikler arasında yapılan regresyon analizleri sonucunda regresyon katsayısı (R²) değerlerinin (0,68-0,98) yüksek olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Basu, A. ve Aydın, A., 2006. Predicting Uniaxial Compressive Strength by Point Load Test: Significance of Cone Penetration, *Mech. Rock Engng.*, 39 (5), 483-490 DOI 10.1007/s00603-006-0082-y.
- Begonhaa, A. and Sequeira Braga, M.A., 2002. Weathering of the Oporto granite: geotechnical and physical properties. *Catena*, 49, 57- 7.
- Bieniawski, Z.T., 1975. The Point Load Test in Geotechnical Practice, *Engineering Geology*, Vol.9, 1-11 s.
- BS EN 12504 Part-4, 2004. Testing Concrete: Determination of Ultrasonic Pulse Velocity, ISBN 0 580 44584 4, 18 s.

- Doghmane, M., Hadjoub, F., Doghmane, A., Hadjoub, Z., 2007. Approaches for evaluating Young's and shear moduli in terms of a single SAW velocity via the SAM technique. *Materials Letters*, 61, 813-816.
- Entwisle, D.C., Hobbs, P.R.N., Jones, L.D., Gunn, D. and Raines, M.G., 2005. The relationships between effective porosity, uniaxial compressive strength and sonic velocity of intact Borrowdale Volcanic Group core samples from Sellafield. *Geotechnical and Geological Engineering*, 23: 793-809 DOI 10.1007/s10706-004-2143-x.
- Kahraman, S., 2002. Estimating the direct P-wave velocity value of intact rock from indirect laboratory measurements. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 39, 101-104.
- Kahraman, S., 2002. The effects of fracture roughness on P-wave velocity. *Engineering Geology*, 63, 347- 350.
- Karakus, M. and Tutmez, B., 2006. Fuzzy and Multiple Regression Modelling for Evaluation of Intact Rock Strength Based on Point Load, Schmidt Hammer and Sonic Velocity. *Rock Mech. Rock Engng.*, 39 (1), 45-57 DOI 10.1007/s00603-005-0050-y.
- Kilic, O., 2006. The influence of high temperatures on limestone P-wave velocity and Schmidt hammer strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43 (6): 980-986.
- Temur, S. ve Yıldırım, A., 2005. *Yüksek Lisans Seminer Notları*, Konya, 28 s.
- TS 699, 1987. Tabii Yapı Taşları-Muayene ve Deney Metotları, Ankara, 82 s.
- Tuğrul, A. ve Zarif, I.H., 1999. Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey. *Engineering Geology*, 51, 303-317.
- Yılmaz H. ve Safel, R., 2004. Mermer Sektörü. *Türkiye Vakıflar Bankası T.A.O. İktisadi Araştırmalar ve Mevzuat Yönetmenliği Sektör Araştırmaları Serisi*, No:31.

Çeşitli
Miscellaneous

Salbaş (Adana) Kumtaşlarının Endüstriyel Alanda Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi

Evaluation of Salbaş (Adana) Sandstones for Industrial Usage

S. Özkan, E. Yaşar, Y. Erdoğan, N. Yapıcı

Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

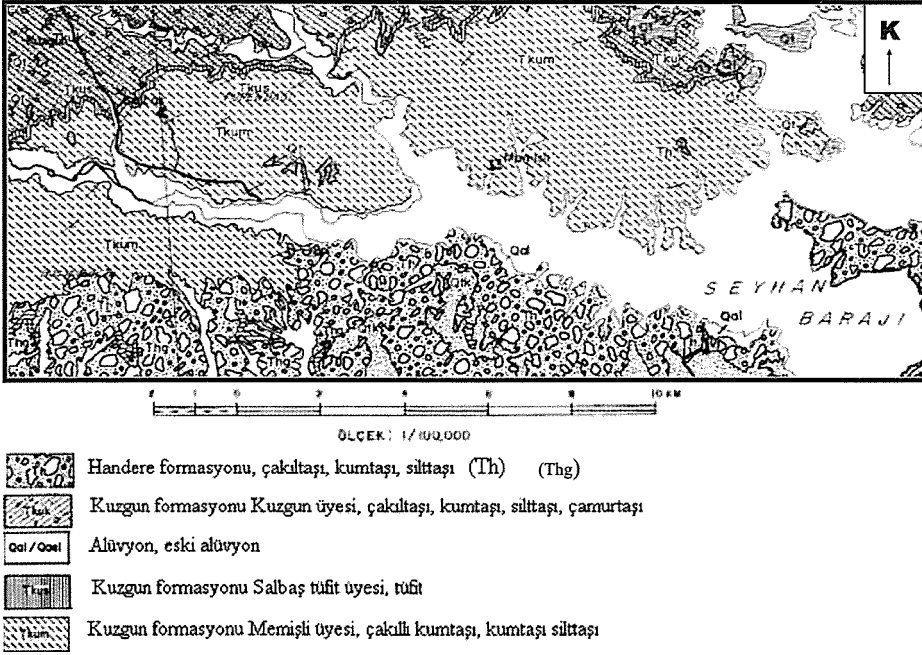
ÖZET Farklı tür ve biçimdeki mineralojik ve dokusal özellikler kayaçların endüstriyel alandaki kullanılabilirliğini belirlediğinden bu çalışmada kumtaşlarındaki mineralojik ve dokusal özelliklerin değişiminin fiziksel ve mekanik özelliklere olan etkileri araştırılmıştır. Bu yüzden çalışmanın amacını Salbaş (Adana) kumtaşlarının jeolojik, fiziksel, kimyasal, petrografik ve mekanik özellikleri incelenerek, doğal taş endüstrisinde kullanılabilirliği TS standartlarına göre araştırılmış ve mineralojik, fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. Farklı doğrultulardaki mekanik özelliklerin tespiti için kumtaşlarının tabaka eksenine 0°, 45° ve 90° şeklinde karot numuneleri alınmış ve kayaç üzerindeki anizotropinin varlığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca her bir yön için yük uygulanmamış ve farklı yük altında mineral tanelerindeki değişimler petrografik analizler ile incelenmiştir. Çalışma sonucunda tek eksenli basınç değerleri ile petrografik ve diğer mekanik özelliklere ait değerler arasında lineer bir bağıntının olduğu ve ayrıca anizotropinin kumtaşlarının mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkisinin varlığı ortaya konulmuştur.

ABSTRACT In this study, the physical and mechanical properties of rocks which are connected with their mineralogical and textural characteristics and the affecting of changing mineralogical and textural features of sandstones properties in the industrial usage were investigated. The purpose of this study is to determine the usability of Salbaş (Adana) sandstones as natural stone or sand in industry, according to Turkish Standards (TS) and to investigate the relationships among petrographical, physical and mechanical properties of the sandstones. Geological, physical, chemical, petrographical and mechanical properties of the Salbaş sandstones were determined. Mechanical properties were investigated on samples taken vertical, diagonal and horizontal to the bedding planes of the sandstones. In addition, changes of mineral grains shape and form in the sound and broken sandstone samples applying different load conditions for each direction was examined using polarise microscope. The study showed that there exists a linear correlation between uniaxial compressive strength and mechanical properties of rock samples and that anisotropy has an important effect on the mechanical properties of the sandstones.

1 GİRİŞ

Çapı 1/16 (0,0625 mm)-2 mm arasında olan kum tanelerinin jeolojik süreçler sonucunda

birleşmesi ile oluşan kayaca kumtaşı adı verilmektedir (Erguvanlı, 1973). Mineralojik bileşenleri ve bu bileşenlerin miktarları,



Şekil 2. Çalışma Alanının Basitleştirilmiş Jeolojik Haritası (MTA, 1991).

Handere formasyonu, Adana baseninin güney kesiminde havza ölçeğinde oldukça yaygın bir uzanıma sahip bulunmaktadır. Birimin Seyhan baraj gölü batısındaki yüzleşiminin kuzey sınırı yer yer alüvyon tarafından kesilmekle beraber inceleme alanı batısında Karayayla (N34d,b-24) dolayından Ahmetçi yeri, Tepeçaylak, Gökkuyu, Söğütlü, Fakılar ve Tapan tepe kuzeybatısında Seyhan baraj gölü ile kesilmektedir. Birimin güney sınırı ise Adana ovasının alüvyon ve taraçaları ile sınırlanmaktadır. Handere formasyonu inceleme alanı sınırları içinde Kuzgun formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmektedir.

Kuzgun formasyonu kuzeydoğudan güneybatıya doğru sürekli uzanımlı bulunmaktadır. Formasyonu; Kuzgun, Salbaş tüfit ve Memişli üyelerinden oluşmaktadır. Birimde başlıca; çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı ve sığ denizel ostrealı düzeylerin ardalanımı görülmektedir. Handere formasyonu batısında kaba kırıntılılar, doğusunda ise ince kırıntılılardan oluşan litoloji dağılımına

sahiptir. Çalışma alanının batısında birim; çakıltaşı, kaba-orta kumtaşı yüzdesi, doğusunda ise ince kumtaşı-silttaşı yüzdesi daha fazladır. Başlıca; çakıltaşı, çakıllı kumtaşı, kumtaşı, silttaşı yapılaşmış olan birim Seyhan baraj gölü batısında alçıktaşı merceklerini kapsamaktadır (Yetiş ve Demirkol,1986).

3. SALBAŞ (ADANA) KUMTAŞININ KULLANILABİRLİĞİ

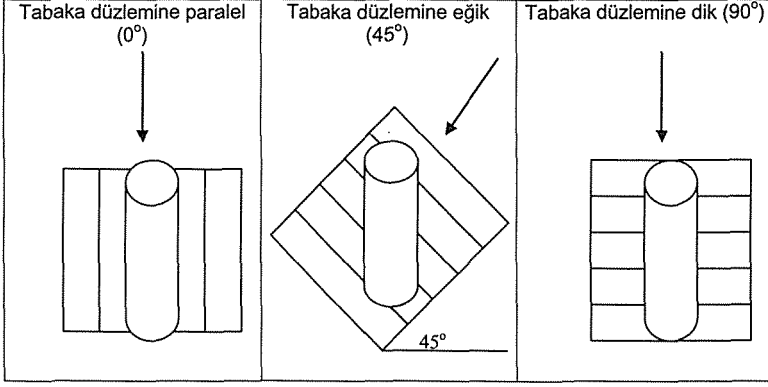
Bu çalışma kapsamında kumtaşlarının mühendislik özelliklerinin tespiti ve anizotropinin etkisinin incelenmesi amacıyla Handere formasyonundan üç farklı noktadan numuneler derlenmiştir. Kumtaşı örneklerinden 3 farklı yönde tabakalanma düzlemine paralel, eğik ve dik (0°, 45° ve 90°) karot numuneleri alınmıştır (Şekil 3).

3.1 Kimyasal özellikler

Salbaş bölgesinden alınan kumtaşı örneğinin alkali ergitış yöntemi ile kimyasal analizi

yapılmış ve sonuçlar Çizelge 1’de verilmiştir. Endüstriyel kum olarak kullanılacak kumtaşlarında kuvars miktarı, normal cam için %93 ve optik camlar için ise %99’un üzerinde olmalı ve Fe_2O_3 %0,06’yı aşmamalıdır. Al_2O_3 ise %4 veya %5’e kadar olmalıdır. Diğer kullanım alanları için ise yine yüksek miktarda kuvars içermelidir

(Ünsal, 2001). Çizelge 1’de görüleceği üzere kumtaşı numunelerinin SiO_2 oranı endüstriyel kum için yeterli değildir. Üstelik kimyasal analiz sonucu elde edilen SiO_2 değeri, yalnızca kuvarstan ibaret olmayıp feldispat gibi diğer kuvars içeren minerallerden gelmiştir (Boggs, 2003).



Şekil 3. Tabaka düzlemine üç farklı yönde alınan numunelerinin temsili gösterimi.

Çizelge 1. Numunelerin Kimyasal Analizi

Örnek No	SiO_2 (%)	$CaCO_3$ (%)	MgO (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	TOPLAM
1	44,18	39,7	0,78	4,43	3,35	92,4
2	42,80	41,4	0,79	7,43	3,05	95,5
3	46,41	39,4	1,98	6,63	2,69	97,1
Ortalama	44,5±1,8	40,2±1,1	1,2±0,7	6,2±1,5	3±0,3	95,1±2,4

3.2 Fiziksel Özellikler

Fiziksel özelliklerin tespiti için yapılan test sonuçları ve doğal taşlarda olması gereken minimum TS değerleri Çizelge 2’de görülmektedir. Çizelge 2’den de görüleceği üzere kumtaşı numunelerinin fiziksel özellikleri bir doğal taşın sahip olması gerekli minimum fiziksel özelliklere bağlı değildir.

Salbaş kumtaşının fiziksel özelliklerinin yetersiz olması; özellikle birim hacim ve özgül ağırlıkların düşük olması diyajenez esnasında yeterli kompaksiyonun oluşmadığını göstermekte, porozitenin ve su emmenin yüksek olması ise kumtaşının iyi çimentolanmamış olmasına bağlıdır. (Boggs, 2003; Prothero ve Schwab, 1999). Ayrıca, kumtaşlarında kuvars miktarının artması da sertliği arttırmaktadır.

Kumtaşlarında porozite, kayacın daha çok dokusuna, çimento (matriks) miktarına, mineralojik bileşimine ve çatlak durumuna bağlıdır. Tanelerin diajenez esnasında basınç ve sıcaklık karşısında ezilerek küçülmesi ve bunların gözenekleri doldurması da poroziteyi azaltmaktadır. Su emme değeri

porozite ile yakından ilişkili olup görünür porozite su emme değerinden hesaplanmıştır. Porozitenin artmasıyla genellikle kumtaşlarının mekanik dayanımları ve kimyasal etkilere karşı mukavemeti ve dona dayanımları önemli oranlarda azalmaktadır.

Çizelge 2. Numunelerin Fiziksel Özellikleri

Kayaç Örneği	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Özgül Ağırlık	Ağırlıkça Su Emme (%)	Gerçek Porozite (%)	Görünür Porozite (%)
K-1	2,3	2,66	4,4	14,5	11,1
K-2	2,2	2,67	5,0	17,5	12,3
K-3	2,2	2,71	5,4	17,9	13,5
Ortalama	2,2±0,06	2,68±0,03	4,9±0,5	16,6±1,86	12,3±1,2
TS EN 1467	≥2,55	-	<1,8	-	-
TS EN 1469	≥2,55	-	<0,75	<2	-

3.3. Mekanik Özellikler

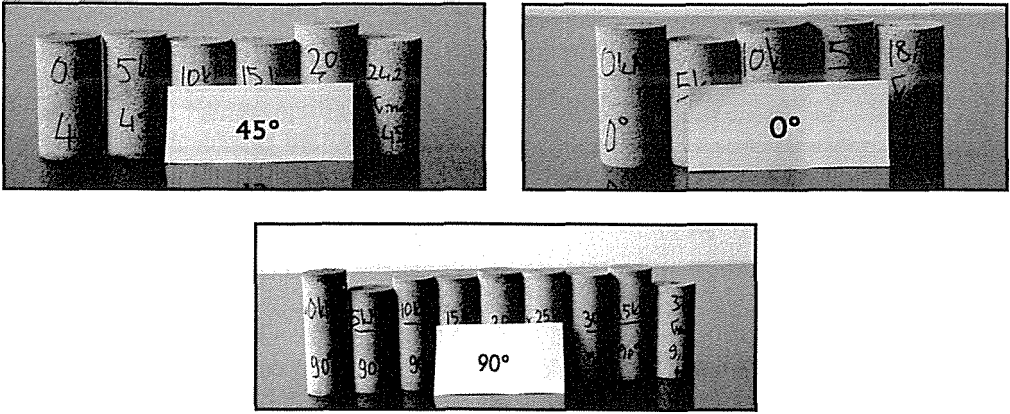
Salbaş kumtaşının mekanik özellikleri Çizelge 3'de görülmektedir. Testler, örnek kayaçtan tabaka eksenine dik, paralel ve eğik olarak karot alınarak deneyleri yapılmıştır.

Kumtaşlarının mekanik özellikleri; çimentonun bileşimi ve miktarı, kayacı oluşturan taneler, kayacın dokusu, matriksin bileşimi ve miktarı ve kayaç içerisindeki süreksizliklere bağlıdır. Ayrıca tane biçimi bakımından, ince taneli ve köşeli minerallerin mekanik dayanımı artırıcı etkileri vardır. Çimentolanma derecesinin ve tipinin, dayanımlar üzerinde çok büyük etkisi bulunmaktadır.

Kumtaşlarının doğal taş olarak kullanılabilirliği ile ilgili spesifik bir TS standardı olmamakla birlikte TS EN 1467/Nisan 2005 "Doğal Taşlar-Ham Bloklar-Özellikler"de, kireç bağlayıcılı kumtaşı için minimum basınç dayanımı 350 kgf/cm², eğilmede çekme dayanımı (eğilme dayanımı) ise minimum 30 kgf/cm² olarak belirtilmiştir. Silis bağlayıcılı kumtaşı ve grovak için, minimum basınç dayanımı 800 kgf/cm², eğilmede çekme dayanımı ise

minimum 60 kgf/cm² olarak belirtilmiştir. Çizelge 3'de görüleceği üzere kumtaşı numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı TS EN 1467'e uygun değildir. Diğer mekanik özellikleri de kumtaşının mekanik olarak zayıf olduğunu göstermektedir. Kumtaşlarının mekanik dayanımı onların çimento tipi ve çimentolanma derecesine bağlı olup Çizelge 3'den kumtaşının çimento tipinin mekanik olarak zayıf veya kayaçta bulunan çimento yüzdesinin düşük olduğu anlaşılmaktadır.

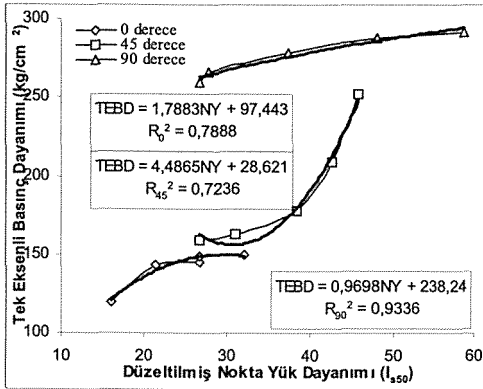
Çizelge 3'teki değerler grafiğe geçirilip regresyon analizi uygulanmış olup Şekil 5, 6 ve 7'deki grafikler elde edilmiş ve tek eksenli basınç değeri (TEBD) ve R² değerleri Çizelge 4'de verilmiştir. Tabaka doğrultusuna 3 farklı yönde alınan karot örnekleri Şekil 4'de gösterilmektedir.



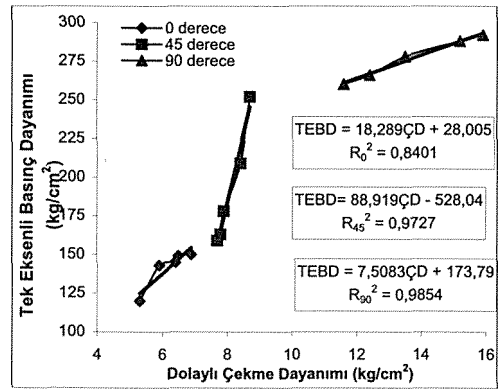
Şekil 4. Tabaka düzlemine göre üç farklı yönde alınmış karot numuneleri

Çizelge 3. Salbaş kumtaşının mekanik özellikleri

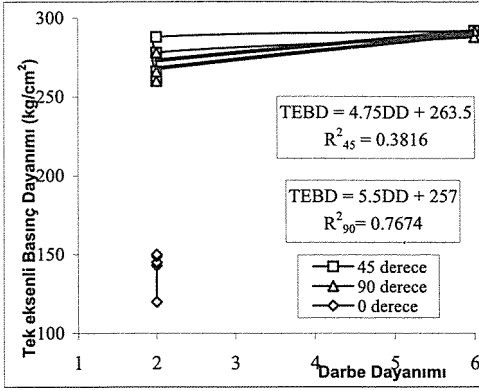
Deney Adı	Tabaka açlarına göre ortalama değerler		
	0°	45°	90°
Tek eksenli basınç dayanımı (TEBD)	141±12	192±39	277±14
Dolaylı çekme dayanımı (ÇD)	6,2±0,62	8,1±0,43	13,7±1,82
Darbe dayanımı (DD)	2±0	2,8±1,8	3,6±2,2
Nokta yük dayanımı (I _{s50}) (NY)	24,6±6,1	36,5±7,4	39,8±13,7



Şekil 5. Tek eksenli basınç dayanımı-dolaylı çekme dayanımı arasındaki ilişki.



Şekil 6. Tek eksenli basınç dayanımı-darbe dayanımı arasındaki ilişki.



Şekil 7. Tek eksenli basınç dayanımı düzeltilmiş nokta yük (I_{s50}) dayanımı arasındaki ilişki.

Çizelge 4. Salbaş kumtaşının tespit edilen mekanik özelliklerinin TEBD ve R^2 değerleri

Karşılaştırılan deneyler	TEBD ve R^2 değeri	β
Tek eksenli basınç ve dolaylı çekme dayanımı	TEBD=18,29CD+28,005 $R^2_0=0,84$	0°
	TEBD=88,92CD-528,04 $R^2_{45}=0,97$	45°
	TEBD=7,51CD+173,79 $R^2_{90}=0,98$	90°
Tek eksenli basınç ve darbe dayanımı	-	0°
	TEBD=4,75DD+263,5 $R^2_{45}=0,38$	45°
	TEBD=5,5DD+257 $R^2_{90}=0,77$	90°
Tek eksenli basınç ve Düzeltilmiş nokta yük dayanımı (I_{s50})	TEBD=1,79NY+97,44 $R^2_0=0,79$	0°
	TEBD=4,49NY+28,62 $R^2_{45}=0,72$	45°
	TEBD=0,97NY+238,2 $R^2_{90}=0,93$	90°

Çizelge 5. Tabakalanma düzlemlerine dik karot numunelerinde uygulanan yük ile bazı fiziksel özelliklerin değişimi

Kayaç Örneği	Yük (P) (KN)	Shore Schleroscope Sertlik İndeksi	Doğal Birim Hacim ağırlığı (gr/cm^3)	P Dalgası Hızı (V_p) (km/s)	Görünür Porozite (%)	
K90°	1	0	15,1	2,31	3,82	8,4
	2	5	14,3	2,37	3,85	7,8
	3	10	18,35	2,32	3,90	7,7
	4	15	18,3	2,33	3,94	7,7
	5	20	19,4	2,34	3,98	7,4
	6	25	22,9	2,37	3,99	7,6
	7	30	25,5	2,38	4,03	7
	8	35	28,85	2,40	4,15	5,7
	9	37,7 (max)	29,6	2,41	-	-

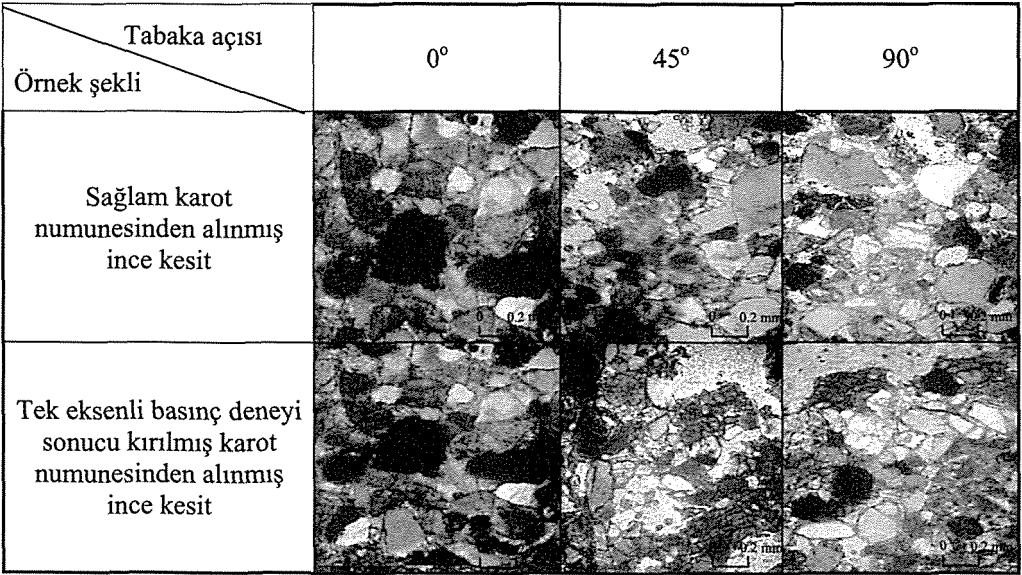
3.4. Petrografik özellikler

Salbaş kumtaşı numunelerinden elde edilen ince kesitlerde (Şek. 8) kayacın kırıntılı bir dokuya sahip olduğu ve kayaç kırıntılarını oluşturan minerallerin öz şekilli ve yarı öz şekilli olduğu görülmektedir. İnce kesitte tespit edilen ana mineraller kuvars, feldispat ve ferromagnezyen minerallerdir.

Kuvars, kesitin en fazla miktarda bulunan ana minerali olup, tane büyüklükleri birbirinden farklıdır ve çoğu hipidiyomorf görünümündedir. Taneler arasındaki boşlukları, kalsit, alümina silikatlardan oluşmuş bir hamur maddesi doldurmaktadır. Hamur maddesi içerisinde mikrokristalin kuvars tanecikleri yer yer gözlenmektedir. Kalsit

daha çok hamur maddesi içerisinde mevcut olup tane büyüklükleri içinde değişkendir. Feldispat, kesitin diğer bir ana minerali olup,

polisentetik ve karlsbad ikizlenmeleri ile belirgindir.



Şekil 8. Hiç yük uygulanmamış ve tek eksenli basınç sonucu kırılmış karot numunelerinden alınan ince kesitlerin karşılaştırılması.

Ferromagnezyen mineraller, kesitin üçüncü ana mineralidir ve alterasyonları ile kesitin içerisinde demir açığa çıkmıştır. Ayrıca ince kesitte, aksesuar miktarlarda opak mineral mevcut olup, bunlar demir mineralleridir. Bunların pirit veya kromit olduğu sanılmaktadır.

Şekil 8'de görüldüğü üzere yük sonucu minerallerde çatlak ve kırılmalar oluşmuş, taneler öz şekillerini kaybetmiş ve kataklastik doku görünümü kazanmışlardır. Ayrıca taneler arasındaki boşluğun basınç nedeniyle azalması beklenirken, dokuların dağılmış olduğu görülmektedir. Petrografik analiz için yük uygulanan karot numuneleri içinde mineraller, en fazla 0°'lik kesitlerde deformasyon gözlenmiş olup, 45° ve 90°'lik numunelerin ince kesitlerine oranla daha kırıklı ve çatlaklı bir yapı sergilemişlerdir. Yük uygulanmamış ince kesitlerden tanelerin

birbirine teğetsel olarak temas ettiği veya bir hamur maddesi içinde dağıldığı görülmektedir.

Yük uygulanmış ince kesitlerden, uygulanan basınç sonrası kayacın dokularının dağıldığı ve tanelerin deforme olduğu görülmektedir. Taneler öz şekillerini kaybederek kataklastik doku görünümü kazanmışlardır. Ayrıca minerallerin kristal yapılarının çatlaklar-kırılmalar ile bozulduğu, tanelerde yer değiştirmeler olduğu ve tanelerin birbirleriyle içiçe oldukları gözlenmiştir. Ayrıca uygulanan yükün artışına bağlı olarak fiziksel özelliklerde artış, yalnız porozite değerlerinde azalma olduğu belirlenmiştir.

4 SONUÇLAR

Salbaş (Adana) kumtaşının kimyasal, fiziksel, mekanik ve petrografik özelliklerinin incelenmesinden bölge kumtaşının endüstriyel olarak kullanılamayacağı anlaşılmıştır. Ancak yük gerektirmeyen amaçlar için, süs olarak kullanılabilir. Tek eksenli basınç dayanımı-dolaylı çekme dayanımı, tek eksenli basınç dayanımı-düzeltilmiş nokta yük dayanımı arasındaki kuvvetli istatistiksel ilişkiler bulunmuştur. Tek eksenli basınç dayanımı-darbe dayanımı arasında ise iyi bir istatistiksel ilişki bulunamamış olup bunun sebebi kayacın numunelerinin zayıf oluşundan dolayı daha ilk veya ikinci darbeye kırılmış olmasıdır. Kayacın fiziksel ve mekanik özellikler olarak düşük değerler vermesi kayacın çimento malzemesinin zayıf yapıda olduğunu işaret etmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeler Birimine MMF. 2005YL2 no'lu projeye katkılarından dolayı teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Boggs, S., 2003. Petrology of sedimentary rocks. The Blackburn Press. New Jersey, USA, 707s.
- Erguvanlı, K., 1973. Mühendislik Jeolojisi. İTÜ Matbaası, İstanbul, 552s.
- Prothero, D.; Schwab, F., 1999. Sedimentary Geology: An introduction to sedimentary rocks and stratigraphy/third printing. W. H. Freeman and Company. New York, USA, 575s.
- TS EN 1469/Nisan 2006, Doğal taş mamulleri-kaplamada kullanılan plakalar-özellikler.
- TS EN 1467/Nisan 2005, Doğal taşlar-ham bloklar-özellikler.
- Ünsal, N., 2001. İnşaat Mühendisleri İçin Jeoloji. Gazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., İnşaat Mühendisliği Böl., Ankara, 360s.
- Yetiş, C., Demirkol, C.,1986. Adana baseni batı kesiminin detay jeolojik etüdü. MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- <http://turkoloji.cu.edu.tr/kisisel/akalin/adana.htm>
- Yaşar, E., 2000. Sedimanter kayaların deformasyonu ve yenilme kriterleri. Ç.Ü. Araştırma Fonu, Proje No: MMF: 2000.28 Adana www.mta.gov.tr (Şubat-2007).

Açık Ocak Ekonomisini Etkileyen Faktörlerin Bilgisayar Desteğiyle İncelenmesi

Investigation of the Factors Affecting the Economy of Open Pit Mines with Computer Aided Methods

K. Erarслан, C. Uzuner, H. Akçakoca, İ. Topal

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye

ÖZET Açık ocak ekonomisine, sınır tenörü, jeolojik yapı, kazı başlangıç noktası, yıllık üretim miktarı gibi birçok faktörün, sahadan sahaya farklı düzey ve ağırlıkta etki ettiği bilinmektedir. Çok sayıda parametrenin araştırılması ise uzun ve bilgisayar desteği gerektiren bir süreçtir. Bu çalışmada, 3 boyutlu blok model üzerinde çalışan bir simülasyon ve optimizasyon programı kullanılarak, açık ocak net şimdiki zaman değerine etki eden bazı parametreler, hipotetik saha verileri üzerinde incelenmiştir. Dinamik programlama ve sezgisel yaklaşıma dayalı bir algoritma üzerine bina edilen sistemle, sınır tenörü, yıllık üretim miktarı, kazı başlangıç noktası, cevher hazırlama-zenginleştirme tesisi ve stok sahası düzenlemeleri gibi parametreler incelenmiştir. Sistemde, belirlenen kriterler çerçevesinde, bir ekskavatörün günlük blok kazı planı, ocak ömrü boyunca optimize edilmeye çalışılmakta ve ocak sınırlarına ulaşıldığında net şimdiki zaman değeri rapor edilmektedir. Sistem, blok çıkarış sırasını belirlerken, şev açısını, ekskavatörün normal hareket tarzını, stoklardaki cevher birikimini, ocakla-tesis işleyişindeki uyumu ve paranın zaman değerini göz önünde bulundurmaktadır.

ABSTRACT Economy of an open pit mine is affected by many factors such as cutoff grade, geological structure, excavation starting coordinates, etc. which have varying impacts and weights from field to field. For sure, investigation of this much parameters requires long time and computer support. In this study, the parameters affecting net present value of an open pit mine has been examined by using a simulative optimization software evaluating 3 dimensional block models. The applications have been performed on hypothetical data. Parameters such as cutoff grade, annual production rate, excavation starting point, effect of processing plant and stockpile have been investigated by a system based on dynamic programming and heuristic approaches. Regarding criterion given by users, production plan of an excavator is optimized and net present value is estimated when the pit is entirely dug. Slope stability, movement capabilities of excavators, stockpile fullness level, consistency of mine and plant and time value of money are considered during the determination of block excavation plan.

1 GİRİŞ

Optimum ocak sınırını etkileyen pek çok faktör vardır. Jeolojik yapı, rezerv, yıllık üretim miktarı, sınır tenörü, tesis talepleri, bunlardan bazılarıdır. Bu parametrelerin etkilerinin genellikle ne şekilde olacağı,

yıllarca sürdürülen mühendislik ve madencilik çalışmalarında belirlenmiş olmakla birlikte, sahadan sahaya değişmesi ve etki derecesinde farklılık göstermesi mümkündür. Klasik proje etüt yöntemleriyle optimum sınırlara ve onunla birlikte

düşünülen üretim planına etki eden faktörler ve dereceleri için bir tür duyarlılık analizi hassasiyetinde araştırma yapmak, zaman ve işlem yönünden büyük sıkıntılar taşımaktadır. Her parametre değişimiyle yeni bir maden tasarlanmasının mümkün olduğu bu değişimlere yönelik analizler, ancak bilgisayar desteğiyle geniş kapsamlı ve detaylı olabilmektedir. Bu amaçla kullanılacak yazılımların, madencilik faaliyetlerini kontrol eden birçok ana parametreyi dikkate alan ve optimum sınırları bulurken maden üretimini de simüle eden (benzeten) bir yapıda olması, bahsi geçen amaca hizmet edecek yazılım için bir gereklilik olarak görülmektedir. Optimizasyon sistemlerinin temelde ocak sınırı veya üretim planı başlıkları altında toplandığı görülmektedir.

Ocak sınırlarını belirlemeye etki eden pek çok faktör vardır ve her sahada aynı olmayıp değişiklik gösterir. Ancak temel kabul edilen parametreler; jeoloji, tenör, cevher lokasyonu, şekli, topografya, üretim miktarı, şev açısı, maliyetler, cevher fiyatı, sınır tenör, tesis giderleridir (Amstrong 1990; Dohm, 1979). Bilgisayar destekli sınır optimizasyon çalışmaları, bu kompleks ve zaman alıcı mühendislik çalışmasına 1970'li yıllardan itibaren girmeye başlamıştır. Belli kabuller altında çalışan bilgisayarlı bir optimizasyon sistemi, optimum sınırları ve üretim planını etkileyen faktörler üzerinde çalışma imkanı veren önemli bir vasıta da teşkil etmektedir. Bu amaçla günümüze kadar gelen çalışmaların ocak sınır optimizasyonu ve üretim planı optimizasyonu olarak farklılaştığını ve az sayıda araştırmacının, bu iki optimizasyon sahasını birleştirmeye çalıştığını görmek mümkündür.

1.1 Ocak Sınır Optimizasyonu

En kârlı açık ocak sınırını vermeyi amaçlayan sınır optimizasyon teknikleri, Graph teorisi (Lerchs ve Grossmann, 1965; Bastante vd., 2004; Hochbaum ve Chen, 1999; Whittle, 1988), dinamik programlama algoritması (Lerchs ve Grossmann, 1965; Johnson ve Sharp 1971; Koenigsberg 1982;

Wright 1987, Erarslan, 1996; Erarslan vd., 1997; Erarslan vd., 1999; Erarslan ve Çelebi, 2001), Moving (Floating) Cone, hareketli koniler algoritması (Pana 1965; Lemieux 1979; Dağ ve Özer, 1995), Linear (Doğrusal) Programlama (Meyer 1969), Maximum Flow (En Fazla Akış) Algoritması (Yegülalp ve Arias, 1992; Ford ve Fulkerson, 1956; Ahuja ve Orlin 1989; Yegülalp vd., 1993) ve Transportation (nakliye) algoritması (Huttagosol ve Cameron 1992) başlıkları altında toplanmaktadır.

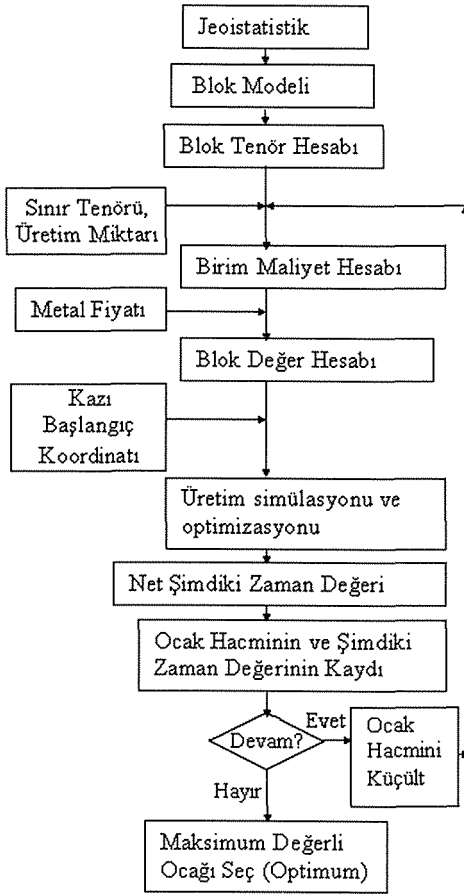
1.2 Üretim Planlama Optimizasyonu (Blok Çıkarma Sıralaması)

Optimum sınırları tespit edilen ocaktaki blokların, hangi iş planına ve hangi sıraya göre çıkarılırsa maksimum kârı sağladığı, en fazla cevher kazanımının elde edildiği veya cevher tesisinin beslenmesinde aranılan miktar ve kaliteden minimum sapıldığı bu başlık altında yapılan çalışmalarda yer almıştır. Bu alanda birçok araştırmacı değişik algoritmalar kullanarak çeşitli sistemler ve yazılımlar geliştirmiştir (Onur ve Dowd, 1993; Tolwinski ve Underwood, 1992; Elevli, 1992; Chanda ve Wilke, 1992; Dijilani ve Dowd, 1994; Mann ve Wilke, 1992; Huang, 1993; Youdi vd., 1992, Zhang vd., 1993; Chanda ve Dağdelen, 1995; Dowd ve Onur, 1992; Dijilani ve Dowd, 1994; Ramazan vd., 2005; Esfandiari vd., 2004; Chanda ve Dağdelen, 1995; Smith ve You'nun, 1995; Onur and Dowd, 1993; Dowd ve Elvan, 1987; Tolwinski ve Underwood, 1992; Elevli, 1992; Erarslan, 1996; Erarslan vd., 1997; Erarslan vd., 1999; Erarslan ve Çelebi, 2001; Schofield ve Denby (1992); Denby ve Schofield, 1994).

2 SİMÜLATİF OPTİMİZASYON MODELİ

Net şimdiki değer parametrelerini incelemek için kullanılan sistem, açık ocak sınırlarını, üretim planlamasının bir fonksiyonu olarak gerçekleştirmeyi hedefleyen, üretim planlamasını dinamik programlama tekniğiyle optimize ederken, saha sınırlarının da optimum şeklini bulacak bir algoritmaya

sahiptir. Birim maliyeti ocak hacminin bir fonksiyonu olan sistem, stok sahasındaki malzeme bilgisini sürekli kayıt altında tutarak, tesisin istediği miktar ve nitelikte besleme de yapabilmektedir. Ekskavatörün kazısını günlük olarak planlayan sistem, basamak açılarını, bir ekskavatörün hareket kabiliyetini dikkate almakta, ocaktan tesise kadar bir madendeki faaliyetlerin benzetimini (simüle) yapmaktadır. Geliştirilen sistemin çalışma şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Simülatif optimizasyon sisteminin şeması.

Amaç en yüksek net şimdiki zaman değerinin elde edildiği üretim planını (blok çıkarılış sırasını) ve bunun elde edildiği ocak sınırını aynı anda bulmaktır. Bu maksatla

önce bütün cevherin çıkarılacağı bir ocak sınırı hesaplanır. Sınır içinde kalan hacim aynı zamanda olabilecek en geniş ocak sınırındadır. Bu ocağın birim maliyeti DEKMAL (Paşamehmetoğlu vd., 1988) ile hesaplanmıştır. Metal değeri de kullanılarak blokların ekonomik değerleri hesaplanır. Yıllık istenilen üretim miktarı, cevher tesisinin ihtiyaç duyduğu günlük malzeme miktar ve kalitesi, silonun kapasitesi ile ilgili şartlar ve ekskavatörün kazıya başlangıç noktasının sisteme verilmesinden sonra geliştirilen sistem paranın zaman değerini, şev duraylılığı ile ilgili şartları ve cevher tesisinin koşullarını dikkate alarak ocaktaki blokları çıkarmaktadır. Bütün blokların bitmesiyle, bu hacimli, birim maliyetli ve bu koşullarda çalışan bir ocağın net şimdiki zaman değeri kaydedilir. En büyük ocak sınırlarının belli bir oranda küçültülerek yeni bir ocak hacmi, bağlı olarak yeni birim maliyet hesabı yapılıp ve ekonomik blok modeli oluşturulmaktadır. Yeni model üzerinde yine optimum blok çıkarılış sırası ile ocağın işletilmesi simüle edilip yeni bir net şimdiki zaman değeri hesaplanır. Benzeri şekilde ocak hacmi küçültülmeye, kazı simülasyonuna ve optimizasyonuna devam edilir. Net şimdiki zaman değerinin maksimum olduğu ocak hacmi aynı zamanda optimum sınırları da vermektedir.

Bu sınırlar üretim optimizasyonunun bir fonksiyonu olarak, paranın zaman değeri, birim maliyetlerin ocaktan ocağa değişeceği gerçeği, silo şartları ve cevher tesisinin ihtiyaçları da dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Sistem gerekli durumlarda, besleme malzemesini harmanlayarak temin edebilmektedir.

Matematiksel altyapısı, amaç fonksiyonu ve birçok kısıt fonksiyonundan oluşan sistem, dinamik programlama yaklaşımı yanı sıra, sezgisel fonksiyonlar da içermektedir (Erarslan, 1996).

$$PW(\psi) = \max_{\psi \in S_c} (NPV(\psi, \xi_{i,j,k}, g_c, g_n, \alpha, d_r, a^o, a^e, s_c)) \quad (1)$$

burada,

$PW(\Psi)$: Ψ hacmindeki maksimum net şimdiki zaman değeri (TL)

S_V : hacim seti (m^3)
 $\xi_{i,j,k}$: (i,j,k) blok indisli kazı başlangıç noktası
 g_C : sınır tenörü, (%)
 g_P : tesisin istediği tenör, (%)
 α : şev açısı, ($^\circ$)
 d_r : iskonto oranı, (%)
 a^0 : yıllık üretim miktarı, (m^3)
 a^e : yıllık toplam kazı (üretim+dekapaj), (m^3)
 s_C : silo şartları fonksiyonu, $s_C = f(r_s, msg_{ijk})$
 r_s : silodaki riskli miktarlar
 msg_{ijk} : (i,j,k) bloğunun, çıkış zamanı ile ilgili stok durumuna ait mesaj.

$NPV(\Psi, \xi_{i,j,k}, g_C, g_P, \alpha, d_r, a^0, a^e, s_C)$, Ψ hacmi için net şimdiki zaman değeridir ve pek çok parametre tarafından kontrol edilmektedir. Net şimdiki zaman değeri, dinamik programlama yöntemiyle çıkarılan bloklar tarafından belirlenmektedir.

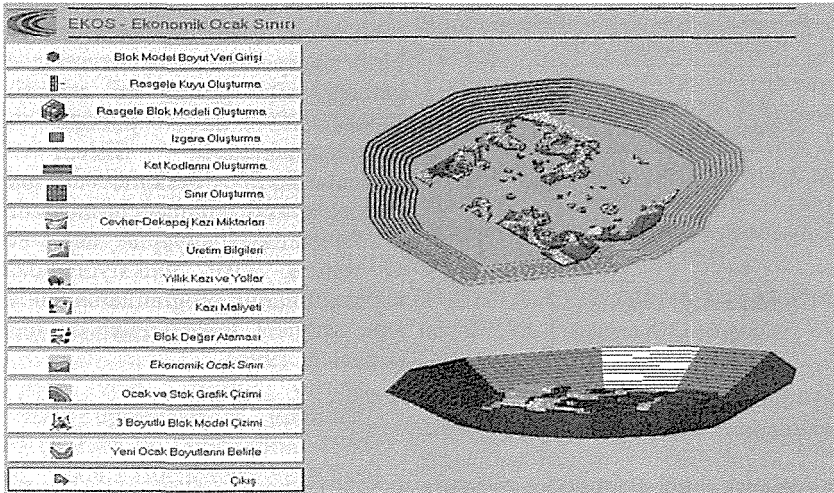
3 EKONOMİK OCAK SINIR SİSTEMİ

Açık ocak sınırlarını, üretim planlamasının bir fonksiyonu olarak gerçekleştirmeyi hedefleyen Economic Pit Design System (Erarslan, 1996), bu çalışma kapsamında Ekonomik Ocak Sınırı (EKOS) adı altında

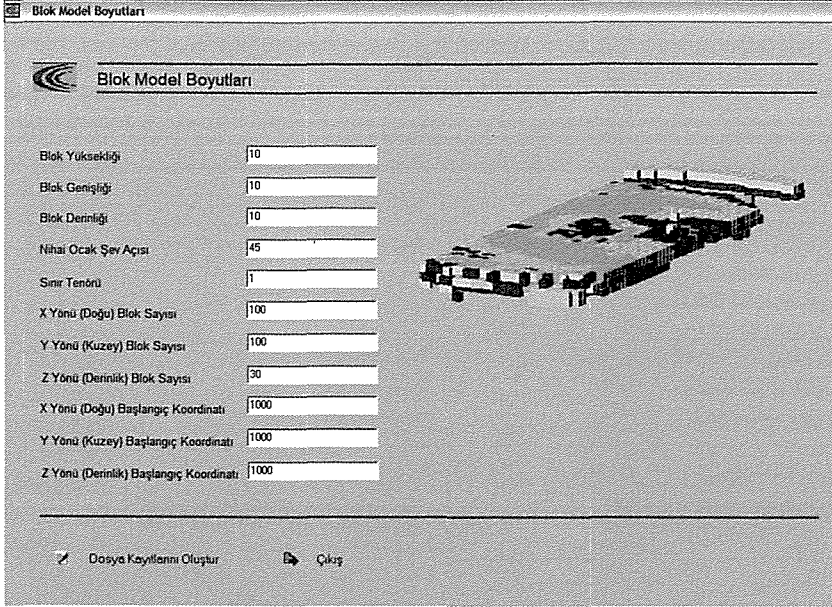
güncellenmiş, ara yüzler ve takviye programlarla geliştirilmiş ve açık ocak net şimdiki değerini etkileyen faktörleri incelemek amacıyla kullanılmıştır. Sistemin işleyişinde, birçok parametre dikkate alındığından dolayı, bu parametrelerde yapılan değişikliklerin, ocağın bütün bir ömrü boyunca üreteceği net şimdiki değere etkisi gözlemlenebilmiştir.

EKOS'la bir iterasyon (tekrar) yapmak için, ana menünün takip edilmesi gerekmektedir (Şek. 2). Görüldüğü gibi, sistem bir jeolojik blok modelinin oluşturulması veya sisteme tanıtımıyla başlamaktadır. Blok model girişi, Şekil 3'te gösterildiği gibi, blokların fiziksel özelliklerini ve koordinatlarını içermektedir. Daha sonra rasgele üretilebilen veya daha önce oluşturulmuş bir 3 boyutlu jeolojik veri tabanı sisteme tanıtılır.

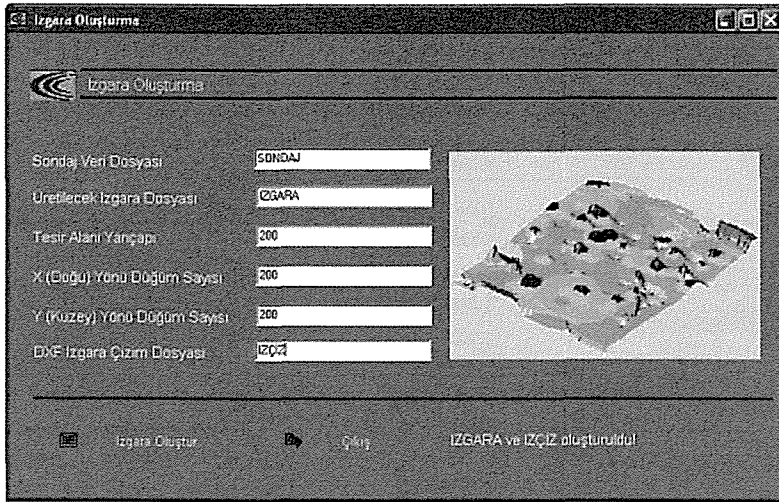
Sistem, sondaj kuyularının (x,y,z) koordinatlarına göre topoğrafik yüzey ızgaraları oluşturabilmektedir (Şek. 4). Düğüm nokta değerleri ters mesafe karesi yöntemiyle atanmaktadır. 3 boyutlu jeolojik blok modelinde, cevher, pasa ve hava bloklarına kodlama yapan işlem sonrası, cevherin yayıldığı sınırlar ve cevher/dekapaj miktarları belirlenir.



Şekil 2. EKOS ana menüsü.



Şekil 3. Jeolojik ve ekonomik blok modellerinin boyut ve koordinat tanımlamaları.



Şekil 4. EKOS'un ızgara oluşturma modülü.

Üretim bilgileri, üretimi etkileyen birçok faktörün girilmesini sağlamaktadır (Şek. 5). Görüleceği üzere, bu pencereden, kazı başlangıç noktası, blok cinsinden etki sahası, yıllık cevher üretimi, tesis için kabul edilebilir cevher tenör aralığı, stokların riskli

kabul edilen cevher miktarları ki, bu miktarlara düştüğü zaman ocağa bu nitelikte cevher bloğu göndermesi için uyarı yapılmaktadır, stoklarda tesisler çalışmadan önce ne kadar cevher birikmesi gerektiği, yıllık faiz oranı gibi bilgiler girilmektedir.

Saha içi ve saha dışı ortalama yol uzunlukları ve kazı maliyetlerinin tespitini, ekonomik blok modelinin oluşturulması takip etmektedir (Şek. 6).

Şekil 5. Üretim bilgilerinin sisteme girilmesi.

Şekil 6. EKOS'ta ekonomik blok model oluşturma.

Ekonomik saha sınırlarının belirlenmesi bu işlemden sonra gerçekleştirilir. Bu safhada, saha sınırlarına kadar bütün blokların üretim benzetimi, belirtilen kısıtlar dahilinde yapılır.

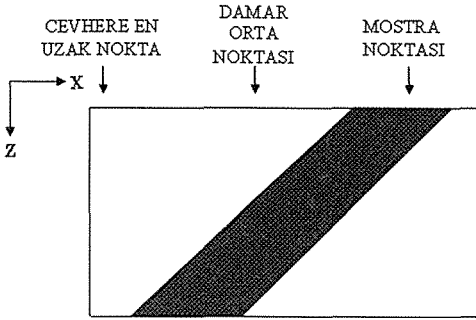
Belirlenen şartlar için net şimdiki zaman değeri kaydedilir. Daha değişik parametreler için yapılan işlemler baştan sona tekrarlanır. Bir dizi tekrar sonrası, en yüksek net şimdiki

değeri üreten ocak hacmi, üretim miktarı, kazı başlangıç noktası vs. belirlenir.

EKOS ile açık ocak ekonomik tablosuna etki eden parametrelerden aşağıdakileri üzerinde inceleme yapılmıştır:

- i- Sınır tenörü
- ii- Yıllık üretim miktarı
- iii- Kazı başlangıç noktası
- iv- Cevher tesisi öncesi stoklarda biriken malzeme miktarı
- v- Stok kapasitesi

Çalışma kapsamında belli özellikte bir cevher senaryosu hazırlanmıştır. 100x100x30, toplam 300.000 bloktan oluşan bir hipotetik bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bloklar kübik olup 10m boyutuna ve 1000m³ hacme sahiptir. Blok modelin başlangıç koordinatları x=1000, y=1000, z=1000 olarak verilmiştir. Nihai şev açısı 45° olarak belirlenmiştir. Bu durumda EKOS, 221.555 adet bloğun ocak sınırları içinde kalacağını hesaplamıştır. Cevher, 30° yatımlı ve doğu yönünde mostra veren bir damar görüntüsü sergilemektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Cevher kesiti.

Sistemin 100.000 bloklulu bir veritabanı üzerindeki bir iterasyonu (tekrarı), Pentium4, 3.0 GHz'lik bir bilgisayarla 12 saat civarında sürmektedir. Zaman kısıtından dolayı, uygulama çalışmasındaki tekrar sayıları beş denemeye sınırlandırılmıştır.

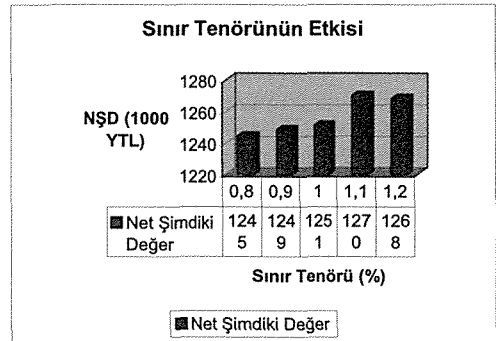
4 EKONOMİK PARAMETRELERİN SINANMASI

Zengin tenörlü bloklar doğu bölgesinde yoğunluk kazanmaktadır. EKOS, blok tenör

dağılımlarından cevherin ortalama tenörünün %4.34 olduğunu rapor etmiştir. Buna göre, diğer parametreler sabit tutulurken, yukarıda bahsedilen beş parametre değiştirilerek incelemeler yapılmıştır.

4.1 Sınır Tenör Analizi

Sınır tenörü, %0.8 ile %1.2 arasında %0.1 aralıkla değiştirilmiştir. Her bir sınır tenörü için cevher kabul edilen blok sayısı ve rezerv değişmiştir. Her bir durum için kazı başlangıç noktası blok cinsinden x=88, y=50, z=1 olarak belirlenmiştir. Bu blok numarası, mostranın da merkezini teşkil etmektedir. Beş değişik sınır tenörü için yıllık kazı miktarı ortalama 1.000.000 m³, çalışılacak iş günü sayısı 300 gün/yıl, tesis cevher kabul alt tenör değeri %3.8, üst değeri %4.8 şeklinde, stok kapasitesi 500.000 ton, minimum stok riski 50.000 ton, tesisler çalışmadan stoklarda birikecek miktar 250.000 ton ve yıllık faiz (iskonto) oranı %10 şeklinde planlanmıştır. Her bir tenör değeri için cevher miktarında değişiklik olmuş ve blok değerleri her bir durum için ayrıca hesaplanarak ekonomik blok modelde atamaları yapılmıştır. Buna göre net şimdiki değerler Şekil 8'deki gibi olmaktadır.

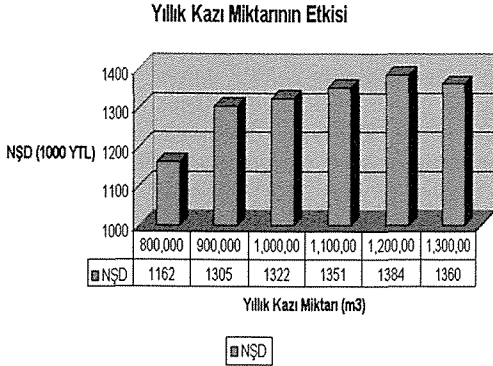


Şekil 8. Sınır tenörünün NŞD'ye etkisi.

Sınır tenörünün incelenen saha ve şartlar için en yüksek NŞD sağladığı değerinin %1.1 olduğu görülmektedir. Tekrar sayısı artırılarak, %1.2'nin üstündeki NŞD değişimi ve %1.1 ile %1.2 arasındaki değişimler ilave iterasyonlarla (tekrar) belirlenebilir.

4.2 Yıllık Kazı Miktarının Analizi

Bu incelemede yıllık kazı miktarları değişken kabul edilerek diğer parametreler sabitlenmiştir. Yıllık faiz (iskonto) oranı %10 ve diğer parametreler 3.1'deki gibi belirlenmiş ve yıllık kazı miktarları 800.000 m³ ile 1.200.000 m³ arasında 100.000m³'lük artışlar şeklinde belirlenmiş, ekonomik blok model her bir durum için yeniden şekil almıştır. Buna göre net şimdiki zaman değerleri Şekil 9'de görüldüğü gibi hesaplanmıştır:

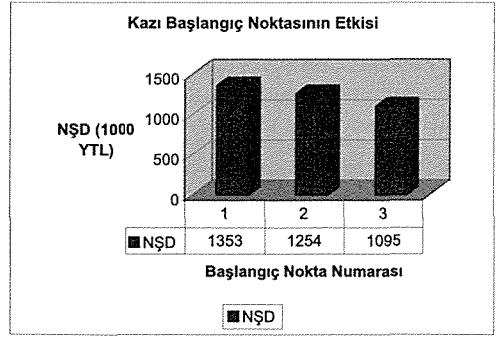


Şekil 9. Yıllık üretim miktarının NŞD'ye etkisi.

En yüksek NŞD'yi sağlayan yıllık kazı miktarı, denemelerin en yüksek miktarı olan 1.200.000 m³/yıl olmuştur. Yüksek ve düşük miktarlar için de tekrarlar yapıp daha hassas sonuçlar elde edilebilecektir.

4.3 Kazı Başlangıç Noktasının Analizi

Kazı başlangıç noktası, kazı yaparken cevhere uzaklığın etkisini gözlemlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. 3.1 ve 3.2'deki parametrelerle, cevherin mostra verdiği $x=88, y=50, z=1$, saha ortası kabul edilen $x=50, y=50, z=1$ ve mostranın zıt yönü olan ve cevherin derinlerde olduğu $x=5, y=50, z=1$ blok indis koordinatları kazı başlangıç noktaları olarak belirlenmiştir. Buna göre NŞD değerleri Şekil 10'daki grafikte görüldüğü gibi hesaplanmıştır:



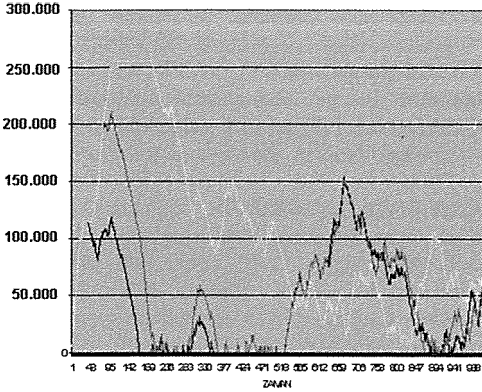
Şekil 10. Kazı başlangıç noktasının etkisi.

Grafığe göre, mostra noktasından başlanacak bir ocak çalışmasında, mostraya en uzak noktadan başlanan bir ocak çalışmasına göre %23.56'lık bir NŞD artışı görülmektedir. Daha değişik noktaların denemesi de EKOS sistemiyle mümkün kılınmaktadır.

4.4 Cevher tesisi öncesi stoklarda biriken malzeme miktarının etkisi

Maden ocaklarının yanlarında kurulan cevher tesisleriyle uyumlu çalışmaması ve tesise taahhüt ettiği nitelikte cevher besleyememesi ve bundan dolayı tazminat ödemek durumunda kalması sıklıkla rastlanan planlama hatalarıdır. Bir ocağın yanındaki tesisle çalışmasının simüle edilebildiği (benzetildiği) EKOS, bu amaçla da kullanılmıştır. EKOS, stok sahasında sınır tenörü, sınır tenörüyle tesis sınır alt tenörü ve tesis üst sınır tenörü üstü olmak üzere 3 stok gruplamasının kaydını tutmakta ve stok doluluk miktarlarını yazılı ve grafiksel olarak kaydetmektedir. Ocağın tesislerden önce cevher ürettiği ve belli bir miktar stok yapıldığından yola çıkılarak, stokta biriken cevherin ocak ömrü boyunca maden-tesis ilişkisine nasıl etki ettiği gözlemlenmiştir. Bu amaçla diğer parametreler sabit tutulurken, tesis çalışmaya başlamadan stoklarda biriken miktar değiştirilmiş ve 200.000 ile 300.000 ton arasında 20.000 tonluk artışlarla 6 değer denenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, 220.000 ton ve üstü bütün stok kapasitelerinde tesislerin kesintisiz bir şekilde istenilen nitelikte cevher alacağı görülmektedir. Şekil 11'de, 220.000 tonluk

bir stokta, zamana karşı stok doluluk hareketleri görülmektedir.



Şekil 11. Tesis faaliyeti öncesi stok doluluğunun etkisi.

Burada, her üç stoktan birinin tesise besleme yapabilecek dolulukta olduğu görülmektedir. Bu ise, tesisin atıl durumda kalmayacağı anlamına gelmektedir.

4.5 Stok kapasitesinin etkisi

Stok kapasitesi de, maden-tesis ilişkilerinin düzenlenmesinde bir role sahiptir. Bunun önemi, EKOS'la incelenmiştir. Stok kapasiteleri 400.000 tonla 600.000 ton arasında 50.000 tonluk artışlarla denenmiş ve stok malzeme hareketleri gözlemlenmiştir. Seçilen bütün stok kapasitelerinde maden-tesis ilişkilerini olumsuz etkileyecek bir hareket gözlemlenmemiştir.

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında bir açık ocak optimizasyon ve simülasyon EKOS paket programı güncellenmemiş ve açık ocak net şimdiki zaman değerini etkileyen çeşitli parametrelerle, maden-tesis ilişkilerinin düzenliliğine tesir eden parametreler sınanmıştır. Sınır tenörü, yıllık üretim miktarı ve kazı başlangıç koordinatlarının net şimdiki zamana olan etkisi gözlemlenirken, stok saha kapasitesi ve tesisler faaliyete başladığında stoklarda biriktirilen cevher miktarının maden-tesis beslenmesi üzerine

etkileri gözlemlenmiştir. Bir tür duyarlılık analizi anlamı da taşıyan bu tür çalışmalar için kodlanan optimizasyon ve simülasyon yapan programların büyük yararı olmakta ve daha detaylı ve hızlı araştırmalar için yazılımların da güçlü ve hızlı hale getirilmesi gerekmektedir. Yazılım desteğiyle sanal ortamda çeşitli senaryolar benzetilmekte (simüle edilmekte) ve daha çok alternatifin göz önüne alındığı planlamalar yapılabilmektedir.

Örnek uygulamada 300.000 bloklu bir model üzerinde çalışılmış, bahsi geçen her bir parametre için yapılan denemeler çerçevesinde en iyi değerler bulunmuştur. Daha güçlü ve hızlı bilgisayarlarla daha çok deneme yapılarak, denen parametreler bazında optimum değerler elde edilebilecektir.

KAYNAKLAR

- Ahuja, R.K. ve Orlin, J.B., 1989., A Fast and Simple Algorithm for the Maximum Flow Problem, *Operations Research*, Cilt 37, No. 5 : 748-759.
- Armstrong, B., 1990. Planning and Design of Surface Mines, Surface Mining, 2nd Edt, Editör; Kennedy, AIME, Colorado, pp. 459
- Bastante, F.G., Taboada, J. ve Ordonez, C., 2004. Design and Planning for slate mining using optimization algorithms. *Engineering Geology*, 73, 93-103.
- Dohm, G.C., 1979. Circular Analysis-Open Pit Optimization, *Open Pit Mine Planning and Design*, AIME, NewYork: 282-310.
- Chanda, E.K. ve Dağdelen, K., 1995. Optimal Blending of Mine Production Using Goal Programming and Interactive Graphics System, *Int. J. of Surface Mining and Reclamation*, Balkema: 203-208.
- Chanda, E.K. ve Wilke, F.L., 1992. An EPD Model of Open Pit Short Term Production Scheduling Optimization for Stratiform Ore Bodies, 23. *APCOM*, SME, Colorado: 759-768.
- Dağ, A. ve Özer, Ü., 1995. Optimum Open Pit Limit of Hekimhan-Deveci Iron Mine: Determination by the Moving Cone Optimising Technique, *Mine Planning and Equipment Selection*, Singhal et.al. eds., Balkema, Rotterdam: 45-48.
- Denby, B. ve Schofield, D., 1994. Open-pit Design and Scheduling by Use of Genetic Algorithms, *IMM*, Cilt 103: A21-A26.

- Dijilani, M.C. ve Dowd, P.A., 1994. Optimal Production Scheduling in Open Pit Mines, *Leeds University Mining Association Journal*, 133-141.
- Dohm, G.C., 1979. Circular Analysis-Open Pit Optimization, *Open Pit Mine Planning and Design*, Crawford and Hustrulid ed., AIME, New York: 284-310.
- Dowd, P.A. ve Elvan, 1987. Dynamic Programming Applied to Grade Control in Sub-level Open Stopping, *IMM*, Cilt 96: A171-A178.
- Dowd, P.A. ve Onur, A.H., 1992. Optimising Open Pit Design and Sequencing, 23. *APCOM*, SME, Colorado: 411-422.
- Dowd, P.A. and Onur, A.H., 1993. Open pit optimisation: I - optimal open pit design. *Trans. Instn. Min. Metall.*, Section A, 102, A95-104.
- Elevli, B., 1992. *Open Pit Mine Production Scheduling Using Operations Research and Artificial Intelligence*, PhD Dissertation, Colorado School of Mines: 189 s.
- Elevli, B., 1995. Open Pit Mine Design and Extraction Sequencing by Use of OP and AI, *Int. J. of Surface Mining, Reclamation and Environment*, Balkema: 149-153.
- Erarıslan, K., 1996. *Development of a Model for Open Pit Limits Integrated with a Sequencing System*, PhD Dissertation, Middle East Technical University: 163 s.
- Erarıslan, K., Celebi, N. and Pasamehmetoğlu, A.G. 1997. A Profit Maximization Model for Open Pit Limits Optimization as a Function of Block Extraction Sequence, 2nd *Regional APCOM Symposium*, ed. Puchkov, L.A., Moscow State Mining Univ. Pub. Center, Moscow.
- Erarıslan, K., Celebi, N. and Pasamehmetoğlu, A.G. 1999. Açık Ocak Sınırlarının Üretim Planının Bir Fonksiyonu Olarak Simülatif Optimizasyonu, 16. *Türkiye Madencilik Kongresi*, Ankara, 79-88.
- Erarıslan, K., Celebi, N., 2001. A Simulative Model for Optimum Open Pit Design, *CIM Bulletin*, No:94, No:1055, 59-68.
- Esfandiari, B., Aryanezhad, M.B and Abrishamifa, S.A., 2004. Open pit optimization including ore dressing criteria using 0-1 non-linear goal programming, *Mining Technology, TIMM-Section A*, 113, A3-A16.
- Ford, C.R. ve Fulkerson, D.R., 1956. Maximal Flow Through a Network, *Canadian J. Math.*, Cilt 8: 399-404.
- Hillier, F. ve Lieberman, G. 1995. *Dynamic Programming, Introduction to Operations Research*, Chapter 11, McGraw Hill Pub. Co.
- Hochbaum, D.S. ve Chen, A., 1999. Performance analysis and best implementations of old and new algorithms for the open pit mining problem, *Operations Research*, 48 (6), 894-914.
- Huang, S., 1993. Computer-Based Optimization of Open-Pit Mining Sequences, *IMM*, Cilt 102: A125-A133.
- Huttagosol, P. ve Cameron, P.C., 1992. A Computer Design of Ultimate Pit Limit by Using Transportation Algorithm, 23. *APCOM*, SME, Colorado: 443-460.
- Johnson, T.B. ve Sharp, R.W., 1971. A Tree Dimensional Dynamic Programming Methods for Optimal Ultimate Pit Design, *U.S. Bur. Min., RI 7553*.
- Koenigsberg, E., 1982. The Optimum Contours of an Open Pit Mine: An Application of Dynamic Programming, 17th *APCOM*, AIME: 274-287.
- Lemieux, M., 1979. Moving Cone Optimizing Algorithm, *Computer Methods for the 80's*, ed. Weiss, A., SME: 329-345.
- Lerchs, H. ve Grossman, I.F., 1965. Optimum Design of Open Pit Mines, *CIM Bulletin*, Cilt 58, no:633: 47-54.
- Lizotte, Y., 1988. The Economics of Computerized Open-Pit Design, *Int. J. of Surface Mining*, Balkema: 59-78.
- Mann, C. ve Wilke, F.L., 1992. Open Pit Short Term Mine Planning for Grade Control-A Combination of CAD-Techniques and Linear Programming, 23. *APCOM*, SME, Colorado: 487-497.
- Meyer, M., 1969. Applying Linear Programming to the Design of Ultimate Pit Limits, *Management Science*, Cilt 16, No. 2: B121-B135.
- Onur, A.H. ve Dowd, P.A., 1993. Open-Pit Optimization- Part 2: Production Scheduling and Inclusion of Roadways, *IMM*, Cilt 102: A105-A113.
- Pana, M.T., 1965. The simulation Approach to Open Pit Design, 5th *APCOM*, Johannesburg,: 139-144.
- Paşamehmetoğlu, A.G. vd., 1988. TKİ Dekapaj İhale Panoları için Makina Parkı Seçimi, Maliyet Analizi ve Birim Maliyetin (TL/m³) Saptanması, Cilt 1-3, *Nihai Rapor*, ODTÜ, Maden Müh. Böl. Maden İşletme Anabilim Dalı.
- Ramazan, S., Dağdelen K, ve Johnson, T.B, 2005. Fundamental three algorithm in optimization production scheduling for open pit mine design. *Mining Technology, TIMM-Section A*, 114, March, A45-A54.
- Roman, R.J., 1974. The Role of Time Value of Money in Determining an Open Pit Mining Sequence and Pit Limits, 12. *APCOM*, Colorado School of Mines, Golden Co.: C77-C85.
- Schofield, D. ve Denby, B., 1992. Genetic Algorithms: A New Approach to Pit Optimization, 23. *APCOM*, SME, Colorado: 126-133.

- Smith, M.L. ve You, T., 1995. Mine Production Scheduling for Optimization of Plant Recovery in Surface Phosphate Operations, *Int. J. of Surface Mining and Reclamation*, Balkema: 41-46.
- Tolwinski, B. ve Underwood, R., 1992. An Algorithm to Estimate the Evolution of an Open Pit Mine, 23. *APCOM*, SME, Colorado: 399-409.
- Wang, Q. and Sevim, H., 1992. Enhanced Production Planning in Open Pit Mining Through Intelligent Dynamic Search, 23. *APCOM*, SME, Colorado: 461-471.
- Whinkle, R.F., 1979. Cost Records of Open Pit Mining, *Open Pit Mine Planning and Design*, Crawford and Hustrulid ed., SME, New York: 99-126.
- Whittle, J., 1988. Beyond Optimization in Open-Pit Mining, *Proceedings of the First Canadian Conference on Computer Applications in the Mineral Industry*, Quebec City, Canada: 331-337.
- Whittle, J., 1989. *The Facts and Fallacies of Open Pit Optimization*, Whittle Programming Pty. Ltd., Report.
- Wright, E.A., 1987. The use of Dynamic Programming for Open Pit Mine Design: Some Practical Implications, *Min.Sci. and Tech.*, Cilt 6: 79-104.
- Yegülalp, T.M. ve Arias, J.A., 1992. A Fast Algorithm to Solve the Ultimate Pit Problem, 23. *APCOM*, SME, Colorado: 391-397.
- Yegülalp, T.M., et.al., 1993. *New Developments in Ultimate Pit Limit Problem Solution Methods*, SME Preprint no 93-26, Reno, NV.
- Youdi, Z., Qingxiang, C., Lixin, W. ve Daxian, Z., 1992. Combined Approach for Surface Mine Short Term Planning Optimization, 23. *APCOM*, SME, Colorado: 499-506.
- Yun, Q. ve Zhang, Y., 1987. Optimization of Stage-Mining in Large Open-Pit Mines, *Proceedings of 13th World Mining Congress*, Sweden: 237-244.
- Zhang, Y.D., Cheng, Y.P. ve Su, J., 1993. Application of Goal Programming in Open Pit Planning, *Int. J. of Surface Mining and Reclamation*, Balkema: 41-45.
- Zhao, Y. ve Kim, Y.C., 1992. A New Optimum Pit Limit Design Algorithm, 23. *APCOM*, SME, Colorado: 423-434.

Enerji Piyasalarında Riske Maruz Değer (RMD): RMD'nin Enerji Fiyat Riskini Yönetmedeki Başarısı

Value at Risk (VaR) in Energy Markets: Effectiveness of VaR in Managing Energy Price Risk

T. Korkmaz, E. Erdoğan

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, İİBF, İşletme Bölümü, Zonguldak

A. Bostancı

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, ZMYO, İktisadi ve İdari Programlar, Zonguldak

ÖZET Son yıllarda dünya genelinde enerji sektöründe artan fiyat serbestisi (deregülasyon) ve liberalleşme çalışmaları, arz ve talep dengesizliği, artan enerji ihtiyacı, depolama, taşıma vb sorunlarından dolayı enerji ürünleri yüksek fiyat dalgalanmalarına maruz kalmaktadır. Fiyat dalgalanmaları enerji piyasalarında faaliyet gösteren üretici ve tüketicileri olumsuz etkileyerek ortaya çıkan fiyat riskinden korunma gereksinimi duymalarına neden olmaktadır. Fiyat riskinden korunmanın etkin yollarından biri ise RMD yöntemlerinin kullanılmasıdır. RMD, fiyat riskini tek bir değerle ifade eden istatistiki ve benzetim (simülasyon) modellerini kullanan genel kabul görmüş bir yöntemdir. Bu çalışmada, enerji vadeli işlem sözleşmelerini içeren varsayımsal bir portföyün günlük riskleri RMD yöntemlerinden Tarihi Benzetim ve Monte Carlo Benzetim yöntemleri ile ölçülmüştür. Günlük RMD değerlerinin başarısını tespit etmek için geriye dönük test yöntemi uygulanmıştır. Sonuç olarak Tarihi Benzetim ve Monte Carlo Benzetim yöntemlerinin Basel Kriterlerini sağladığı gözlenmiştir.

ABSTRACT All over the world in recent years, energy products are exposed to high price volatility due to the increasing deregulation and liberalization efforts in energy sector, imbalance of supply and demand, increasing needs of energy, storage-delivery problems and etc. Price fluctuations have negative affect on both suppliers and consumers operating in energy markets; as a result, price risk needs to be hedged. One of the effective ways of price risk hedging purposes is using VaR methods. VaR is a generally accepted method that assesses price risk in a single number by using statistical and simulation models. In this study, hypothetical energy futures contracts portfolio's daily risk numbers are measured by VaR methods, namely; Historical Simulation and Monte Carlo Simulation. In order to test success of daily VaR numbers, backtesting method is applied. As a result, it is observed that both Historical Simulation and Monte Carlo Simulation methods meet the requirements of Basel Criterion.

1 GİRİŞ

1970'lerde ekonomik belirsizliğin artması finansal piyasaların yapısının değişmesine neden olmuştur. 1973 yılında uluslararası para sistemi olan Bretton Woods'un çökmesi ile döviz kurlarında, mal ve hizmet fiyatlarında ve faiz oranlarında önemli dalgalanmalar meydana gelmeye başlamıştır.

Böylece uluslararası piyasalarda kur, fiyat ve faiz oranı risklerinde önemli artışlar meydana gelmiştir. Bu risklerden korunmak için yeni finansal enstrümanlara ihtiyaç duyulmuştur. Böylece türev ürünler risk yönetiminde kullanılmaya başlamıştır. Türev ürün, vade sonundaki veya vade içerisindeki değeri, sözleşmeye konu olan varlığın fiyatı

tarafından belirlenen bir finansal varlıktır. Türev sözleşmelerinin ticaretinin yapıldığı yerlere alivire veya ileri vadeli işlem piyasaları olarak adlandırılan forward, vadeli işlem piyasaları olarak adlandırılan futures, seçenekli işlem piyasaları olarak adlandırılan opsiyon ve değiş-tokuş piyasaları olarak adlandırılan swap piyasaları denmektedir. Dünyada çeşitli sektörlerde türev ürünler riskten korunma, spekülasyon, arbitraj ve yatırım amaçlı olarak kullanılmaktadır.

Enerji piyasaları, doğada farklı miktarlarda bulunan enerji ürünlerinin toplamından oluşmaktadır. Dünyada son 150 yılda artan sanayileşme enerji ihtiyacını ve enerji talebini önemli ölçüde arttırmıştır. Dünya enerji ihtiyacının 2030 yılına kadar en az %50 oranında artması beklenmektedir. Enerji talebinin yüksek olması enerji piyasalarının önemini de arttırmaktadır.

Enerji ürün fiyatlarının piyasada arz ve talebe göre belirlenmeye başlamasıyla, 1980'li yıllarda enerji ürünleri türev piyasalarda işlem görmeye başlamıştır. Enerji piyasası ürünleri ham petrol, benzin, mazot, doğal gaz, elektrik, kömür ve emisyon olarak sayılabilir. Bunların dışında dünya üzerinde gazyağı, propan, iklim gibi ürünler üzerine yapılan enerji türev sözleşmeleri de bulunmaktadır.

Türkiye'de enerji piyasalarında enerjinin üretilmesi, işlenmesi, depolanması gibi teknik çalışmalar daha çok ön plana çıkarırken, enerji piyasalarının finansal riskleri konusunda yeteri kadar çalışma yapılmamıştır. Bu nedenle bu çalışmanın amacı, enerji fiyat riski yönetimi konusunda katkı sağlamaktır. Bu çalışmada enerji fiyat riskinin yönetilmesinde kullanılan türev ürünler tanıtılacaktır. Bununla birlikte enerji piyasalarındaki fiyat hareketlerinin volatilitesi nedeniyle ortaya çıkan fiyat riskinin RMD yöntemi kullanılarak ölçülebilir ve tek bir sayıyla ifade edilebilir olduğu gösterilecektir. Enerji türev ürünlerinden oluşturulan varsayımsal bir portföyün günlük RMD sayıları Tarihi Benzetim ve Monte Carlo Benzetim yöntemiyle ölçülecektir. Ayrıca geriye dönük test (Backtesting) yöntemiyle RMD yöntemlerinin başarısı test edilecektir.

Yöntemlerin başarı durumlarına göre finansal açıdan enerji piyasalarında etkin bir risk yönetimi için RMD metodunun kullanılıp kullanılmayacağı tespit edilecektir.

2 ENERJİ PİYASALARI

Enerji piyasaları diğer emtia piyasalarından farklı, kendine özgü özellikler gösterirler. Bu özellikler enerji piyasalarının yapılandırılmasında önem taşır. Enerji sektörü ekonomiyle birlikte büyümekte ve bu piyasaların, ülkelerin ekonomik büyümesi için stratejik önemi giderek artmaktadır (TÜBİTAK, 2003).

Piyasa yapısı firmaların nasıl hareket edeceğini belirler. Çeşitli enerji sektörlerinin piyasa yapıları zamana karşı ve ülkeden ülkeye farklılık gösterir. Örneğin; petrol sektörü daha çok kartel şeklindedir. Her bir kartel başka bir kartel piyasaya girip mevcut karteli kaldırırsa kadar pazara hakim firma olarak hareket eder. Son yıllarda tüketimi artan enerji ürünlerinden biri olan doğal gaz farklı piyasalarda farklı ekonomik ve hukuki yapıya göre gelişmektedir. ABD'de doğal gaz piyasaları serbest piyasada iken diğer ülkeler fiyat serbestisi çalışmalarına yeni başlamıştır (Dahl, 2004).

Enerji ürünleri, herkesin ihtiyacı olan ürünler olduğundan ve bu ürünlerin ikameleri olmadığından veya çok zor bulunmasından dolayı, bu ürünlere olan talep elastik değildir. Bu nedenle enerji fiyatı ne kadar yüksek olursa olsun enerji talebinde azalma olmamaktadır. Enerji fiyatlarının dalgalanmasındaki başlıca sebepler aşağıda sıralanmaktadır (Bağcı, 2004):

- Arz ve talep arasında dengesizliklerin olması,
- Enerji üreten ülkelerde ortaya çıkan politik veya diğer sorunlar (ham petrol için özellikle Orta Doğu ülkelerindeki karışıklıklar),
- Enerji üreten ülkelerdeki üretim kısıtlamaları veya fazlası,
- Enerji kaynaklarının sınırlı olması,
- Enerji talebinin hava koşullarından etkilenerek hızlı bir şekilde aniden artabilmesi ve ilave üretim imkânlarının kısıtlı ve pahalı olması,

- Özellikle elektrik ve doğal gaz ihtiyacının beklenmeyen bir şekilde arttığı bölgelere enerjinin kolay ulaştırılmaması ve yerel depolama maliyetlerinin pahalı olması,
- Enerji yatırımlarının zamanında yapılmaması ve arzın karşılanamaması olarak sayılabilir.

1970 yılından sonraki süreçte fiyat serbestisi çalışmaları sonrası enerji piyasalarında fiyatlardaki belirsizlik derecesinin artması organize borsalarda enerji türev sözleşmelerinin gelişimine neden olmuştur. Sözleşmelerin başarısı ve gelişimi büyük oranda katılımcının dikkatini enerji piyasalarına çekmiş ve enerji sözleşmelerinin yaygınlaşmasını sağlamıştır. Bugün dünya genelinde çoğu borsada ve Tezgaç Üstü Piyasalar (TÜP)'da benzin, fuel oil, mazot, kurşunsuz benzin, doğal gaz ürünlerini içeren alivre, vadeli işlem, seçenekli işlem ve değiş-tokuş sözleşmeleri kullanılmaktadır (Fleming ve Ostdiek, 1999). Bununla birlikte enerji türev ürünleri içerisinde kömür 1998 yılından buyana daha çok tezgaç üstü piyasalarda olmak üzere Kuzey Amerika ve Avrupa piyasalarında kullanılmaya başlamıştır (Erdoğan, 2006).

3 ENERJİ TÜREV ÜRÜNLERİ

Enerji piyasaları, enerji ürünlerinin türev piyasalarda kullanımı açısından üç grupta incelenebilir. Birinci grup yakıtlar grubu olup petrol, doğal gaz ve kömür ürünlerinden oluşur. İkinci grup elektrik, üçüncü grup ise iklim ve emisyon ürünlerinden oluşmaktadır (Eydeland ve Wolyniec, 2003).

Enerji ürünlerinden oluşan türev sözleşmelerin, *riskten korunma* ve *referans fiyat oluşturma* gibi iki temel fonksiyonu vardır. Enerji ürünlerinin, söz konusu olduğu vadeli işlem ve seçenekli işlem sözleşmeleri borsalarda işlem görmektedir. Seçenekli işlem sözleşmeleri borsalarda işlem görmesine rağmen, alivre ve değiş-tokuş gibi TÜP'lerde de işlem görmektedir. Vadeli işlem ve seçenekli işlem borsalarında sözleşmeye taraf olanların yükümlülüklerini yerine getirmeme riskini ortadan kaldırmak için takas merkezi (clearing house) sisteme

dahil edilmiştir. Takas merkezi “alıcı için satıcı” “satıcı için alıcı” fonksiyonunu üstlenmiştir.

Enerji ürünleri için kullanılan *alivre sözleşmeleri*, gelecekte belirli bir zamanda belirli bir enerji ürününün teslimatı için yapılan standart olmayan alım satım anlaşmalarıdır. Teslim zamanı, 1 hafta veya 1 ay gibi yakın bir zaman olabileceği gibi birkaç ay hatta bir yıla kadar varan süreleri kapsayabilir (Eydeland ve Wolyniec, 2003). Sözleşmelerin özellikleri değişken olmakla birlikte sözleşme üzerinde, sözleşmeye konu olan ürünün niteliği, miktarı, fiyatı, taşıma detayları, taşıma süresi, taşıma yeri gibi bilgiler bulunabilir (Eydeland ve Wolyniec, 2003).

Enerji vadeli işlem sözleşmeleri, önceden belirlenen bir gün için sabit bir fiyattan ve miktardan petrol, doğal gaz, elektrik, kömür veya diğer bir enerji ürününün alım ve satımını taahhüt eden sözleşmelerdir (James, 2003). Enerji vadeli işlem sözleşmelerinde sözleşme alıcısı uzun pozisyon ve satıcısı kısa pozisyon taşır (Dahl, 2004). Pozisyon tutan taraf, bu pozisyonu vade sonuna kadar bekletmek zorunda değildir. Sözleşmenin süresi zarfında ters bir işlemle pozisyonunu kapatabilir (Ceylan ve Korkmaz, 2004).

Enerji vadeli işlem sözleşmeleri standardize edilmiş likit finansal enstrümanlardır. Katılımcılara etkin maliyet ve risk yönetimi fırsatları sunmaktadırlar. Vadeli işlem sözleşme fiyatları dünya enerji piyasalarında referans fiyat olarak kullanılmaktadır. Sözleşmelerin süresi dolmadan veya ilgili ürün teslim edilmeden önce kolaylıkla ters işlemle likide edilebilir. Vadeli işlem sözleşmelerinin borsa ortamında ticaretinin yapılıyor olması güvenilir ve adil bir ticaret imkânı sağlamaktadır (Energy Complex, 2006). Vadeli işlem piyasalarında ödeme yükümlülüğü kendine özgü özellikler taşır. Vadeli işlem sözleşmeleri gelecekte yerine getirilecek taahhütlerden oluştuğu için pozisyon açan taraflar başlangıç teminatı ödeyerek gelecekteki taahhütlerine ilişkin parasal bir garanti vermektedirler (Erol, 1999). Bu sisteme marjin sistemi denir. Sözleşmenin satın alınması sırasında taraflar

arasında herhangi bir para değişimi gerçekleşmez (Errera ve Brown, 2002). Her ne kadar vadeli işlem sözleşmeleri teslim şartı içerse de fiiliyatta teslimat %1 oranından daha azdır (Energy Complex, 2006). Vadeli işlem sözleşmelerinin özellikleri borsadan borsaya değişiklik gösterir. Sözleşme hacmi, ticaret saatleri, takas merkezi, tik tutarı (fiyat değişim aralığı), son işlem günü gibi özellikler her borsanın kendi belirlediği kurallara göre standardize edilir.

Seçenekli işlem sözleşmesi, alıcısına sözleşmeye konu olan varlığı, belirlenen fiyattan ve belirlenen tarihe kadar geçecek süre içinde herhangi bir zamanda alma yada satma hakkı veren bir sözleşmedir. Seçenekli işlem sözleşmeleri sözleşmeyi alan kişi açısından bir yükümlülük getirmemekle birlikte bu kişiye bir hak vermektedir (Smithson, 1998). Bu hakkın kullanılıp kullanılmama kararı seçenekli işlem sözleşmesini alan tarafa aittir. Seçenekli işlem sözleşmesi satın alan taraf, belirli bir fiyat üzerinden söz konusu ürünü alma veya satma hakkını belli bir prim ödeyerek satın alır. Buna karşılık seçenekli işlem sözleşmesini satan tarafın karşı taraf talep ettiğinde sözleşmeye konu olan ürünü anlaşma fiyatından teslim etme yükümlülüğü bulunmaktadır. Bu yükümlülüğün doğması için seçenekli işlem hakkının en geç vade tarihine kadar kullanılması şarttır, aksi takdirde satıcının yükümlülüğü ortadan kalkar (Ceylan ve Korkmaz, 2004).

Enerji seçenekli işlem piyasası çok gelişmiş bir piyasadır. New York Emtia Borsası (New York Mercantile Exchange-NYMEX)'de ilk olarak 1986 yılında ham petrol seçenekli işlem sözleşmeleri işlem görmeye başlamıştır. 1987 yılında Uluslararası Petrol Borsası (International Petroleum Exchange-IPE)'nda da benzin seçenekli işlem sözleşmeleri yapılmıştır. Bu tarihten sonra seçenekli işlem piyasaları giderek yaygınlaşmıştır. Enerji seçenekli işlem sözleşmelerinin işlem görmeye başlamasıyla NYMEX ve IPE borsalarının yıllık bileşik büyüme oranı yaklaşık %20 civarında gerçekleşmiştir. Enerji seçenekli işlem piyasalarının büyüme nedenlerinden

birisi de 1991 yılındaki Körfez Savaşı nedeniyle enerji fiyat volatilitésinin son derece yüksek olmasıdır. 1990 yılının sonunda ham petrol fiyatlarının volatilitésini yıllık bazda %100'ü aşmıştır (Errera ve Brown, 2002).

Enerji piyasalarında kullanılan diğer türev ürün değiş-tokuş sözleşmeleridir. Enerji piyasalarında değiş-tokuş sözleşmeleri, iki taraf arasındaki belirli miktar ve kalitedeki malın (petrol, doğal gaz, benzin, elektrik, kömür) sabit ve değişken fiyatlarının belli bir zaman süresince takas edilmesini içeren bir sözleşmedir (Ceylan ve Korkmaz, 2004:394). Enerji değiş-tokuş sözleşmeleri ilk olarak 1986 yılında kullanılmaya başlamıştır (McCann ve Nordström, 1995). Alivrev sözleşmelerde olduğu gibi değiş-tokuş sözleşmeleri kurumlar arasında karşılıklı yapılan sözleşmeler olup, borsada alım satımı yapılan türevler gibi takas mekanizması ile garantiye alınmadıkları için, kredi riski taşırlar. Ayrıca kurumlar arasında yapılan özel değiş-tokuş sözleşmeleri genellikle daha az likit enstrümanlardır ve elden çıkarılması zordur (Douglas, 2002). TÜP'lerde katılımcılar, sabit ve değişken fiyat referanslarına, fiyatlama periyoduna, başlangıç ve bitiş zamanına ve ödeme vadesi gününe odaklanırlar (Dahl, 2004).

Değiş-tokuş sözleşmeleri ön ödeme gerektirmezler. Değiş-tokuş'un yapılacağı malın tutarı, anlaşmanın süresi, referans alınan fiyat endeksi ve ödemenin sıklığı anlaşma ile taahhüt edilir. Altı aydan az olan değiş-tokuş sözleşmeleri kısa dönemli değiş-tokuş sözleşmeleri ve altı aydan otuz yıla kadar çıkabilen sözleşmeler uzun dönemli sözleşmelerdir. Değiş-tokuş sözleşmeleri uzun vadeleri nedeniyle vadeli işlem sözleşmeleriyle karşılaştırdıklarında daha uzun süreli koruma sağlarlar (Dahl, 2004).

4 ENERJİ PİYASALARINDA FİYAT RİSKİ YÖNETİMİ

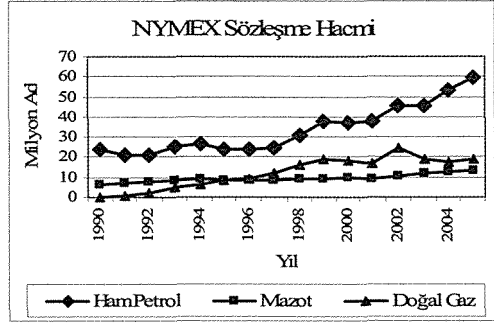
Enerji piyasalarındaki yüksek fiyat hareketliliği, konsolidasyon, özelleştirme, liberalleşme ve enerji piyasalarında meydana gelen krizler bu sektörde faaliyet gösteren firma yöneticilerini ve düzenleyicileri aktif

risk yönetim politikalarını uygulamaya itmiştir (Khindanova ve Atakhonava, 2002). Son yıllarda enerji kullanımının, enerji piyasalarında elektronik enerji ticaretinin ve enerji piyasası katılımcılarının artması gibi nedenlerden dolayı volatilitenin önceden tahmin edilemez hale gelmesi enerji fiyat riskinden korunmayı (hedge) zorunlu hale getirmiştir. 2001 yılında ABD’de Enerji Bakanlığına bağlı Enerji Bilgi Birimi tarafından yapılan bir çalışmada 1989 yılından 2002 yılları arasında enerji, emtia ve finansal ürünlerden oluşan bazı ürünlerin yıllık volatiliteleri ölçülmüştür. Buna göre enerji ürünlerinin ve bu ürünlerin arasında özellikle elektrik ürününün diğer ürünlerle karşılaştırıldığında yüksek volatiliteye sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışmada elektrik yıllık ortalama spot fiyat volatilitelerinin %435, doğal gaz ürününün %78, ham petrolün %38 ve mazot ürününün %38,5 olduğu tespit edilmiştir. Diğer ürünlerde ise örneğin; hisse senedi endekslerinin yıllık ortalama volatilitelerinin %15, kıymetli madenlerden altının %12, tarımsal ürünlerden pamuğun %76 ve mısırın %32,3 olduğu ortaya çıkmıştır. Enerji ürünleri dışındaki ürünlerde yüksek volatiliteye sahip ürünlerden biri %99 ile şeker ve %85,7 ile devlet tahvilidir. Söz konusu çalışmada enerji ürünlerinin diğer ürünlere nispeten daha yüksek volatiliteye sahip olduğu tespit edilmiştir (Douglas, 2002).

Enerji piyasalarında uygulanan risk yönetim teknikleri aslında geleneksel finansal piyasalarda geliştirilmiştir. Ancak fiziksel bir varlık olarak enerji, geleneksel değerlendirme ve risk yönetim yöntemleri ile hesaplanamayan kendine özgü özelliklere sahiptir. Depolama, taşıma, iklim, teknoloji, kısa dönemli talep ve tedarik dengesizliği gibi faktörler finansal piyasalarda dikkate alınmamakta ancak, enerji piyasalarını bir çok yeni risk boyutu ile etkilemektedir. Ayrıca enerji piyasalarının özel karakteristikleri RMD’yi de kapsayan geleneksel risk yönetim araçlarını zorunlu hale getirmektedir (Khindanova ve Atakhonava, 2002).

5 ENERJİ ÜRÜNLERİNİN TANTIMI

Çalışmada oluşturulacak olan varsayımsal portföyde kullanılacak enerji ürünleri olan ham petrol, mazot ve doğal gaz piyasaları aşağıda tanıtılacaktır. Çalışmada kullanılan bu sözleşmeler ABD’nin en büyük enerji borsası olan NYMEX’te yıllar itibariyle en yüksek işlem hacmine sahip üç üründen oluşmaktadır. Tanıtılan enerji sözleşmelerin yıllar itibariyle işlem hacmindeki artış Şekil 1’de görülmektedir (NYMEX, 2006).



Şekil 1. NYMEX sözleşmelerin hacmi (13.08.2006)

Petrol Piyasası: Ham petrol ve petrol ürünlerinin fiyatları; dünya ekonomik gelişim, iklim, mevsimsel olaylar, bölgesel artırım (rafineri) ve taşıma kapasitesi nedeniyle dalgalı bir seyir izler (Douglas, 2002). Dünya petrol fiyatları diğer emtia ürünlerinden daha yüksek volatiliteye sahiptir (Adelman, 1999).

Petrol ticareti çeşitli borsalar üzerinden yürütülmektedir. Ham petrol piyasası dünya üzerindeki en büyük emtia piyasasıdır. Dünyadaki en önemli ham petrol ticaret merkezleri New York, Londra ve Singapur’dur. Vadeli piyasalarda ham petrol ticaretinin yanında benzin ve mazot, kükürtsüz petrol, gazyağı gibi rafine edilmiş ham petrol ürünlerinin ticareti yapılmaktadır.

Avrupa’da 1980 yılında kurulan IPE’de, 1981 yılında ilk olarak benzin vadeli işlem sözleşmeleri işlem görmeye başlamıştır. Borsada 1988 yılında Brent ham petrolünün ticareti yapılmaya başlanmıştır. Kuzey denizinden çıkarılan Brent ham petrolün fiyatı diğer petrol fiyatları için referans olarak kullanılmaktadır (Fusaro, 1998).

ABD'de petrol sözleşmelerine en ideal örnek West Texas Intermediate (WTI) ham petrolüdür (Eydeland ve Wolyniec, 2003). ABD'deki ham petrol vadeli işlemleri NYMEX'ten yürütülmektedir. NYMEX Kuzey Amerika'da ham petrol ürünün işlem gördüğü tek organize piyasadır. NYMEX dünyanın en büyük fiziksel emtia vadeli işlem borsası olup, borsalarda gerçekleştirilen dünya enerji ticaretinin %80'i bu borsada yapılmaktadır (Fusaro, 1998).

Asya'da ise ham petrolün alınıp satıldığı WTI ve Brent petrolü gibi fiyat bilgisi sağlayan bir vadeli işlem borsası yoktur. Bu nedenle ham petrol fiyatları büyük üretici, rafineri ve tüketicilerin tekliflerini sundukları bağımsız bir panelde oluşur. Örneğin; OPEC petrolünün fiyatı OPEC ülkeleri tarafından belirlenir. Japonya'da bulunan Merkezi Japonya Emtia Borsası (Central Japan Commodity Exchange-C-COM) ve Tokyo Emtia Borsası (Tokyo Commodity Exchange TOCOM)'nda benzin, gaz yağı ürünleri vadeli işlem ve seçenekli işlem sözleşmesi olarak sunulmaktadır (Australian Institute of Petroleum, 2006).

Mazot Piyasası: Mazot piyasası rafinerilere, varil ticareti yapanlara ve rafineri mazot kullanıcılarına geniş bir korunma stratejisi sağlar. Mazot piyasası özellikle NYMEX'te oldukça gelişmiş bir piyasadır. Mazot vadeli işlem sözleşmeleri kimyasal açıdan mazotla benzer bir yapıya sahip olan dizel yakıtı ve ticareti daha çok nakit piyasalarda yapılan jet yakıtı ürünlerinin fiyat riskinden korunmak için kullanılmaktadır. Rafinerileri, toptancıları, mazot perakendecilerini, taşıma şirketlerini, hava yollarını ve diğer başlıca işlenmiş fuel oil tüketicilerini kapsayan büyük şirketler bu sözleşmeyi risk yönetim aracı ve fiyat mekanizması olarak benimsemişlerdir (Energy Complex, 2006).

Doğal Gaz Piyasası: Doğal gaz, kolaylıkla yanabilen, üretilirken çok fazla çevre kirliliğine neden olmayan ve bol miktarda rezervi olan fosil bir yakıttır (NYMEX, 2001). Başlangıçta daha çok yerel kullanım amaçlı kullanılan doğal gaz, 1950'li yıllarda dünya enerji tüketiminin %10'unu

karşılıken daha sonraki yıllarda uluslararası kullanımı giderek artmıştır. 1972 yılı ve 1979 yılındaki petrol krizlerinden sonra doğal gazın kullanımında artış yaşanmıştır. Bunun nedeni petrol fiyatlarındaki ani artışlar nedeniyle enerji tüketiminde kömür ve doğal gaz kullanımının artması; kömür kullanımının neden olduğu hava kirliliğinin doğal gazda bulunmamasıdır (Bayraç, 1999).

Doğal gaz boru hatlarının yapılması doğal gazın uzun mesafelere transferini kolaylaştırmıştır. Taşıma maliyetleri doğal gaz endüstrisinin gelişimini etkilemektedir. Petrolen daha yüksek taşıma maliyetlerinin olması doğal gaz ticaretini daha çok bölgeselleştirmesine neden olmuştur (Dahl, 2004).

Kış döneminde tüketimin artması ve yaz döneminde azalması doğal gaz fiyatlarının kışın artmasına yazın düşmesine neden olmaktadır. Doğal gaz piyasasında katılımcılar gaz üreticileri, boru hattı firmaları, yerel taşıma firmaları, tüketicileri ve pazarlamacılardan oluşur (DTM, 2006). Doğal gaz ticareti genellikle ülkeler arasında ikili sözleşmeler şeklinde yapılmaktadır. Uluslararası doğal gaz alım sözleşmeleri ile yurt içi sözleşmelerin çoğunluğunda fiyatlar, afişe fiyatlar yerine özel ve gizli biçimde belirlenmektedir. ABD dışında, dünya piyasalarında doğal gazın petrol gibi gelişmiş bir piyasası olmadığı için yapılan fiyat anlaşmaları genellikle gizli kalmaktadır (Bayraç, 1999).

ABD'de doğal gaz piyasalarında 1978 yılında başlayan fiyat serbestisi çalışmaları, 1993 yılında tamamlanmıştır. Fiyat serbestliğinin tamamlanması, ABD'deki doğal gaz piyasalarını uzun dönemli sabit sözleşmelerin hakim olduğu bir piyasa olmaktan çıkararak yeni spot ve likit vadeli piyasaları içeren bir piyasa haline getirmiştir (Fusaro, 1998).

ABD'de ilk doğal gaz vadeli işlem sözleşmesi 1990 yılında NYMEX'te işlem görmeye başlamıştır (NYMEX, 2001). Doğal gaz ABD'nin enerji profilinde toplam enerji tüketiminin hemen hemen dörtte birini oluşturan bir enerji kaynağı olarak önemli bir rol oynamaktadır. Çoğu doğal gaz ve elektrik kullanıcısı ABD'de NYMEX'teki bu

sözleşmeyi kullanmaktadırlar (Energy Complex, 2006).

Avrupa'da ilk olarak İngiltere'de fiyat serbestisi çalışmalarının sonucu doğal gaz vadeli işlem sözleşmeleri IPE'de 1997 yılında işlem görmeye başlamıştır. Likit doğal gaz vadeli işlem sözleşmesi İngiltere'de rekabetçi doğal gaz piyasalarının gelişmesini sağlamıştır (Fusaro, 1998). İngiltere'de, ABD gibi deregüle edilmiş doğal gaz piyasalarında fiyatlar arz ve talep güçleri tarafından belirlenmektedir. Boru hattı kapasitesi gibi teknik faktörler ve endüstriyel kullanım gibi temel faktörler doğal gaz fiyatlarında dalgalanmalara neden olmaktadır. Fiyat riski ve rekabet, üreticilerden toptancılara ve perakendecilere kadar tüm sektör katılımcılarını etkilemektedir (NYMEX, 2001).

6 METODOLOJİ

6.1 Riske Maruz Değer

RMD, belirlenmiş bir güven seviyesinde ve belli bir zaman aralığı için, normal piyasa şartları altında karşılanabilecek en büyük zararı tek bir değerle ifade etmektedir. Bu tek değeri hesaplamak için istatistikî modeller ve benzetim modelleri kullanılarak, bir portföyün volatilitesi saptanmaktadır. Volatilité, bir varlığın fiyatındaki düzensiz değişiminin hesaplanmasıdır. Bu oynaklığın şiddeti arttıkça olası kâr ve zarar ihtimalleri de artmaktadır (Butler, 1999).

Finansal piyasalarda faaliyet gösteren tüm kurum ve kişiler için, RMD üstlenilen riskin boyutunu kavramak için kullanılan bir ölçüt olmaktadır. Risk yönetimi kapsamı içinde, RMD hesaplama yöntemleri son derece önemli ve yaygınlaşmış modellerdir. Risklerin ve belirsizliklerin ölçülmesinde kullanılan bu modellerin birbirlerinden farklı, güçlü ve zayıf yönleri bulunmaktadır. RMD hesaplaması için içsel RMD hesaplama yönteminin kullanılmasının gerçek risk boyutunu belirlemede en etkili yöntem olduğunu Bank for International Settlement (BIS) çalışmalarında ve önerilerinde vurgulamaktadır. RMD hesaplamaları için üç temel yöntem olan Varyans-Kovaryans, Tarihi Benzetim ve Monte Carlo Benzetim

Yöntemleri, finansal kurumlarca ve denetim gözetim otoritelerince kabul görmüş en yaygın kullanılan piyasa risk ölçüm modelleridir (Bolgün ve Akçay, 2005).

Bu çalışmada enerji türev piyasaları için, varsayımsal bir portföy aracılığıyla Tarihi Benzetim ve Monte Carlo Benzetim yöntemleri kullanılarak RMD'nin bu piyasalardaki başarısı test edilmiştir. Vadeli işlem sözleşmelerinden oluşan varsayımsal portföy, seçenekli işlem ve seçenekli işlem benzeri varlıklar içermediği için üçüncü temel RMD hesaplama yöntemi olan Varyans-Kovaryans yöntemi, Monte Carlo Benzetim yöntemine yakın sonuçlar vereceğinden, bu çalışmada kullanılmamıştır.

6.2 Tarihi Benzetim Yöntemi

Tarihi Benzetim yönteminde risk yöneticisi, portföyün günlük kâr ve zararlarını kaydederek tarihi veri setini oluşturmaktadır. Bu tarihi veri seti, en büyük zarardan en büyük kazanca doğru sıralanmaktadır. İstenen güven seviyesine göre, sıralanmış tarihi veri setinden, o yüzdeye karşılık gelen değer saptanmaktadır. Başka bir ifadeyle, %95 güven seviyesi için, tarihi veriler en büyük zarardan başlayarak sıralanmaktadır. Sonrasında sıralanmış veri setinin %5'lik kısmına karşılık gelen değer saptanmaktadır ve bir sonraki değer ise %95 güven seviyesindeki RMD'yi ifade etmektedir (Butler, 1999). Örneğin; %95 güven seviyesinde 1000 günde gerçekleşen zararların, sadece %5'inin (50 gün), hesaplanan RMD'yi aşacağı beklenmektedir ve böylece 51'inci en büyük portföy kaybı hesaplanacak olan RMD'yi vermektedir (Dowd, 1999).

Tarihi Benzetim yöntemi menkul kıymetlerin getirilerinin gerçek tarihi dağılımını kullanmaktadır ve burada Monte Carlo Benzetim yönteminden farkı da ortaya çıkmaktadır. Monte Carlo Benzetim yöntemi üretilmiş senaryolara ihtiyaç duymaktadır. Tarihi Benzetim yönteminin tek varsayımı geçmişteki menkul kıymetlerin getirilerinin dağılımı geleceği yansıttığıdır (Penza ve Bansal, 2001).

Tarihi Benzetim yöntemi kullanarak RMD'nin hesaplanmasının temel dayanağı, portföy kapsamındaki menkul kıymetlerin tarihi getirilerinin dağılımının kullanılarak mevcut portföyü, tarihi verilerin başından beri elde tutulduğu varsayımıyla RMD'yi simüle ederek risk ölçümü yapılmıştır. Bunu uygulamak için öncelikle portföydeki varlıkların, belli bir süre için tarihi getirilerini elde etmek gerekmektedir. Mevcut portföyün varsayımsal getirilerini hesaplamak için, portföyü oluşturan varlıkların tarihi veri setinin başlangıcından beri tutulduğu varsayımlı getiriler hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu getirilerin geleceği yansıttığı varsayılmakta ve bu getiri dağılımdan belirlenen güven seviyesi için portföyün beklenen RMD'si saptanmaktadır (Dowd, 1999).

6.3 Monte Carlo Benzetim Yöntemi

Monte Carlo yönteminde bilgisayar kullanılarak "rassal yürüyüş" yaklaşımına göre rasgele getiriler üretilmektedir. Bu oldukça karmaşık, zaman alıcı ve Tarihi Benzetim yönteminde olduğu gibi yoğun bilgisayar kullanımını gerektiren fakat oldukça etkin bir yöntemdir. Monte Carlo Benzetim yöntemi karmaşık yapıdaki ve seçenekli işlem sözleşmeleri içeren portföyler için oldukça uygun bir yöntemdir. Özellikle egzotik seçenekli işlem sözleşmelerinde, Varyans-Kovaryans veya Tarihi Benzetim yöntemiyle RMD'nin hesaplanması oldukça zor olmaktadır. Böyle bir durumda, en uygun yöntem, Monte Carlo Benzetim yöntemi olup, Tarihi Benzetim yöntemine göre daha çok fiyat ihtimalleri yaratılıp daha gerçekçi sonuçlar elde edilmektedir (Butler, 1999).

Monte Carlo Benzetim yöntemi, Tarihi Benzetim yöntemini andırmaktadır. Aralarındaki fark ise; Tarihi Benzetim yöntemi, tarihi gözlem döneminin geleceği yansıttığı varsayımına dayanır. Monte Carlo Benzetim yöntemi ise birçok (uygulamada 1.000 ile 10.000 arası) rassal fiyat hareketlerini oluşturarak, tahminde bulunur. Buradan sonra ise Tarihi Benzetim yönteminde yapılan işlemin aynısı

yapılmaktadır. En büyük zarardan en büyük kazançta doğru sıralanan fiyat hareketlerinden, istenen güven seviyesine karşılık gelen değer, RMD'yi vermektedir (Uysal, 1999).

Monte Carlo Benzetim yönteminde rassal fiyat değişimleri üretilir ve portföydeki varlıkların tarihi korelasyon matrisinin özdeğer ve özvektörleri kullanılarak yeni fiyat serisi oluşturulur. Bu işlem sonucunda varlıklar için oluşturulan yeni fiyat serileri, tarihi fiyat serilerine yakın korelasyon ve standart sapmaya sahip olacaktır.

Bu rassal fiyat serileri aşağıdaki formül kullanılarak üretilmektedir (Best, 1998:46).

$$x_k = \sum_i^{\epsilon} \sqrt{\lambda_i} \cdot x_{norm} \cdot v_{ki} \cdot \sigma_k$$

Burada,

- x_k : k varlığın Monte Carlo Benzetimine göre i. getiri değeri,
- λ_i : i. varlığın özdeğeri,
- x_{norm} : Normal dağılıma göre üretilmiş, standart sapması 1 ve ortalaması 0 olan sayılar,
- v_{ki} : Özvektör matrisi içindeki k varlığı için i. özvektörün değeri,
- σ_k > k varlığın tarihi standart sapmasıdır.

6.4 Geriye Dönük Test (Backtesting)

Geriye dönük test işlemi, basit bir ifadeyle kullanılan RMD hesaplama yönteminin tutarlılığının test edilmesi demektir. Başka bir ifadeyle hesaplanan RMD'nin aşılıp aşılmamasının saptanmasıdır. Yapılan işlem ise portföyün bir günlük elde tutma süresi için hesaplanan RMD'nin 24 saat sonra gerçekleşen portföy değişimiyle karşılaştırılması olmaktadır. Eğer portföy değerinde bir azalma söz konusu ise ve o azalma önceki gün hesaplanan RMD'den büyük ise modelde bir sapma kaydedilmiş olmaktadır (Bostancı, 2006).

Basel Komitesi (Basel Committee on Banking Supervision – BCBS, 1975 yılında G-10 ülkelerin merkez bankaları başkanları tarafından kurulan Bankacılık Gözetleme Komitesi), bir modelin doğru veya hatalı olmasının tespiti için 250 günlük bir geriye dönük test gözlem dönemi için %99 güven

seviyesinde sapmalar belirlediğinde, 4 sapmaya kadar “Yeşil”, 5 ile 9 arası sapmalar için “Sarı”, 10 ve daha fazlası sapma için “Kırmızı” bölge tanımını getirmektedir. “Yeşil” bölgede bulunan modeller, temel olarak başarısında tutarlı olarak algılanılmaktadır. “Sarı” bölgedeki modeller ise başarısı hakkında soru işaretleri oluşturmakla beraber kesin bir yargıya yer vermemektedir. “Kırmızı” bölgedeki modeller ise başarıları hakkında kesin bir sorunun varlığına işaret etmektedir (Basler Ausschuss für Bankenaufsicht, 1996).

7 ENERJİ PİYASALARINDA RMD UYGULAMASI

7.1 Verilerin Sağlanması

Bu çalışmada enerji türev sözleşmelerinden varsayımsal bir portföy oluşturup Tarihi ve Monte Carlo Benzetim yöntemiyle RMD'nin enerji piyasasındaki başarısı tespit edilmeye çalışılmıştır. Varsayımsal portföyün varlıkları seçilirken 3 farklı enerji türev ürünü portföye alınmıştır ve böylece varlıkların farklı özelliklerinden dolayı, riskin dağıtılması amaçlanmıştır.

Petrol, doğal gaz ve mazot vadeli işlem sözleşmelerinden oluşan üç varlıklı bir varsayımsal portföy oluşturulması uygun görülmüştür. Bütün varlıkların hesaplamalarında para birimi olarak ABD Doları kullanılmıştır.

Varlıkların günlük zaman serileri (kapanış fiyatları), 04.08.2006 tarihinde Amerikan Enerji Bakanlığına bağlı Enerji Bilgi Birimi'nin resmi internet sayfası olan www.eia.doe.gov adresinden indirilmiştir.

Üç varlık için 25.07.2000 ile 01.08.2006 arası 1501 veriden oluşan zaman serileri elde edilmiştir. Bu zaman serilerinin sürekli getirileri hesaplanmıştır. Ayrıca serilerinin durağanlığı Arttırılmış Dickey-Fuller testi ile araştırılmış, elde edilen sonuçlara göre sürekli getiri serileri düzeyde durağan bulunmuştur. Diğer bir ifadeyle serilerde otokorelasyona rastlanmamıştır.

Çizelge 1'de elde edilen günlük getirilerin tanımlayıcı istatistikleri verilmiştir.

Çizelge 1. Tanımlayıcı istatistikler.

	N	Min. Getiri	Maks. Getiri	Ort. Getiri	Std.Sap.	Skev.	Kurt.
D.Gaz	1500	%-19,90	%32,44	%0,048	%3,99	,500	5,330
H.Petrol	1500	%-16,55	% 8,11	%0,066	%2,36	-,616	3,361
Mazot	1500	%-19,25	%10,40	%0,068	%2,58	-,424	3,485
Portföy	1500	%-15,08	% 8,60	%0,064	%2,27	-,381	1,923

Çizelge 1'de görüldüğü gibi doğal gaz vadeli işlem sözleşmesinin gözlem süresince günlük olarak maksimum getirisi %32,44 ve minimum getirisi %-19,90 olurken ortalama getirisi %0,048 ve standart sapması %3,99 olmuştur. Ham petrolün maksimum getirisi %8,11 ve minimum getirisi %-16,55 olurken ortalama getirisi %0,066 ve standart sapması %2,36 olmuştur. Mazotun maksimum getirisi %10,40 ve minimum getirisi %-19,25 olurken ortalama getirisi %0,068 ve standart sapması %2,58 olmuştur. Varsayımsal portföyün maksimum getirisi %8,60 ve minimum getirisi %-15,08 olurken ortalama getirisi %0,064 ve standart sapması %2,27 olmuştur.

Varlıkların aralarındaki korelasyon katsayıları ise Çizelge 2'de verilmiştir.

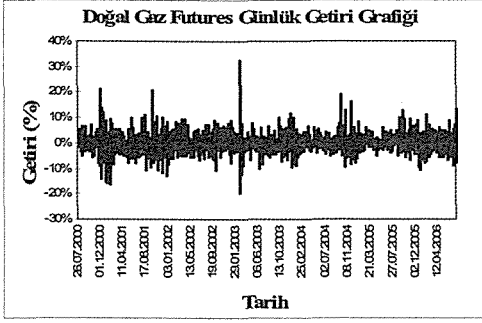
Çizelge 2. Korelasyon katsayıları.

	D.Gaz	H.Petrol	Mazot
D.Gaz	1		
H.Petrol	%34,99	1	
Mazot	%41,32	%80,83	1

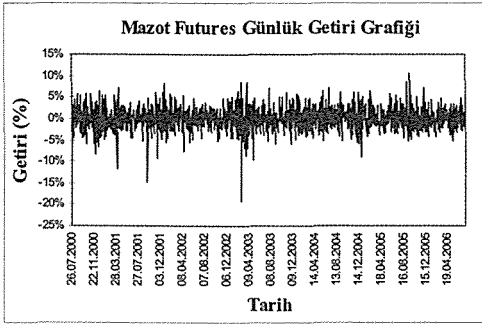
Ham petrol ile doğal gaz getirileri arasındaki korelasyon katsayısı %80,83 ile yüksek bir değerdeyken, mazot ile doğal gazın getirileri arasındaki korelasyon katsayısı %41,32 ile daha düşük bir değerdedir. Korelasyon katsayısının küçük değerlerde olması, riskin düşürülmesi amacıyla etkin bir çeşitlendirme yapmaya imkan tanımaktadır.

Varsayımsal portföydeki vadeli işlem sözleşmelerinin günlük getiri grafikleri Şekil 2-4'te verilmiştir.

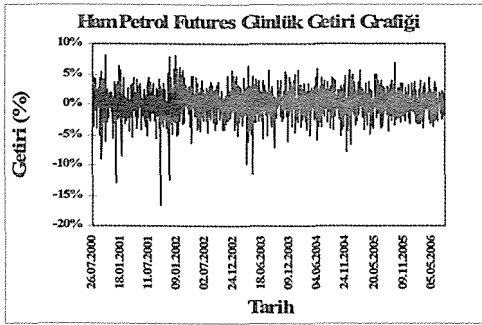
Enerji vadeli işlem sözleşmelerinin gözlem dönemi boyu risk seviyeleri Şekil 5'te, aralarındaki korelasyon seyri Şekil 6'da gösterilmiştir.



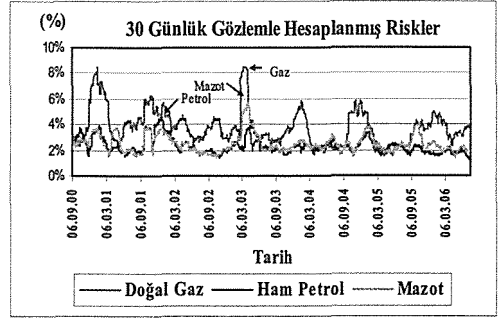
Şekil 2. Doğal gaz günlük getirisi.



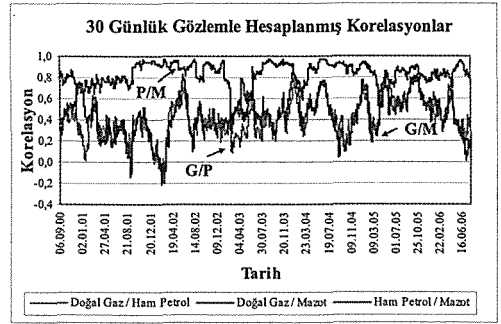
Şekil 3. Mazot günlük getirisi.



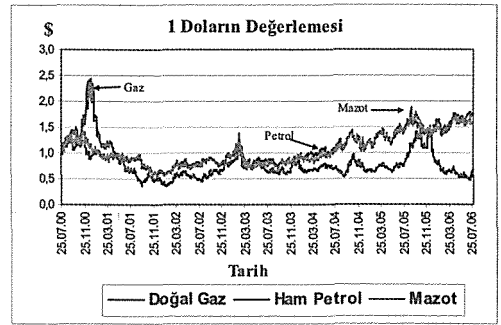
Şekil 4. Ham petrol günlük getirisi.



Şekil 5. Varlıkların riskliliği.



Şekil 6. Varlıkların korelasyonları.



Şekil 7. 1 Doların değerlendirilmesi.

Karşılaştırılma amaçlı her enerji türev ürününe 1 Doların yatırıldığı varsayılmıştır ve gözlem dönemi boyunca 1 Doların seyri Şekil 7'de verilmiştir.

Şekillerden de görüldüğü gibi etkin bir risk yönetimi çok riskli olan enerji piyasaları için bir ihtiyaç olmaktadır. Çalışmada portföy çeşitlendirmesinin etkisiyle riskin düşürülmesi ve getirinin maksimize edilmesi amaçlanmıştır.

7.2 Portföyün Oluşturulması

Portföydeki yatırım oranları optimizasyon yapılarak sağlanmıştır. Etkin bir portföy, aynı riske sahip tüm portföylerden beklenen en yüksek getiriye veya aynı beklenen getiriye sahip portföyler arası en düşük riske sahip olan portföy olmaktadır. Optimal portföy ataması Sharpe Oranının (Theta) formülüne göre yapılmıştır. Sharpe Oranı ise

her bir birim riske karşılık, yatırımcının ilave olarak beklediği getiri oranını göstermektedir. (Korkmaz ve Pekkaya, 2005).

$$Max\Theta = \left(\frac{E(r_x) - r_f}{\sigma_p} \right)$$

Burada;

$E(r_x)$: Portföyün beklenen ortalama getirisi

r_f : Risksiz faiz oranı (ABD Hazine Bonosu ortalama faiz oranı)

σ_p : Portföyün standart sapmasıdır.

Yanı sıra portföyün ağırlıklandırılması (x_i) aşağıdaki şekilde kısıtlandırılmıştır.

$$\sum_{i=1}^N x_i = 1 \quad \text{ve} \quad x_i \geq 0,15 \quad , \quad i = 1, \dots, N$$

Bu şekilde oluşturulan portföy kısıtlandırmalar doğrultusunda optimize edilmiştir. Portföyün beklenen getiri ve standart sapması aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır (Benninga, 1997)

➤ Portföyün beklenen getirisi

$$E(r_x) = x^T \cdot R = \sum_{i=1}^N x_i E(r_i)$$

➤ Portföyün standart sapması

$$\sigma_p = \sqrt{x^T \cdot Sx} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j \sigma_{ij}}$$

Optimizasyon sonucu varsayımsal portföyde yatırım oranları doğal gaz %15, Petrol %58,82 ve mazot ise %26,18 ile yer almıştır.

Daha önce Çizelge 1’de verildiği gibi portföyün beklenen getirisi %0,064 ve standart sapması %2,27 olarak hesaplanmıştır.

7.3 RMD Hesaplamaları ve Sonuçlarının Geriye Dönük Test Edilmesi (Backtesting)

RMD hesaplama yöntemiyle varsayımsal portföy için hesaplanan günlük RMD’ler, portföyün gerçekleşen kayıplarıyla karşılaştırılarak, geriye dönük test edilmiştir. Geriye Dönük Test işlemi %95 ve %99 güven seviyesi ve değişik gözlem dönemleri için uygulanmıştır.

Değişik gözlem dönemleri olarak 20, 100, 200, 250 ve 500 günlük gözlem dönemleri kullanılmıştır.

Basel Kriterlerine göre, modelde kaydedilen sapmaların olasılıklarının kümülatif toplamı %95 veya üzeri olduğu yerde “sarı bölge” başlamaktadır ve sapmaların kümülatif toplamı %99,99 veya üzere olduğu yerde ise “kırmızı bölge” başlamaktadır.

Çalışmada elde edilen sonuçların, bu bölgelere göre yorumlanması için, 1000 günlük geriye dönük test işlemi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3’te gösterilen sapma sınırlarına göre değerlendirilmiştir.

Çizelge 3 1000 günlük sapma sınırları.

1000 Gün	99%	95%
Yeşil Bölge	0–14	0–61
Sarı Bölge	15–23	62–76
Kırmızı Bölge	24 ve üzeri	77 ve üzeri

Geriye dönük test işleminde Monte Carlo Benzetim yöntemiyle RMD hesaplaması için oluşturulan model, 200 rasgele üretilmiş getirilerle 50 kez çalıştırılmıştır. Böylece her gün için 10.000 veri üretilmiştir.

Farklı gözlem dönemleri kullanılarak, Tarihi Benzetim ve Monte Carlo Benzetim yöntemleri kullanılarak hesaplanan günlük RMD’ler gerçekleşen portföy kayıplarıyla geriye dönük test edildiğinde ulaşılan sonuçlar Çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 4. Geriye dönük test sonuçları.

Güven Seviyesi	Tarihi Benzetim		Monte Carlo Benzetim	
	%95	%99	%95	%99
20 Günlük Gözlem	8	---	48	15
100 Günlük Gözlem	56	20	46	13
200 Günlük Gözlem	55	13	40	15
250 Günlük Gözlem	50	11	38	14
500 Günlük Gözlem	37	7	36	11

İki RMD yönteminin sapmaları Çizelge 3’te belirtilen sapma sınırlarıyla karşılaştırıldığında, her iki yöntemin de enerji piyasalarında başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Tarihi Benzetim yönteminde 20 günlük gözlem dönemiyle; %99 güven seviyesi için RMD'nin hesaplanamaması ve %95 güven seviyesindeki başarısızlığı, özellikle kısa gözlem dönemleri için Monte Carlo yönteminin daha uygun olduğunu göstermektedir.

Tarihi Benzetim yönteminde gözlem dönemi uzadıkça daha az sapmalar kaydedilmesine karşın, Monte Carlo Benzetim yönteminde bu durum özellikle %99 güven seviyesi için bu kadar belirgin olmamaktadır.

8 SONUÇ

Enerji piyasalarında finansal piyasalarda olduğu gibi taşınan riskin sayısal ifadesi zor bir nitelik taşımasına rağmen, firmaların risk yönetiminde yardımcı olmaktadır. Riskin ölçümü, risk yönetiminin önemli bir parçasıdır. Özellikle enerji piyasalarında volatilitenin yüksek olmasından dolayı bu riski göz ardı edilemez hale getirmiştir.

Riskin yönetilebilmesi için ölçülmesi gerekmektedir. Özellikle etkin risk yönetimi veya riskten korunmak için istatistiki ölçümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Son zamanlarda yaygın kullanım alanı bulan RMD, enerji fiyat riskini yönetmede kullanılmaya başlamıştır.

Bu çalışmada, enerji vadeli işlem sözleşmelerini içeren varsayımsal bir portföyün günlük riskleri RMD yöntemlerinden Tarihi Benzetim ve Monte Carlo Benzetim yöntemleri ile ölçülmüştür. Uygulama dönemindeki varsayımsal portföye dahil edilen petrol, doğal gaz ve mazot vadeli işlem sözleşmeleri için RMD ölçümleri geriye dönük test edilmiş ve RMD modellerinin Basel kriterlerine göre başarılı olduğu ortaya çıkmıştır.

İki yöntem de enerji vadeli işlem sözleşmeleri içeren portföyün riskinin ölçümünde başarılı sonuçlar vermesine rağmen, her türlü türev ürün için aynı durum söz konusu olmayacaktır. Monte Carlo Benzetim yönteminin özellikle tarihi fiyat serilerinin bulunamadığı ürünler (yeni ürün veya likiditesi düşük türev sözleşmeler) ile seçenekli işlem ve seçenekli işlem benzeri

(normal dağılıma sahip olmayan) sözleşmeleri kapsayan portföyler için daha uygun olduğu bilinmektedir.

Enerji piyasalarında faaliyette bulunanların başta fiyat riskinden korunma, etkin risk yönetimi ve sürdürülebilir finansal performans için türev piyasalarına ve RMD ölçümüne ilgi duymaları faydalı görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Adelman, M. A., 1999. Oil Prices: Volatility and Long-Term Trends, *MIT Center for Energy and Environmental Policy Research*, <http://web.mit.edu/ceepr/www/RN1-799b.pdf>, 19.02.2006.
- Australian Institute of Petroleum; Explaining Petrol Prices Changes in Our Capital Cities, <http://www.aip.com.au/pricing/petrol.htm>, 01.03.2006.
- Bağcı, H., 2004. Türkiye Enerji Formu, *Enerji Borsaları ve Bu Borsaların Türkiye'de Kullanımı*.
- Basler Ausschuss für Bankenaufsicht, 1996. Aufsichtliches Rahmenkonzept für Backtesting (Rückvergrüchliche) bei der Berechnung des Eigenkapitals zur Unterlegung des Marktrisikos mit Bankeigenen Modellen, Basel.
- Bayraç, N. H., 1999. Dünyada ve Türkiye'de Doğal Gaz Piyasasının Ekonomik Analizi, <http://www.dtm.gov.tr/ead/DTDERGI/ekim99/dunya.htm>.
- Benninga, S., 1997. *Financial Modeling*, MIT Press, London.
- Best, P., 1998. *Implementing Value at Risk*, John Wiley and Sons Inc., London.
- Bolğun, K. E. ve M. B. Akçay, 2005. *Risk Yönetimi*, Scala Yayınevi, İstanbul.
- Bostancı, A., 2006. *Riske Maruz Değer Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Geriye Dönük Test (Backtesting) Uygulaması*, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Zonguldak.
- BP, 2005. British Petrol Statistical Review of World Energy, <http://www.bp.com/subsection.do?categoryId=9003071&contentId=7005870>.
- Butler, C., 1999. *Mastering Value at Risk*, Financial Times Management, London.
- Ceylan, A. ve T. Korkmaz, 2004. *Sermaye Piyasası ve Menkul Değer Analizi*, Ekin Kitabevi, Bursa.
- Dahl, A. C., 2004. *International Energy Markets: Understanding Pricing, Policies and Profits*, PennWell Corporation, Oklahoma.
- Dowd, K., 1998. *Beyond Value at Risk*, Wiley&Sons, England.

- DTM,
www.dtm.gov.tr/ead/ekonomi/sayi4/dogalgaz.
htm, 11.02.2006.
- Energy Complex, 2006. What Do Futures Do For The Energy Markets?, <http://www.nymex.com>, 21.02.2006.
- Erdoğan, E.; 2006. *Enerji Türev Piyasaları*, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Zonguldak.
- Erol, Ü., 1999. *Vadeli İşlem Piyasaları-Teori ve Pratik*, İMKB Yayınları, İstanbul.
- Errera, S. and L. S. Brown, 2002. *Fundamentals of Trading Energy Futures&Options*, Second Edition, Oklahoma: Pennwell.
- Fleming, J. ve B. Ostdiek, 1999. The Impact of Energy Derivatives on The Crude Oil Market, *Energy Economics*, Vol.21, Issue 2, ss. 135-167.
- Fusaro, P., 1998. *Energy Risk Managment*, McGraw Hill, New York.
- James, T., 2003. *Energy Price Risk*, Palgrave Macmillan, New York.
- Jorion, P., 1997. *Value at Risk*, McGraw Hill, New York.
- Khindanova, I., and Z. Atakhanova; 2002, Stable Modeling in Energy Risk Management, *Mathematical Models in Market and Credit Risk*, *Mathematical Methods of Operations Research*, Vol. 55.
- Korkmaz, T. ve M. Pekkaya, 2005. *Excel Uygulamalı Finans Matematiği*, Etkin Kitabevi, Bursa.
- McCann, K. and M. Nordström, 1995. *Energy Derivatives: Crude Oil and Natural Gas*, Federal Reserve Bank of Chicago, <http://www.Chicago.fed.org/publications/capitalmarketnews/energy.pdf>, 11.01.2006.
- NYMEX, 2001. *Risk Management With Natural Gas Futures and Options*, New York.
- Penza, P. and V. K. Banzal, 2001, *Measuring Market Risk with Value at Risk*, John Wiley & Sons Inc., USA.
- Smithson, C. W., 1998. *Managing Financial Risk*, McGraw-Hill, New York.
- TÜBİTAK, 2003 *Enerji ve Doğal Kaynaklar Paneli*, http://vizyon2023.tubitak.gov.tr/teknolojiongorusu/paneller/enerjivedogalkaynaklar/raporlar/enerji_son_surum.pdf, 18.02.2006.
- Uysal, H. Ö., 1999. "Piyasa Riskinin Tespitinde Kullanılan Riskteki Değer (Value-At-Risk) Yöntemi," SPK Aracılık Faaliyet Dairesi, Yeterlilik Etüdü, Nisan, Ankara.

Madencilik Endüstrisi ve Sürdürülebilirlik

Mining Industry and Sustainability

E. Kaymakçı

Karaelmas Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

A.E. Yüce

İTÜ Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Bölümü, Maslak, İstanbul

T. Doğan

İÜ, Maden Mühendisliği Bölümü, Avcılar İstanbul

ÖZET Sürdürülebilirlik kavramı 1970'li yıllardan bu yana geliştirilerek, günümüzde madencilikte dahil modern endüstriyel faaliyetlerin gelişim modeli olarak algılanmaya başladı. Brundtland komisyon raporundaki ana tanımına göre, sürdürülebilir kalkınma (SK): bir ihtiyaç kavramı, sınırlamalar için bir yaklaşım, gelecek ve değişim için dinamik bir model olup, "bugünkü kuşakların ihtiyaçlarını, gelecek kuşakların ihtiyaçlarını sağlama olanaklarından ödün almaksızın sürdürebilmesi" olarak ifade edilmektedir. Sosyal ekonomik ve çevresel denge üzerine kurulu bir model olarak sürdürülebilir kalkınma, optimum tüketim ve koruma çabasını ifade eden bir çerçeve sunmaktadır. Ancak hâlihazırda, farklı politik ve felsefi yaklaşımları yansıtan birçok tanımı da yapılmaktadır.

Bu bildiri kapsamında; sürdürülebilir kalkınma ve madencilik ilişkisi üzerine öngörüler gözden geçirilmekte, ülkemizden kömür ve enerji konularına ilişkin verilerle madencilik, kalkınma ve sürdürülebilirlik üzerine bir değerlendirme yapılmaktadır.

ABSTRACT From the seventies, the concept of sustainable development (SD) has undergone various changes and more recently has begun to be understood as a development activities of modern industrial activities including mining sector. Due to the mainstream definition from the Brundtland commission report, SD is: a concept of needs, an idea of limitation, a future oriented paradigm, and a dynamic process of change and it says "development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs". SD, which has emerged as the prevailing paradigm for balancing society's environment, social and economic goals, offers a framework within which the appropriate combination of consumption and preservation can be sought. However, there are many alternative definitions of SD, each reflecting a different political and philosophical perspective.

In this paper, foresights from literature dealing with relationship of sustainable development and mining are review and an assessment was implemented by using some statistical data for energy and coal industry in Turkey

1 GİRİŞ

İnsan yaşamının devamlılığında temel gereksinim maddelerinin temininde, madencilik ve tarım vazgeçilemez sektörlerdir. Tümüyle doğal ortamlarda ve doğanın sağladığı imkânlarla bağlı olarak

sürdürülen bu faaliyetlerin direkt olarak doğa'yı etkilediği bilinen bir olgudur. Doğal bir çevre içerisinde sürdürülmek durumunda olan bu faaliyetlerin çevresel etkileri açısından değerlendirilmesi sadece çevre korumacılığı noktasında değil, aynı zamanda

doğal kaynakların; kalkınmanın sürdürülebilirliği ve çevresel, ekonomik ve sosyal çıktıları açısından günümüz ve geleceğe dönük doğru kullanımını da ifade etmektedir.

Kalkınmanın sürdürülebilirliği; 1987'de yayınlanan "Ortak Geleceğimiz – Brundtland Raporu" içeriğinde; "günümüzde yaşayanların gereksinimlerini, gelecek kuşakların gereksinimlerini sağlama olanaklarından ödün almaksızın, sağlaması" biçiminde tanımlanmıştır. Madencilik açısından konu irdelendiğinde; hemen her tür maden üretiminde, kaynakların sadece bugünkü kuşaklara ait olmadığı ve sadece o günün koşullarına bakılarak bir üretim-tüketim politikasının sürdürülemeyeceğini ifade etmektedir.

Hızlı sanayileşme ve yaşam kalitesinin artırılması yönündeki sosyo-politik yaklaşımlar, bir yandan teknolojik gelişimleri ve hammadde-enerji tüketimi yoğun modelleri öne çıkartmakta ancak diğer yandan da sürdürülebilir kalkınma için dengeli bir kaynak tüketimini öngörmektedir. Modelin temel hedefleri olarak;

- * nüfus artışının denetim altında tutulması,
- * ihtiyaçların azaltılması,
- * doğal kaynakların korunması,
- * atık yönetimi,
- * kirlilik kaynaklarının azaltılması,

temizlenmesi konuları öne çıkarılmaktadır (Zanbak ve Karahan 2005, Yüce vd., 2007).

Yalnız başına; kaynak kullanımında denge, çevresel etkiler, yaşam kalitesinin artırılması vb kavramların ilişkisinde daraltılamayacak olan kalkınma ve sürdürülebilirlik olgularının; aslında, politik, ekonomik ve sosyal sistemler bütünü'nün parçaları olduğunun anlaşılması gerekmektedir. Dünya ülkelerinin gündeminde giderek artan oranda tartışılan kalkınmanın sürdürülebilirliğinde tanımlar yapmış olan Brundtland Raporu'nun içeriğindeki bir yaklaşımın, "kuşaklar içi ve arası adalet ve bunun kalkınma sürecinin temel noktasını oluşturduğu" gerçeğini iyi yorumlamak gerekmektedir (Arın, 1995). Diğer yandan dünyanın içinde bulunduğu gelişmişlik düzeyinde (Kuzey-Güney kıtasal adaletsiz uçurumlar) görülen dengesiz gelir,

servet ve zenginlik dağılımının olduğu böyle bir durumda hangi eşitlik ölçütlerinde konunun formüle edilebileceğini iyi tartışmak gerekmektedir.

Bu tebliğ kapsamında, maden endüstrisi, üretim süreçlerinde sürdürülebilirlik açısından önemli parametrelere değinilmekte, madencilik ve sürdürülebilirlik konusunda Türkiye enerji hammaddeleri ve kullanımı özelinde bir değerlendirmesi yapılmaktadır.

2 MADENCİLİK VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

2.1 Sürdürülebilirlik

Dünya nüfusunun bugünkü boyutuyla (> 6 milyar) yaşamını sürdürebilmesi için doğal kaynak kullanımında büyük bir baskı oluşturmakta, 2050'li yıllarda iki katına çıkacağı kestirilen bu nüfusun kaynak talebinin ölçülerini bugünden doğru değerlendirmek gerekmektedir. Kişi başına bilinen ve hesaplanan hammadde, enerji ve su tüketimlerinin artan nüfusun gereksinimleri doğrultusunda bir çarpanla büyütülmesi sonucu ortaya çıkan değerlerin insanı korkutmaması olası gözükmemektedir. Bugün "gelişmiş ülke" kategorisindeki toplumlarda tüketilen ortalama 25 ton-yıl/kişi madensel hammadde ile ortalama 9.000 kwsa-yıl/kişi enerji verileri sabit tutularak ve tüm dünya insanının eşit refah düzeyi temelinde 2050'li yılların nüfusu ile çarpanı haline getirildiğinde, kaynak kullanımının sürdürülebilirliği bir yana yeni kaynakların hızla bulunması zorunluluğunu ifade etmektedir. Ya da diğer bir yaklaşımla kuzey-güney kıtasal dengesizlik temelinde (kapitalist üretim mantığıyla) aşırı kalkınmış bir "azınlık" ile hiçbir zaman kalkınamayacak bir "çoğunluk" tan oluşan iki toplum tipi öngörüülecektir. Dünyada günümüz ekonomik sistemleri ve gelişimlere bakıldığında, ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarda bir denge olmadığı için gerek sürdürülebilir kalkınma ve gerekse uygun formülasyonlar konusunda; ülkeler, değişik politikalar ve hatta bireysel bazda bu kavramın algılanış ve tanımlanış biçiminde farklılıklar gözlemlenmektedir.

Sürdürülebilirlik için temel prensipler şöyle tanımlanmaktadır (Shields&Solar, 2004):

- i) Politik, sosyal, ekonomik, biyolojik ve ekolojik faktörlerin en uygun biçimde entegrasyonu
- ii) Genel ve bölgesel ölçekte kurallar, yönetim ve üretimlerin ekolojik ve sosyo-ekonomik yapılara uygunluğu,
- iii) Yönetim ve üretim konularında gelişmelere açık, ölçülebilir ve izlenebilir şeffaflık.

Bu temel öğeler altında sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik için yapılan alt tanımlamalar ise aşağıda verilmektedir:

a) Sosyal sürdürülebilirlik ilkeleri:

- iv) Üretim faaliyetlerinin direkt ve indirekt ekonomiklikleri ve çevresel etkilerinin sürekli takibi ve iyileştirmeler,
- v) Karar ve uygulama süreçlerinde eşitlik prensibiyle hareket,
- vi) Yerel ve bölgesel düzeyde karar verme süreçlerine insanların katılımı,
- vii) Karar verme mekanizmalarının güven ve centilmenlik temelinde, açık, şeffaf bilgilendirme sağlaması,
- viii) Kirleten öder prensibinin hakim olması, bireysel tercihler ve uygulamalardaki sorumluluğun yükümlülüğünü taşıması,
- ix) Yerel ölçekte faaliyetlerden o bölgeye kaynak aktarımı,

b) Çevresel sürdürülebilirlik ilkeleri:

- x) Çevrenin; canlı ve ekosistemin gereksinim ve yaşam ölçülerinde sürdürülebilirliğinin korunması,
- xi) Çevre içinde yer alan tüm canlıların biyo çeşitliliğinin korunması,
- xii) Faaliyetlerin etkileri konusunda öngörülecek limitlerin iyi algılanması ve uygulanması
- xiii) Çevresel etkilerin önlenmesi konusunda karar ve yaptırımların geciktirilmemesi.

2.1.1 Kalkınmanın Sürdürülebilirliği

Ekonomik ve sosyal anlamda "bireylerin yaşam kalitesinin artırılması" kavramı kalkınmanın bir hedefi olarak tanımlanmakta, bunu için ise insanların

gereksinim duyduğu mal ve hizmet üretimi öngörülmektedir. Üretim sürecinde yaratılan katma değerın büyüklüğü, ekonomik ve sosyal alandaki gelişmeyi hızlandırmaktadır. Ancak üretim sürecinde kullanılan doğal kaynakların israfı, alıcı ortamlara verilen gaz emisyonları, atıksu deşarjları, katı ve sıvı atıkların yarattığı çevre sorunları ve götürüleri, bu alanlardaki görünür gelişmelerden kaynaklanan getirileri aşacak nitelik taşıyabilir. Bu nedenle, kalkınma sürecinde ekonomik ve sosyal gelişme ile doğal kaynakların optimum tüketim hızlarında tutulması ve bu bağlamda "doğal kaynakları israf etmeksizin, insan sağlığı ve çevresel değerler korunarak yapılan madencilik, tarım, hayvancılık, balıkçılık ve sanayi üretim faaliyetleri ile ulaşılan gelişmişlik" sürdürülebilir kalkınma olarak özetlenmektedir. Ayrıca sürdürülebilir kalkınma; ancak sosyal, ekonomik ve çevre koruma arasındaki optimal dengenin oluşturulmasını gerekli kılmaktadır (Zanbak, 2007).

2.1.2 Madencilığın Sürdürülebilirliği

Tarım ile birlikte insanlık tarihinin en eski üretim sektörü olan madencilik; ön araştırma ve işletme yatırımı en yüksek ve geri kazanılması daima yüksek riskler içeren bir sektördür. Bu sektör ekonomikliğinin kullanılan işletme teknolojisi, ekipman ve pazarlama yöntemlerine çok bağımlı olması, devlet politikalarındaki dalgalanmalardan en fazla etkilenmesinin yanı sıra sistematik yatırımlar yapılmadığında hantallaşan ve gerileyen bir sanayi koludur. Madencilikte teknik, ekonomik ve idari faktörler yatırım kararlarını etkileyen ana parametrelerdir.

Madencilik sektörünün sürdürülebilirliği, işletme teknikleri ve kullanılan araç/gereç, global fiyat dalgalanmaları ve devlet faaliyeti yapılmaksızın dünya toplumlarının yaşam kalitelerini sürdürebilmesi olası değildir. Ülkelerin doğal kaynaklarından maksimum yararı sağlaması, çıkarılan cevherlerin bütünleşik tesislerde katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesi ile mümkündür (Zanbak, 2007).

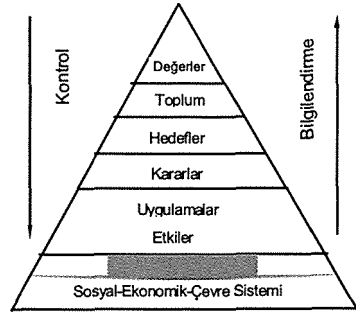
Madencilik sürdürülebilirliği kavramı dikkate alındığında temelinde doğal kaynakların doğru yönetilme modeli öne çıkmaktadır. Bu yönetim; öncelikli olarak ülke doğal kaynaklarının üretiminde oluşturulması gereken uzun erimli akılcı bir politika şemsiyesi altında oluşturulmalıdır. Sürdürülebilirlikte en kesin bir formülasyon ise, öncelikli olarak yerli kaynakların kullanımı önceliğidir. Diğer yandan ise üretim modelleri ham ve ara madde ihracından çok katma değerini en üst düzeye çıkaran teknolojik süreçlerle donanımlandırılmalıdır. Madencilik ve kalkınmanın sürdürülebilirliği, bu noktada, işin ekonomik ve politik boyutunu tanımlamaktadır. Takip eden adımda; maden aramadan başlayarak, ekonomik tenörde rezervlerin üretime alınması, en uygun işletme ve zenginleştirme proseslerinin uygulanması, minimum atık atımı, etkin enerji kullanımı, iş verimliliği, iş ve işçi güvenliği ve sağlığı, çevresel etkilerin minimize edilmesi, çevre yönetimi, sürekli eğitim gibi kademeler ise modern bir işletmecilik anlayışının temel parametreleri olmakta, sürdürülebilir bir madencilik ve kalkınmada bu adımlardan herhangi bir şekilde taviz verilmemesi gerekmektedir. Ancak günümüzde dayatılan ekonomik sistemler ve kuralları ülkemizde, özellikle madencilik alanında sürdürülebilirlik kriterlerini uygulama şansını ortadan kaldıran bir görünüm sergilemektedir.

Doğal kaynakların etkin yönetim modelinde doğru bir sosyal-ekonomik-çevre dengesinin kurgulanmasında hiyerarşik bir model blok şema üzerinde (Şek. 1) gösterilmektedir.

Bu modele göre, ardışık bir değerlendirme;

*) İnsanların hedeflerinin içinde buldukları değerler sisteminin bir yansıması olarak ortaya çıkması

*) Doğal kaynaklar yönetiminin temel hedefinin (başarısının) ise tümüyle toplumsal yaşamın mutluluğuna hizmet etmesi, olarak yorumlanmaktadır. Bu değerlendirme; madencilikte doğal kaynak kullanımının mutlak toplumsal yararların en üst düzeyde tutulması gerektiğini açıkça ifade etmektedir.



Şekil 1. Doğal Kaynakların Yönetiminin Hiyerarşik Modeli (Shields&Solar 2004)

Madencilik, kalkınma kavramları somut tezler, hipotezler ve veriler ile bütünlenmektedir. Ancak sürdürülebilirlik kavramı, kabul edilmiş ortak değerler üzerine kurgulanmaktadır. Diğer yandan, günümüzde sürdürülebilirlik kavramının tartışılmasında, özellikle çevre boyutunun en önemli bileşeniymiş gibi algılandığını da görmek mümkündür.

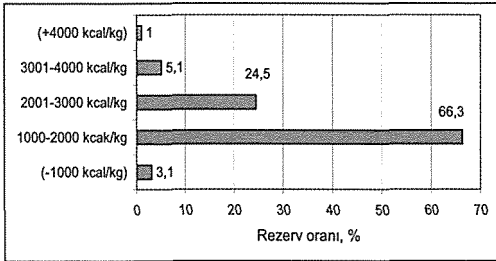
21.yüzyıl içinde madencilik ve sürdürülebilirlik konularına ilişkin önemli çalışma ve gelişmeler beklenmektedir. Nüfus artışı, hammadde gereksinimindeki artış, çevresel etkiler ve global ısınma gibi parametreler bir yandan insanların konular üzerindeki duyarlılıklarını daha arttıracak, diğer yandan yeni yasa ve yönetmeliklerle yeni uygulamalara yönelineceği, özellikle enerji, madencilik ve sürdürülebilirlik değerlendirmelerinin güncel boyutlar kazanacağı düşünülmektedir.

3 TÜRKİYE KÖMÜR VE ENERJİ VERİLERİ - SÜRÜDÜRLEBİLİRLİK

Madencilik, ülkemiz için temel sanayi sektörlerinden birisidir. Ancak Cumhuriyet dönemiyle birlikte gelişim sürecine bakıldığında bir dönem ekonomiye önemli katma değerler üretmişken, uzunca yıllardır bulunduğu konumu itibarıyla istenilen düzeyde olmadığı görülmektedir. Her ne kadar çeşitli madencilik kollarında her geçen yıla göre bir gelişim trendi izlense de, ulaşılan noktada yeterli görmek olası değildir.

Kömür madenciliği ve enerji ilişkisiyle, ülkemizdeki mevcut tablonun diğer madencilik kollarına göre çok daha ağır olduğunu söylemek gerekir. Konunun; yerli kaynak kullanım önceliği bir zorunluluk taşırken, madenciliğin sürdürülebilirliği açısından da bakıldığında olumlu bir değerlendirme yapılamamaktadır.

Termik santralde kullanılan linyit rezervlerimizin "kalite" yönünden durumu Şekil 2'de verilmiştir. Sürdürülebilir kalkınma ve madencilik kavramları ile enerjide yerli kaynak kullanımı yan yana getirildiğinde paradoksal bir durum gözükmektedir. Özellikle sürdürülebilirlik parametreleri içindeki çevresel boyut dikkate alındığında, enerjide fosil kaynakların kullanımını ve emisyonları, sera gazı etkileri gibi değerlendirmelerle bu kaynağın kullanımının ciddi kısıtlar gerektirdiği düşünülebilir. Yerli linyit kaynaklarımızın ise mevcut kaliteleri ile çevresel etkileri olacağı kaçınılmaz olmakla beraber, konunun sürdürülebilirlik açısından çözümleri bulunmaktadır. % 90 oranındaki rezervlerin 1000- 3000 kcal/kg ısı değerleri ile tipik santral yakıtı olma özelliği bilinmektedir (TKİ 2006). Madenciliğin sürdürülebilirliği açısından; yerli kaynaklarımızın kullanılma önceliği olmalıdır, ancak kullanım sırasında ise emisyonlar açısından gerekli mühendislik önlemleri de mutlaka uygulanmalıdır. Diğer yandan günümüzde artık temiz kömür teknolojilerindeki gelişmeler, bu kaynağımızın daha rasyonel tekniklerle kullanılabilirliğini de olanaklı kılmaktadır.



Şekil 2. Linyit Rezervlerimizin Kalitesi

Günümüzde enerji tüketimimizin % 45'i ithal doğal gaz kaynaklarından karşılanmaktadır

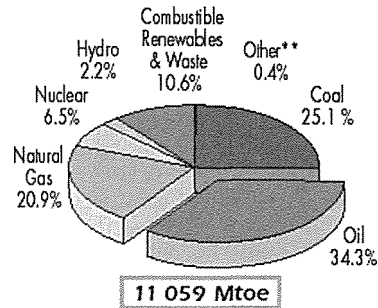
(Çiz. 1). Bu oranın 20 yıl içinde %70'lere çıkması planlanmaktadır.

Çizelge 1. Yıllara göre elektrik enerjisi tüketiminde kaynak payları.

Kaynak	2000	2002	2004	2005
Yerli kömür	31,0	23,3	16,6	20,3
İthal kömür	1,0	1,5	6,1	6,3
Doğalgaz+LPG	35,0	40,8	40,6	44,0
Hidrolik	25,0	26,0	30,7	24,5
Petrol	7,9	8,3	5,9	4,7
Diğer	0,1	0,1	0,1	0,1
Toplam	100	100	100	100

Ülkemizde, gerek enerji kaynaklarının kullanım oranları ve gerekse ithal bağımlı bir enerji üretimi yaklaşımının "sürdürülebilirlik" kavramıyla asla örtüşmediği gerçeği açıkça görülmektedir.

Nitekim Dünya enerji istatistiklerine ilişkin verilere bakıldığında da (Şek. 3), fosil kaynak olarak kömürün kullanım oranının diğer kaynaklara kıyasla en üst düzeyde olduğu (% 25), bunun yanı sıra özellikle yenilenebilir kaynaklar ve atıklardan enerji üretim değerlerinin önemli bir oranı gösterdiği anlaşılmaktadır. Bizim ülkemizde yerli ve sürdürülebilirlik kavramına çok uygun düşen hidrolik potansiyelimiz de dikkate alındığında, kaynaklarımızın kullanım önceliğiyle oluşturulması gereken bir politikanın madencilikte sürdürülebilirlik ilkesi ile son derece uyumlu bir yaklaşım göstereceği açıktır.



Şekil 3. 2004 yılı dünya enerji istatistik verileri (IEA, 2006).

2005 yılında 161 milyar kWsa. olarak gerçekleşen enerji tüketiminin (Çizelge 2), 2020 yılında 400 milyar kWsa değerini aşacağı tahmin edilmektedir.

Türkiye'nin yerli kaynaklarından (kömür ve hidrolik) enerji üretimine ilişkin bir değerlendirme Şekil 4'de verilmektedir. Her iki kaynağında kullanımlarında yıllara göre artışlar izlenmesine karşın, kaynak kullanımında yeterli olduğunu söylemek olası değildir. Enerjinin bağımlılıktan kurtarılması ve sürdürülebilirlik ilişkisi içinde, yerli kaynakların temiz teknolojilerle

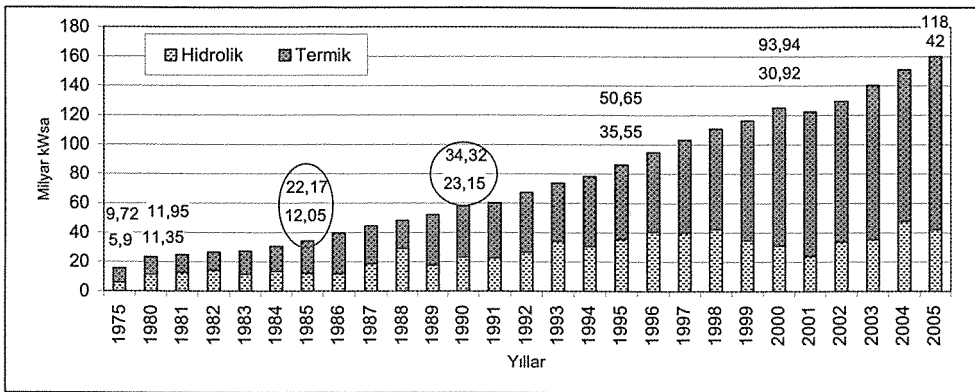
donanımlı olarak kullanılması önceliği mutlaka sağlanmalıdır.

4 DEĞERLENDİRME

Kalkınma sürecinde ekonomik ve sosyal gelişme ile doğal kaynakların optimum tüketim hızlarında tutulması ve bu bağlamda "doğal kaynakları israf etmeksizin, insan sağlığı ve çevresel değerler korunarak yapılan madencilik, tarım, hayvancılık, balıkçılık ve sanayi üretim faaliyetleri ile ulaşılan gelişmişlik" sürdürülebilir kalkınma olarak özetlenmektedir.

Çizelge 2. Türkiye elektrik üretimi ve kaynaklara göre dağılımı (ETBK-2006).

Yıl	Fosil Katı Yakıtlar				Toplam x1000 t	Elektrik GWh
	Taşkömür	(%)	Linyit	(%)		
2000	3.819,0	3,1	34.367	27,5	38.189	124.922
2001	4.046,0	3,3	34.372	28,0	38.421	122.725
2002	4.093,1	3,2	28.056	21,7	32.153	129.395
2003	8.663,0	6,2	23.590	16,8	32.259	140.581
2004	11.998,2	7,9	22.450	14,9	34.478	150.698
2005	13.057,9	8,1	30.008	18,5	43.066	161.983



Şekil 4. Hidrolik ve termik santral kaynaklı elektrik üretimi değerleri

Yukarıda verilen temel değerlendirme, bugüne kadar konuyla ilgili yapılan birçok çalışmada ortak yargı olarak kabul görmektedir. Ancak konunun, sadece kaynakların rasyonel kullanılması boyutuna ilave olarak, yerel ölçekte öz kaynakların kullanım önceliği kavramının eklenmesi

gerektiği düşünülmektedir. Aksine kalkınma, sürdürülebilirlik ve özel olarak madencilik tanımlamaları yan yana getirildiğinde, günümüzde sürdürülen dışa bağımlı enerji temini yaklaşımının, üstelik temiz kaynak olarak da öne çıkarılıp, ne kalkınma ne de

sürdürülebilirlikten söz etmek olası gözükmemektedir.

Ekonomik bir kavram olarak kalkınmanın sürdürülebilirlik kavramı içinde bütünlenebilmesinde toplumun ve bireylerin beklentileri ve mutlulukları öne çıkıyor ise, öz kaynaklara dayandırılmayan bir üretim anlayışıyla bunun sağlanması olanaklı değildir. Bir yandan enerji tüketimlerinin bir gelişmişlik göstergesi olarak kullanılması, öte yandan gerekli enerji temininde temin güvenilirliği olmayan ithal kaynaklara yönelmesi, “sürdürülebilir bir kalkınma ve madencilik” yaklaşımına uymamaktadır.

Sürdürülebilirliğin dayandırıldığı sosyal, ekonomik ve çevre boyutları bugünkü tanımlamaları ile gerekli ancak yeterli olarak anlaşılmalıdır. Aksi halde felsefi boyutları ile yapılan değerlendirmeler ve kabuller sonucu, bir ülkenin önceliklerini dikkate almayan bir modele dayanan üretim-tüketim anlayışıyla ne kalkınma, ne de sosyal ve çevresel bir koruma anlayışını yakalamak olası gözükmemektedir.

Bu değerlendirmeler ışığında Türkiye enerji üretimi ve sürdürülebilirlik kavramını doğru bir kalkınma çerçevesinde bütünlenebilmek için aşağıda verilen sistematik kurgunun hayata geçirilmesi gerektiği düşünülmektedir:

- a) Öz kaynakların temini ve kullanımına ilişkin güncel bir envanter hazırlanmalıdır.
- b) Enerji üretim-tüketiminde yerli kaynakların önceliğinde uzun erimli planlama yapılmalı ve uygulamaya alınmalıdır.
- c) Yerli kaynakların; temiz teknolojilerle donanımlı olarak ekonomik ve çevresel boyutlarıyla toplumsal ve bireysel refahın özne olduğu bir modelle üretiminin sürdürülmesi sağlanmalıdır.
- d) Kaynak kullanımında sadece “gereksinimlere göre” üretim-tüketim değil, aynı zamanda kaynakların rasyonel kullanım koşuluna özen gösterilmelidir.
- e) Başta yerli kaynakların önceliği olmak üzere, enerjide yenilenebilir ve temiz kaynaklardan yararlanma etkinliği

bilimsel ve teknik olabilirlikleri ile artırılmalıdır.

- f) Enerji hammaddeleri ve enerji üretiminde ulaşılabilirlik, bulunabilirlik, kabul edilebilirlik yaklaşımları öncelikli olmalıdır.

Sonuç olarak sürdürülebilir enerji sistemleri; güvenli ve güvenilebilir bir enerji arzı sağlamalıdır. Sürdürülebilirlik yaklaşımında, bugüne kadar yapılan genel tanımlamanın; “doğal kaynakları israf etmeksizin, insan sağlığı ve çevresel değerler korunarak, yerli kaynaklar önceliğinde, yapılan madencilik, tarım, hayvancılık, balıkçılık ve sanayi üretim faaliyetleri ile ulaşılan gelişmişlik” olarak ifade edilmesinin doğru olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Zanbak, C., Karahan, S., 2005, Turkish perspective on indicators of sustainability for the mineral extraction industry, Indicator of sustainability for mineral extraction industry, Workshop Course notes, Antalya, (10 s).
- Yüce, A.E., Doğan, M.Z., Zanbak, C., 2007, “Sustainability Criteria in Mineral Processing”, International Conference on Environment, Survival and Sustainability, Edt: H.Gökçekuş, , Near East Univ. 19-24 February, ISBN:978-975-8359-41-7, Extended Abstracts, pp: 210, Nicosia, Cyprus.
- Arın, T., 1995, Sürdürülebilir Kalkınma Sempozyumu, TMMOB, ISBN: 975-395-189-2, Ankara, (S:21-29).
- Shields, D.J., Solar, V.S., 2004, Sustainable mineral resource management and indicators: Case study Slovenia, (ed: D.J.Shields, S.V.Solar), Geological survey of Slovenia, Ljubljana, ISBN: 961-6498-03-7, (84 s).
- Zanbak, C., 2007, Sürdürülebilir kalkınma ve madencilik, Türkiye’de doğal kaynaklardan yararlanma sorunları, II.Madencilik ve Çevre Sempozyumu, TMMOB Maden Müh.Odası Yayını, ISBN:978-9944-89-259-9, Ankara, (s: 11-19).
- www.tki.gov.tr, 2006, Türkiye Kömür İşletmeleri İstatistik Bilgileri
- www.iea.org, 2006, Key world energy statistics, International Energy Agency, France (82 s.)
- www.enerji.gov.tr, 2006, Enerji üretim verileri

Farklı Kaya Koşullarında Tahkimat Performansının ve Kaya-Tahkimat Etkileşiminin Sayısal Analizi

Numerical Analysis of Support Performance and Rock-Support Interaction Considering Different Rock Conditions

H. Başarır

İnönü Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Malatya

ÖZET Bu bildiriye sayısal modelleme yöntemi ile elde edilen, en yaygın kullanılan kaya sınıflama sistemlerinden birisi olan kaya kütleli puanlama sistemi (RMR) tarafından önerilen tahkimat sistemlerinin performans ve kaya tahkimat etkileşim analiz sonuçları sunulmaktadır. Farklı RMR değerleri verilerek çok kötüden çok iyiye kadar değişen beş farklı kaya kütleli koşulu varsayılmıştır. Gerekli tahkimat sistemleri RMR sistemine göre belirlenmiştir. Bir sonlu elemanlar programından faydalanılarak önerilen tahkimat sistemlerinin performansları analiz edilmiş ve açıklığın duraylılığı değerlendirilmiştir.

Farklı derinlik ve kaya koşullarında oluşturulan açıklığın etrafındaki gerilme ve deformasyonların tahmini için çok sayıda model gerçekleştirilmiştir. Tek bir kaya tahkimat etkileşim eğrisi yerine farklı derinliklerde varsayılan farklı kaya kaliteleri için tüm eğriler elde edilmiştir. Elde edilen kaya tahkimat etkileşim eğrileri sayesinde mühendisler tahkimat performanslarını değerlendirebilecek ve kendi koşulları için gerçekleştirebilecek deformasyon değerlerini tahmin edebileceklerdir. Bununla beraber bu eğrilerin idealize edilmiş kaya kütleli özellikleri için hazırlandığı unutulmamalıdır ve özel projeler için bu çalışmada yapılan yaklaşımlar takip edilerek yeniden oluşturulmalıdır.

ABSTRACT This paper presents the results of performance analysis of support systems designed using the rock mass rating system (RMR), one of the most widely used rock mass classification systems, and the results of rock support interaction analysis based on numerical modelling.

Five different rock mass conditions were assumed from very poor to very good by assessing different RMR values. Necessary support systems were determined based on the RMR system. By using a finite element program the performances of the proposed support systems were analysed and the stability of the opening were evaluated.

Numerous model runs were conducted for estimating the deformations and stresses around an opening excavated in different rock mass conditions and different depths. Instead of a single ground reaction curve whole families of curves, representing variations in the rock mass quality of the assumed ground conditions and different depths, were obtained. By means of obtained ground reaction curves, engineers can justify the support performance and practical range of deformation expected to occur for their own conditions. However, these curves are produced for idealized rock mass properties, they should be reproduced by following the approach described in this paper for individual sites.

1 GİRİŞ

Görgül ve sayısal yöntemler günümüz madencilik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan tasarım araçlarıdır. Pratik olmalarından dolayı görgül yöntemler genelde tercih edilmektedirler. RMR bu görgül yöntemlerden birisidir, RMR sistemi sayesinde kaya kütesinin davranışı hakkında bilgi sahibi olmak ve açıklıkların duraylılıklarının korunabilmesi için gerekli tahkimat sistemlerinin belirlenmesi mümkündür. Bununla beraber RMR sistemi gerilmelerin yeniden dağılımları, tahkimat performansı ve açıklık etrafındaki deformasyonlar hakkında bilgiler verememektedir. Dolayısıyla, bu çalışmada anılan bilgilere ulaşabilmek için iki boyutlu sonlu elemanlar esasına dayalı çalışan bir program (Rocscience, 2001) kullanılmıştır. Sayısal yöntemler kaya kütesinin dayanım özellikleri gibi girdi parametrelerine çok bağıdırlar dolayısıyla bu parametrelerin belirlenmesi çok önemlidir (Basarir, 2006). Bu çalışmada gerekli girdi parametrelerini hesaplamak için farklı araştırmacılar tarafından önerilen görgül eşitlikler kullanılmıştır. Kullanılan eşitliklerin ilgili parametrelerin ilk tahminleri için bir başlangıç noktası sağlamak amaçlı olduğu unutulmamalıdır. Bu eşitliklerin mühendislik tasarımları sırasında özenle kullanılmaları gerekmektedir.

100, 200, 300, 400 metre derinliklerde varsayılan kaya koşulları için çok sayıda model oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlara dayanarak RMR tarafından önerilen tahkimat sistemlerinin performansları değerlendirilmiş ve varsayılan koşullar ve derinlikler için kaya tahkimat etkileşim eğrileri çizilmiştir.

2 VARSAYILAN KAYA KOŞULLARI

İdealize edilen kaya koşulları RMR değerleri ile direk bağlantılıdır. Çok zayıftan çok sağlam kaya koşullarına kadar farklı kaya sınıfları Bieniawski (1989) tarafından önerildiği gibi 20'den 90'a kadar değişen RMR değerleri ile ifade edilmişlerdir. Çalışmanın objektif olabilmesi için tek tek farklı saha verilerinin kullanımı yerine direk RMR değerlerinden faydalanılması yoluna gidilmiştir. Örneğin RMR=40 değeri için kayacın tek eksenli basınç dayanımı değeri 40, 60 veya 100 MPa olabilir. Dolayısıyla bu tür parametrelerin eldesinde tek bir saha çalışması yerine çok sayıda saha çalışmalarına dayanan geriye dönük analizlerin kullanılmasına karar verilmiştir. Bunu gerçekleştirebilmek için farklı araştırmacılar tarafından önerilen görgül eşitlikler kullanılmıştır. Varsayılan kaya koşulları, RMR değerleri ve önerilen tahkimat sistemleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. RMR değerleri, kaya sınıfları ve önerilen tahkimat sistemleri (Bieniawski, 1989).

RMR	Kaya kalitesi	Önerilen tahkimat
		Kaya saplaması
20	Çok zayıf	Sistemantik kaya saplaması, 5-6 m uzunlukta, tavan ve yan duvarda 1-1.5 m aralıklı, tavanda çelik hasır.
		Püskürtme beton
		Tavanda 150-200 mm, yan duvarlarda 150 mm ve aynada 50 mm kalınlıkta
		Çelik bağ
		Orta ya da ağır bağ, 0.75 m aralıklarla, çelik kamalarla, gerekirse ön süren, tabanı kapat
30	Zayıf	Sistemantik kaya saplaması, 4-5 m uzunlukta, tavan ve yan duvarda 1-1.5 m aralıklı, çelik hasırla birlikte.
		Tavanda 100-150 mm, yan duvarlarda 100 mm kalınlıkta
50	Orta	Sistemantik kaya saplaması, 4 m uzunlukta, tavan ve yan duvarda 1.5-2 m aralıklı, tavanda çelik hasır.
		Tavanda 50-100 mm, yan duvarlarda 30 mm kalınlıkta
70	İyi	Tavanda bölgesel kaya saplaması, 3 m uzunlukta, 2.5 m aralıklı, gerektiğinde çelik hasırla birlikte.
		Tavanda gerekli yerlerde, 50 mm kalınlığında
90	Çok iyi	Gerekli belirli noktalar haricinde, genellikle tahkimat gerekmez.

3 KAYA KÜTLESİ DAYANIM PARAMETRELERİNİN TAHMİNİ

Kaya ile ilgili mühendislik tasarımının ilk aşamalarında kaya kütleli parametrelerinin belirlenmesine ihtiyaç duyulur. Pek çok araştırmacı kaya kütleli sınıflama sistemlerine dayalı eşitlikler önermiştir.

3.1 Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Hoek-Brown yenilme kriterini kullanan sayısal modellemede RMR değerine bağlı olarak elde edilecek olan m ve s parametrelerinin kullanımı ile kaya kütleli dayanımı (σ_{cmass}) otomatik olarak

indirgendiginden belirlenmesi gereken en önemli parametrelerden biri kayacın tek eksenli basınç dayanımıdır (σ_{ci}). Trueman (1988) kaya kütleli dayanımının RMR a bağlı olarak elde edilmesi için aşağıdaki eşitliği önermektedir.

$$\sigma_{cmass} = 0.5e^{0.06RMR} \quad [1]$$

Kaya malzemesi dayanımının kaya kütleli dayanımına bağlı olarak elde edilmesi için kütle dayanımının bir F faktörüne bölümü gereklidir. Farklı araştırmacılar farklı F değerleri önermişlerdir. Wilson (1980) tarafından önerilen ve doğrusal olmayan faktörler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Kaya kütle ve malzeme dayanımı tahminleri.

RMR	σ_{cmass} , MPa	F							σ_{cis} , MPa
		Wilson	Eşt. 2.	Eşt. 3.	Eşt. 4.	Eşt. 5.	Eşt. 6	Ort.	
20	1.660	0.143	0.012	0.002	0.036	0.018	0.040	0.038	43.88
30	3.025	0.143	0.020	0.005	0.054	0.030	0.067	0.049	61.74
50	10.043	0.167	0.062	0.022	0.125	0.082	0.143	0.096	104.99
70	33.343	0.250	0.189	0.101	0.287	0.223	0.280	0.219	152.43
90	110.703	0.667	0.574	0.465	0.659	0.607	0.600	0.594	186.36

Hoek ve Brown (1980) kaya kütleli ve malzemesi dayanımları arasında takip eden bulmuştur.

$$\frac{1}{F} = \frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{cmass}} = \frac{1}{\sqrt{e^{\left(\frac{RMR-100}{9}\right)}}} \quad [2]$$

Yudhbir vd. (1983) F faktörü için aşağıdaki eşitliği önermişlerdir.

$$\frac{1}{F} = \frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{cmass}} = \frac{1}{e^{\left(7.65\left(\frac{RMR-100}{RMR}\right)\right)}} \quad [3]$$

Bunlara ek olarak Kalamaris ve Bieniawski (1995) F değeri tahmini için aşağıdaki eşitliği önermişlerdir.

$$\frac{1}{F} = \frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{cmass}} = \frac{1}{e^{\left(\frac{RMR-100}{24}\right)}} \quad [4]$$

Sheorey (1997) tarafından önerilen eşitlik;

$$\frac{1}{F} = \frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{cmass}} = \frac{1}{e^{\left(\frac{RMR-100}{20}\right)}} \quad [5]$$

Aydan ve Dalgıç (1998) dayanımlar arasında aşağıdaki ilişkiyi bulmuşlardır.

$$F = \frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{cmass}} = \frac{RMR + 6(100 - RMR)}{RMR} \quad [6]$$

σ_{ci} nin σ_{cmass} değerine bağlı olarak hesaplanabilmesi için F değerlerinin ortalaması kullanılmıştır. F, σ_{ci} and σ_{cmass} değerleri Çizelge 2 de verilmiştir.

3.2 Kaya Kütlelerinin Deformasyon Modülü

Kaya kütleli deformasyon modülünün arazide belirlenmesi hem zor hemde maliyeti yüksek bir çalışmadır. Dolayısıyla deformasyon modülünün belirlenmesi için görgül eşitliklerin kullanılması genelde tercih edilir. Yaygın olarak kullanılan bazı eşitlikler aşağıda listelenmiştir.

Bieniawski (1978):

$$E_{mass} = 2RMR - 100 \text{ GPa} \quad [7]$$

Serafim ve Pereira (1983);

$$E_{mass} = 10^{\left(\frac{RMR-10}{40}\right)} \text{ GPa} \quad [8]$$

Read vd. (1999)

$$E_{mass} = 0.1 \left(\frac{RMR}{10}\right)^3 \text{ GPa} \quad [9]$$

Hesaplanan E_{mass} değerleri ve ortalama değerler Çizelge 3'te verilmiştir.

Mitri vd. (1994) kaya malzemesi Young modülünden (E_i) kaya kütlesi deformabilite modülünün (E_{mass}) hesaplanması için aşağıdaki eşitliği önermişlerdir. Hesaplanan indirgeme faktörleri ve kaya malzemesinin Young's modülü Çizelge 3 te verilmiştir.

$$F = \frac{E_{mass}}{E_i} = 0.5 \left[1 - \left\{ \cos \left(\pi \frac{RMR}{100} \right) \right\} \right] \quad [10]$$

3.3 Hoek-Brown Sabitleri

Hoek ve Brown (1998) m ve s sabitlerinin RMR a dayalı olarak hesaplanabilmesi için aşağıdaki eşitlikleri önermişlerdir.

Rahatsız edilmiş kaya kütlesi için:

$$m_r = m_i e^{\left(\frac{RMR-100}{14} \right)} \quad [11]$$

$$s_r = e^{\left(\frac{RMR-100}{6} \right)} \quad [12]$$

Çizelge 3. Kaya kütle ve malzemeleri için tahmini deformasyon modülleri.

RMR	E_{mass} , MPa				F_{mitri}	E_i , MPa
	Ešt. 7.	Ešt. 8.	Ešt. 9.	Ort.		
20	-60	1.778	0.800	1.290	0.10	13.500
30	-40	3.162	2.700	2.930	0.21	14.221
50	0	10.00	12.50	11.25	0.50	22.500
70	40	31.62	34.30	35.31	0.79	44.474
90	80	100.0	72.90	84.30	0.98	86.415

Örselenmemiş kaya kütlesi için:

$$m_r = m_i e^{\left(\frac{RMR-100}{28} \right)} \quad [13]$$

$$s_r = e^{\left(\frac{RMR-100}{9} \right)} \quad [14]$$

Eşitliklerde m_i kaya malzemesi için m değeridir (RMR=100 and s=1). Hoek (1990) ve Hoek vd. (1995) farklı kaya türleri için farklı m_i değerleri önermişlerdir.

Bu çalışmada önerilen değerlere göre düşük kalitede kayalar için düşük m_i değerleri varsayılırken, benzer şekilde iyi kalitedeki kayalar için yüksek değerler varsayılmıştır.

Bu yaklaşım ilk aşamada subjektif görülebilir ancak yaklaşımın gerçekte

karşılaşılabilecek kaya koşullarını daha iyi temsil ettiği düşünülmektedir (Asef vd., 2000). Kaya malzemesi için varsayılan m_i değerleri ve kaya kütlesi için hesaplanan m_r ve s_r değerleri Çizelge 4'te verilmektedir.

Çizelge 4. Tahmin edilen Hoek-Brown sabitleri.

RMR	m_i	Rahatsız edilmemiş		Rahatsız edilmiş	
		m_r	s_r	m_r	s_r
20	9	0.51689	0.000138	0.029687	0.000001
30	13	1.06710	0.000419	0.087593	0.000008
50	19	3.18586	0.003866	0.534198	0.000240
70	27	9.24800	0.035674	3.167617	0.006738
90	33	23.0891	0.329193	16.15487	0.188876

4 SAYISAL MODELLEME

Kaya kütlesindeki deformasyonların, açıklığın duraylılığının ve kaya tahkimat etkileşiminin analizi için 2 boyutlu sonlu elemanlar yöntemi esasıyla çalışan bir program kullanılmıştır (Rocscience, 2001). Kullanılan program kayaların doğrusal olmayan deformasyonlarının çözülmesine izin vermektedir. Açıklık etrafındaki gerilmeler ve plastik zon Hoek-Brown kriterine göre tahmin edilebilmektedir. Bu analizde çevre kayacın elastik-muntazam plastik davrandığı varsayılmaktadır (Duncan-Fama, 1995).

Bu çalışmada 5 m yarıçapında dairesel bir açıklık önceki bölümde elde edilen veriler kullanılarak modellenmiştir.

Modelin dış sınırı ile açıklık merkezi arasındaki mesafe, açıklık çapının 10 katı kadardır. Modelin dış sınırları yatay ve düşeyde harekete izin vermeyecek şekilde sabitlenmişlerdir. Modelde 2800 üçgen eleman kullanılmıştır. Modelin önemli bölgesi olan açıklık yakınlarında daha küçük ve sık elemanlar kullanılırken açıklıktan uzaklaştıkça eleman yoğunluğu düşürülmüştür.

Derinlik arttıkça gerilmelerin artacağı bilindiğinden düşey gerilme hesabında aşağıdaki formül kullanılmıştır (Hoek ve Brown, 1980):

$$\sigma_v = \gamma H \quad [15]$$

Yatay gerilmelerin kestirimi çok daha zordur. Hoek ve Brown (1980) tüm dünyadaki ölçülmüş gerilmelerin analizi sonucu sığ derinliklerde değişken olan yatay gerilmelerin daha derinlerde hidrostatik gerilme durumuna geldiklerini gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada daha gerçekçi bir yaklaşım yapabilmek için hidrostatik gerilme koşulları yerine farklı yatay ve düşey gerilmeler varsayılmıştır. Hoek ve Brown'a (1980) göre bölgesel gerilmeler aşağıda verilen eşitlikte gösterildiği gibi çok geniş bir aralıkta değişebilmektedir:

$$\sigma_h < 40 + 0.5\sigma_v \quad [16]$$

Sengupta (1998) zayıf kayalarda çok sayıda hidrolik çatlatma deneyi gerçekleştirmiş ve sonuçta 400 metreden sığ derinlikler için aşağıdaki formülü önermiştir.

$$\sigma_h = 1.5 + 1.2\sigma_v \quad [17]$$

Hoek ve Brown (1980) tarafından önerilen eşitlik çok geniş aralıkta değerler verdiği için bu çalışmada Sengupta (1998) tarafından önerilen eşitlik kullanılmıştır.

100, 200, 300 and 400 m derinlikler için hesaplanan yatay ve düşey gerilmeler Çizelge 5'te verilmiştir. Çizelgeden görüleceği gibi derinlik arttıkça gerilmeler birbirlerine eşit olma eğilimindedir. Diğer bir deyişle derinlik arttıkça hidrostatik gerilme durumuna ulaşmaktadır.

Çizelge 5. Modelde kullanılan düşey ve yatay gerilmeler.

Derinlik, m	σ_v , MPa	σ_h , MPa
100	2.70	4.74
200	5.40	7.98
300	8.10	11.22
400	10.80	14.46

Önceden belirtilen kaya kütleleri içinde açılan 5 m yarıçaplı dairesel açıklıklar etrafındaki gerilme ve deformasyon değerlerinin tahmini için modeller oluşturulmuştur. 300 m derinlikte oluşturulan tahkimatsız açıklık için yenilmiş elemanlar

ve deformasyonlar Şekil 1'de gösterilmektedir. Sonrasında bu açıklığa RMR tarafından önerilen tahkimat sistemi uygulanmış ve tahkimatlı açıklık etrafındaki yenilmiş elemanlar ve deformasyonlar Şekil 1'de gösterilmiştir.

100, 200, 300 ve 400 m derinliklerde açılan açıklıklar için RMR tarafından önerilen tahkimat sistemleri uygulanmadan önce ve uygulandıktan sonra açıklıklar etrafında oluşan yenilmiş elemanlar ve açıklıkta oluşan maksimum deformasyonlar Çizelge 6'da verilmektedir.

Gerek Şekil 1'den gereksede Çizelge 6'dan görüleceği gibi deformasyonlar nispeten düşük değerlerdedir, ancak açıklık etrafındaki yenilmiş elemanlar ve plastik zon duraylılık problemleri ile karşılaşılabilceğini işaret etmektedir.

Dolayısıyla Çizelge 6 ve Şekil 1 incelenirken deformasyondan ziyade yenilmiş elemanların ve plastik zon kalınlığının dikkate alınması gerekmektedir.

Kullanılan tahkimat elemanları kaya sapsamaları ve püskürtme betondan oluşmaktadır. Modelde kullanılan kaya sapsaması uzunluk, aralıkları, püskürtme beton kalınlıkları gibi özellikler RMR sistemi tarafından önerildiği gibidir. Tahkimat uygulanmasından sonra Şekil 1 ve Çizelge 6'da gösterildiği gibi çok zayıf, zayıf ve orta kaya sınıflarında oluşturulan açıklıklarda sadece yenilmiş elemanlarda azalma ve plastik zon kalınlığında belirgin düşüşler gözlenmektedir. Bununla beraber iyi ve çok iyi kaya sınıflarında açıklık etrafında sınırlı deformasyon gözlenirken herhangi bir yenilme gözlenmemiştir. Bu gibi durumlar için RMR sistemi ya çok hafif tahkimat önermiş veya hiç önermemiştir.

Modellenen durumlar için önerilen tahkimat sistemleri yeterli görülmektedir.

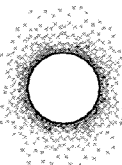
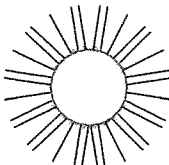
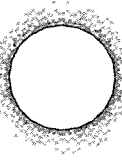
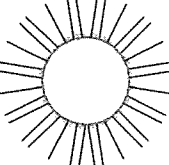
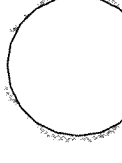
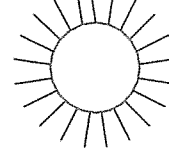

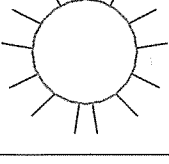

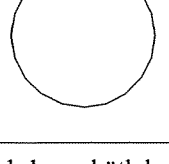
5 KAYA TAHKİMAT ETKİLEŞİM EĞRİLERİNİN ÇİZİMİ

Kaya tahkimat etkileşim eğrilerinin eldesi için literatürde bir kaç yaklaşım önerilmiştir, önerilen bu yaklaşımlarda genelde basit varsayımlara dayanan kapalı çözümlerden faydalanılmaktadır.

Sözkonusu kapalı çözümler genelde hidrostatik gerilme durumlarındaki dairesel açıklıklar için uygulanabilirler. Fakat bu çalışmada varsayılan koşullar hidrostatik gerilme durumunda olmadığından bu çalışmada sayısal modelleme kullanılmıştır.

Kaya tahkimat etkileşim eğrisinin çiziminde her bir tahkimat basıncı değeri için ayrı bir model oluşturulduğundan çok sayıda modelleme gerçekleştirilmiştir. Her bir modelde tahkimat basıncı değiştirilmiş ve maksimum deformasyon, plastik bölge kalınlıkları kaydedilmiştir. Modellemedeki

pratikliği ve tahkimat basıncının miktarsal olarak belirlenip uygulanmasındaki sağladığı kolaylıklardan dolayı modellerde tahkimat basıncı eşit içsel basınç olarak uygulanmıştır. Bu idealize edilmiş bir model olmasına rağmen tahkimat sistemlerinin nasıl çalıştığına ve etkinliklerine dair faydalı bilgiler verebilmektedir (Hoek, 2000). 300 m derinlikte zayıf kaya kütesinde açılmış olan bir açıklık için farklı tahkimat basınçları için ilgili yenilmiş elemanlar, maksimum deformasyonlar ve plastik zon kalınlıkları Şekil 2'de gösterilmektedir.

RMR	Tahkimatsız	Tahkimatlı	Tahkimat elemanları
20 Çok zayıf			Sistemik kaya saplaması, 5-6 m uzunlukta, tavan ve yan duvarda 1-1.5 m aralıklı, tavanda çelik hasır. Tavanda 150-200 mm, yan duvarlarda 150 mm ve aynada 50 mm kalınlıkta püskürtme beton.
30 Zayıf			Sistemik kaya saplaması, 4-5 m uzunlukta, tavan ve yan duvarda 1-1.5 m aralıklı, çelik hasırla birlikte. Tavanda 100-150 mm, yan duvarlarda 100 mm kalınlıkta püskürtme beton.
50 Orta			Sistemik kaya saplaması, 4 m uzunlukta, tavan ve yan duvarda 1.5-2 m aralıklı, tavanda çelik hasır. Tavanda 50-100 mm, yan duvarlarda 30 mm kalınlıkta püskürtme beton.
70 İyi			Tavanda bölgesel kaya saplaması, 3 m uzunlukta, 2.5 m aralıklı, gerektiğinde çelik hasırla birlikte. Tavanda gerekli yerlerde, 50 mm kalınlığında.
90 Çok iyi			Gerekli belirli noktalar haricinde, genellikle tahkimat gerekmez.

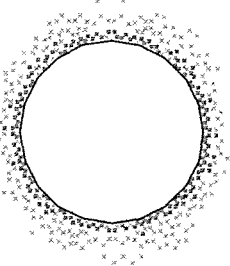
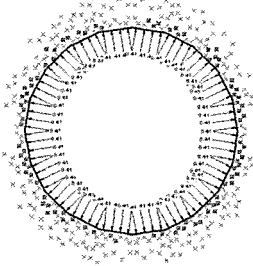
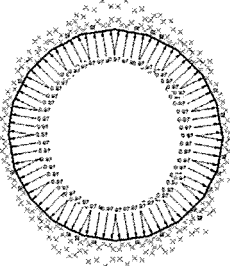
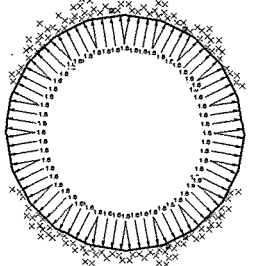
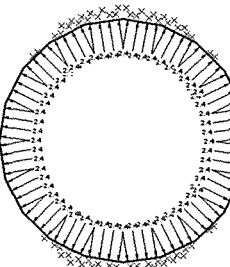
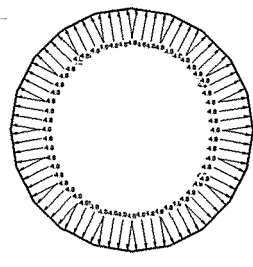
Şekil 1. 300 m derinlikte farklı kaya kütlelerinde oluşturulan 5 m yarıçaplı açıklık etrafındaki yenilmiş elemanlar ve oluşan plastik bölgeler.

Çizelge 6. 300 m derinlikte farklı kaya kütlelerinde oluşturulan tahkimatlı ve tahkimatsız 5 m yarıçaplı açıklıklar etrafındaki maksimum deformasyonlar ve plastik bölge kalınlıkları.

RMR	Derinlik, m	Tahkimatsız		Tahkimatlı	
		Plastik zon, m	Maksimum deformasyon, mm	Plastik bölge, m	Maksimum deformasyon, mm
20	100	8.05	38.66	0.00	16.15
	200	8.98	80.90	6.64	23.80
	300	10.64	168.25	5.28	33.00
	400	11.76	297.00	5.49	43.26
30	100	5.86	12.89	0.00	9.23
	200	6.64	23.80	5.24	14.90
	300	6.96	37.40	5.18	17.99
	400	7.61	53.10	5.32	29.72
50	100	0.00	3.02	0.00	2.87
	200	5.31	4.87	0.00	4.60
	300	5.37	6.79	5.06	6.36
	400	5.47	8.86	5.17	8.17
70	100	0.00	0.96	0.00	0.95
	200	0.00	1.55	0.00	1.53
	300	0.00	2.12	0.00	2.11
	400	0.00	2.71	0.00	2.68
90	100	0.00	0.40	0.00	0.40
	200	0.00	1.53	0.00	0.60
	300	0.00	0.80	0.00	0.80
	400	0.00	2.68	0.00	1.13

Dairesel açıklıklarda mekanik ankorajlı kaya saplamaalarının, püskürtme betonun veya beton kaplamaların maksimum tahkimat basınçlarının tahmini için Hoek (2000) tarafından önerilen grafik kullanılabilir (Şekil 3). Carranza-Torres ve Fairhurst (2000) da hidrostatik gerilme ortamında

oluşturulan açıklıklar için farklı tahkimat elemanlarının maksimum tahkimat basınçlarının hesabı için eşitlikler önermişlerdir. Varsayılan kaya koşullarında ve derinliklerde açılmış olan açıklıklar için çizilen kaya tahkimat etkileşim eğrileri Şekiller 4, 5, 6 ve 7 da verilmektedir.

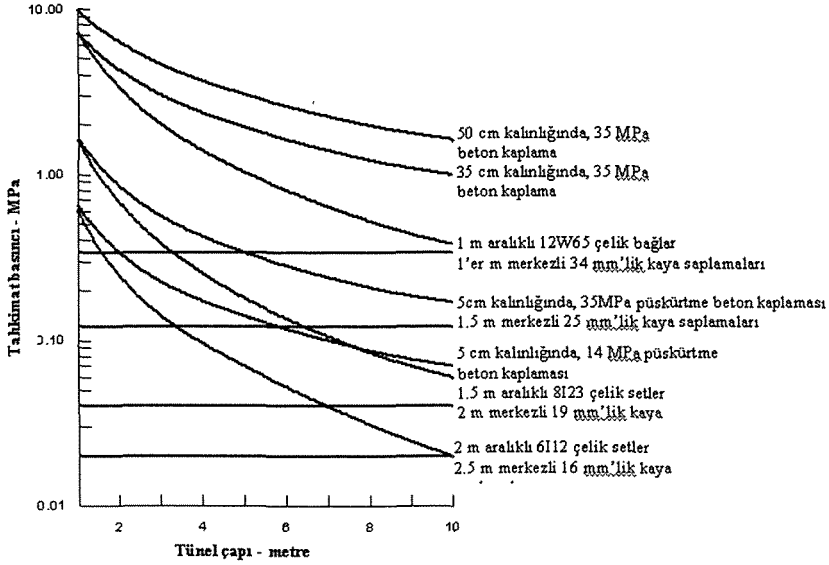
	
Tahkimat basıncı: 0 Plastik bölge yarıçapı: 6.96 Maksimum deformasyon: 37.40	Tahkimat basıncı: 0.41 Plastik bölge yarıçapı: 6.53 Maksimum deformasyon: 31.23
	
Tahkimat basıncı: 0.97 Plastik bölge yarıçapı: 6.09 Maksimum deformasyon: 26.61	Tahkimat basıncı: 1.60 Plastik bölge yarıçapı: 5.83 Maksimum deformasyon: 23.73
	
Tahkimat basıncı: 2.42 Plastik bölge yarıçapı: 5.46 Maksimum deformasyon: 21.24	Tahkimat basıncı: 4.80 Plastik bölge yarıçapı: 0.00 Maksimum deformasyon: 16.04

Şekil 2. Çeşitli tahkimat basınçlarında 300 m derinlikteki farklı kalitede kaya kütlelerinde oluşturulan 5m yarıçaplı açıklıklar etrafındaki yenilmiş elemanlar, plastik zon yarıçapları ve deformasyonlar.

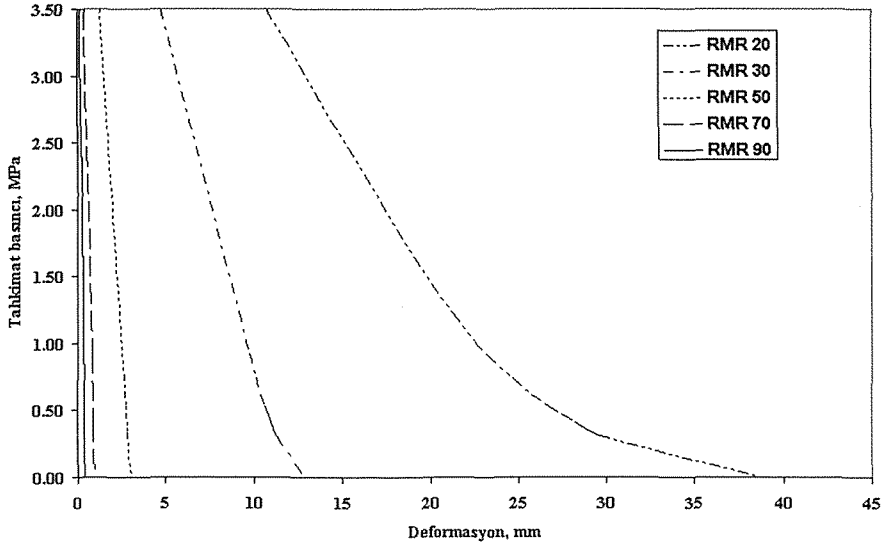
Çizilen bu kaya tahkimat etkileşim eğrileri özellikle tahkimat tasarımın ilk aşamaları için pratik bir araç olarak kullanılabilirler. Kaya kütle kalitesi, derinlik ve tahkimat basıncı verilerek muhtemel plastik zon kalınlığı ve deformasyonlar

kestirilebilmektedir. Bunun yanısıra değişen kaya kalitelerinin ve tahkimatın etkisi anlaşılabilir. Fakat gerek çizelgelerden gerekse şekillerden de anlaşılacağı üzere çok zayıf kaya kütlesi için 100 m den daha derinlerde çok yüksek

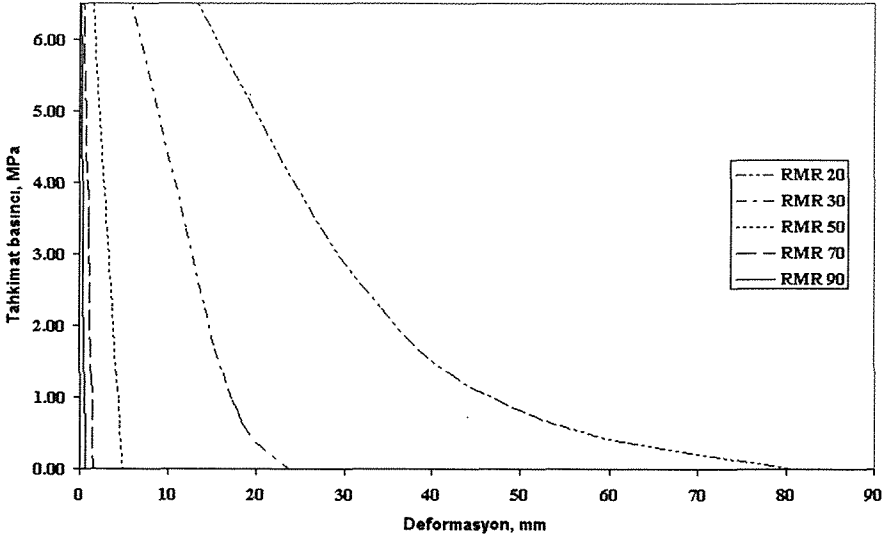
deformasyonlar beklenmektedir. Bu gibi çimento enjeksiyonu gibi bazı durumlarda söz konusu kaya kütlelerinde iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir.



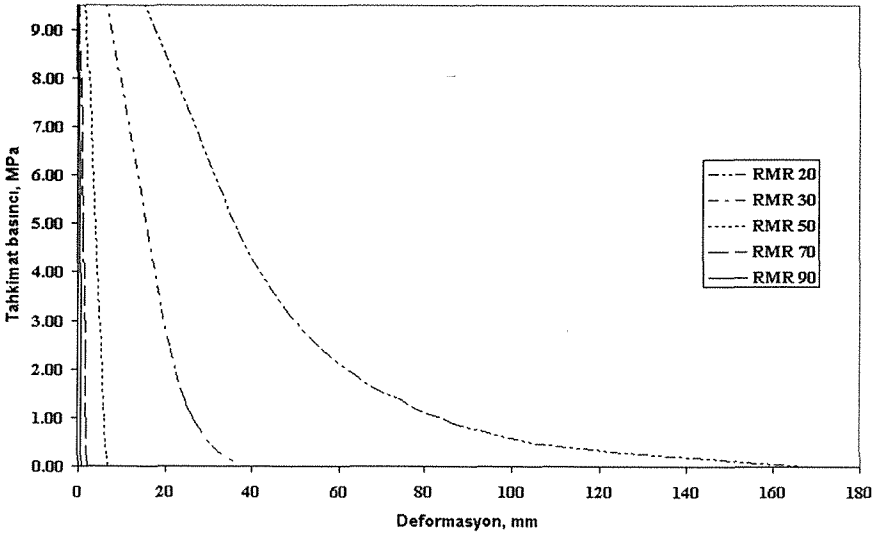
Şekil 3. Dairesel açıklıklarda için farklı tahkimat elemanları ve tahkimat basınçları (Hoek, 2000).



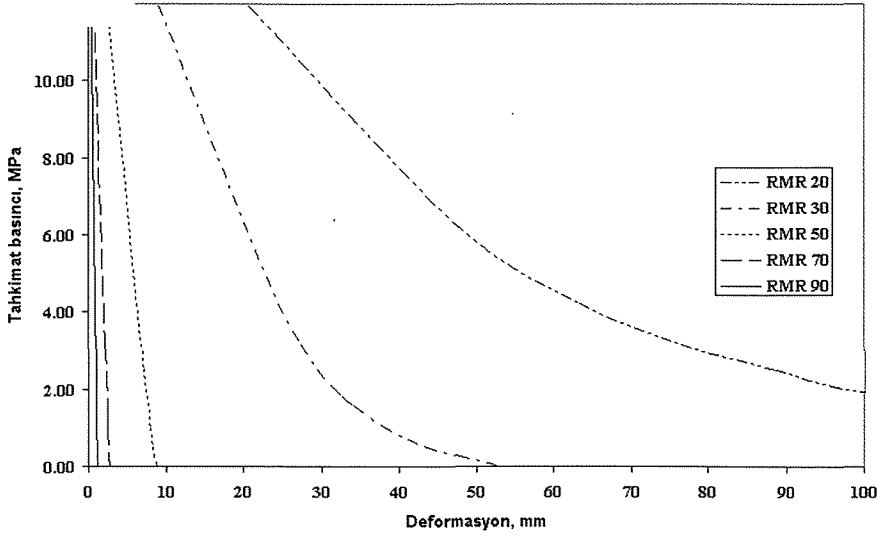
Şekil 4. 100 m derinlikteki farklı kaya kütlelerinde oluşturulan 5 m yarıçaplı açıklık için kaya tahkimat etkileşim eğrileri.



Şekil 5. 200 m derinlikteki farklı kaya kütlelerinde oluşturulan 5 m yarıçaplı açıklık için kaya tahkimat etkileşim eğrileri.



Şekil 6. 300 m derinlikteki farklı kaya kütlelerinde oluşturulan 5 m yarıçaplı açıklık için kaya tahkimat etkileşim eğrileri.



Şekil 7. 400 m derinlikteki farklı kaya kütlelerinde oluşturulan 5 m yarıçaplı açıklık için kaya tahkimat etkileşim eğrileri.

6 SONUÇ VE YORUMLAR

İdealize edilmiş kaya koşulları için kaya kütle parametreleri elde edilmiş ve geriye dönük analizlerle kaya malzemesi özellikleri elde edilmiştir. Kaya kütlesi karakterizasyonunda ve gerekli olan tahkimat sistemi belirlenmesinde RMR sınıflama sistemi kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak açıklıkların duraylılığı ve RMR tarafından önerilen tahkimat sistemlerinin performansları değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar varsayılan koşullarda RMR sisteminde önerilen tahkimat sistemlerinin yeterli olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlara dayanarak kaya kütlelerinde oluşturulacak bir açıklığın tahkimat tasarımında tam bir duraylılık ve tahkimat performans analizi için görgül ve sayısal yöntemlerinin beraber kullanılması önerilmektedir.

Bu çalışmada kaya kütlesi özellikleri, derinlik ve gerilmelere dayalı kaya tahkimat etkileşim eğrilerinin eldesi için bir yaklaşımda bulunulmuştur. Söz konusu yaklaşımla varsayılan koşullar için kaya tahkimat etkileşim eğrileri elde edilmiş ve sunulmuştur. Çizilen kaya tahkimat etkileşim

eğrileri kaya kütlesinin dayanım ve deformabilite özelliklerine, açıklığın derinliğine ve RMR değişimlerine bağlı olarak değişmektedirler.

Eğrilerin kullanımıyla kaya kütle kalitesinin, açıklığın derinliğinin ve tahkimat basıncının bilinmesi durumunda yaklaşık maksimum deformasyonun ve plastik zon kalınlığının tahmin edilmesi mümkün olmaktadır.

Bu çalışmanın sonuçları tahkimat tasarımının ilk aşamasında kullanılabilir bir araç olmasına rağmen, ileri aşamalarda çok sayıda arazi ve laboratuvar deneylerinin ve saha ölçümlerinin gerçekleştirilerek detay projenin hazırlanması gerekliliği asla unutulmamalıdır. Bu deney ve ölçümlerin sonucunda yine burada sunulan yaklaşımlar izlenerek çok daha hassas ve güvenilir sonuçlara ulaşılabilir.

KAYNAKLAR

- Asef, M. R., Reddish, D. J., Lloyd, P. W., 2000. Rock-support interaction analysis based on numerical methods. Geotechnical and Geological Engineering, 18:23-37.

- Aydan, O., and Dalgic, S., 1998. Prediction of deformation behaviour of 3-lanes Bolu tunnels through squeezing rocks of North Anatolian fault zone (NAFZ). Proc. Regional Symp. Sedimentary Rock Engineering, Taipei, 228-233.
- Basarir, H. 2006. Engineering geological studies and tunnel support design at Sulakyurt dam site, Turkey. *Engineering Geology*, 86, 225-236.
- Bieniawski, Z. T., 1978. Determining rock mass deformability: experience from case histories. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, 15: 237-47.
- Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications*. Wiley, New York, 251 p.
- Duncan-Fama, M. E., 1995. Numerical modeling of yield zones in weak rocks. *Comprehensive Rock Engineering*, Pergamon, Oxford, 2: 49-75.
- Hoek, E. and Brown, E. T., 1980. *Underground Excavations in Rock*. Inst. Mining and Metallurgy, London.
- Hoek, E., 1990. Estimating Mohr-Coulomb friction and cohesion values from the Hoek-Brown failure criterion. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 72 (3): 227-229.
- Hoek, E., 2000. Course note for rock engineering. (www.rocsience.com).
- Hoek, E., Brown, E.T., 1998. Practical estimates of rock mass strength. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 34 (8): 1165-1186.
- Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F., 1995. *Support of Underground Excavations in Hard Rock*, Balkema, Rotterdam.
- Kalamaris, G.S. and Bieniawski, Z.T. 1995. A rock mass strength concept for coal incorporating the effect of time. *Proceeding of the 8th International Congress on Rock Mechanics*, Melbourne, Rotterdam, Balkema, 1: 295-302.
- Mitri, H.S., Edrissi, R., Henning, J., 1994. Finite Element modeling of cable-bolted slopes in hard rock underground mines. *SME Annual Meeting*, SME, Albuquerque, 14- 17 February, New Mexico, USA, 94-116.
- Read, S.A.L., Richards, L.R., and Perrin, N.D., 1999. Applicability of the Hoek-Brown failure criterion to New Zealand greywacke rocks. *Proceeding 9th International Society for Rock Mechanics Congress*, Paris, 2: 655-660.
- Rocscience, 2001. *Phase² v.5.048 User's Guide*. Rocscience Inc, Toronto, Ontario, Canada.
- Sengupta, S. 1998. *Influence of Geological Structures on Insitu Stresses*. PhD Thesis, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology, New Delhi.
- Serafim, J.L., Pereira, J.P., 1983. Considerations of the geomechanics classification of Bieniawski. *Proceedings International Symposium Engineering Geology and Underground Construction*, Balkema, Rotterdam, 1133-1142.
- Sheorey P. R., 1997. *Empirical Rock Failure Criteria*. A.A. Balkema, Rotterdam. Netherlands.
- Trueman, R., 1988. *An evaluation of strata support techniques in dual life gateroads*. PhD Thesis, University of Wales, Cardiff.
- Wilson, A.H., 1980. A Method of estimating the closure and strength of lining required in drivages surrounded by a yield zone. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 17: 349-355.
- Yudhbir, Lemanza, W. and Prinzl, F., 1983. An empirical failure criterion for rock masses. *Proceeding of the 5th International Congress on Rock Mechanics*, Melbourne, Rotterdam, Balkema, 1: B1-B8.

Bazı Açık İşletmelerde Değişik Kaya Birimlerinin Taşıma Kapasitelerinin Belirlenmesi

Determination of Bearing Capacities of Different Rock Units in Some Open-Pit Mines

Y. Gül, A. Ceylanoglu

Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas

ÖZET Bilindiği gibi, açık işletmelerde çalışma sahalarının ve ocak yollarının tasarım çalışmalarında dikkate alınması gereken önemli parametrelerden birisi de zemin taşıma kapasitesidir. Bu çalışma kapsamında, öncelikle taşıma kapasitesi ile ilgili güncel ve ayrıntılı bir literatür araştırması yapılmıştır. Literatür çalışması ışığında kaya birimlerinin taşıma kapasitelerinin ölçümüne yönelik kontrollü bir plaka yükleme deney düzeneği oluşturulmuştur. Daha sonra, bu deney düzeneği kullanılarak Sivas civarında bulunan üç farklı açık işletmede (Sivas-Ulaş Sölestit Açık İşletmesi, Divriği Demir Açık İşletmesi ve Kangal Kömür Açık İşletmesi) yer alan sekiz değişik lokasyonun taşıma kapasiteleri belirlenmiştir.

ABSTRACT As it is known that, one of the important parameters which should be taken into consideration during the design studies of open-pit working areas and roads is the ground bearing capacity. Within the scope of this study, initially a comprehensive and up to date literature survey is conducted on the ground bearing capacity. In the light of literature study, a controlled plate loading test system is setup for the measurement of bearing capacities of rock units. Then using this system the ground bearing capacities of eight different locations at three open-pit mines (Sivas-Ulaş Open-Pit Celestite Mine, Divriği Open-Pit Iron Mine and Kangal Open-Pit Coal Mine) have been determined.

1 GİRİŞ

Maden hammaddelerinin yenilenemeyen kaynaklar olduğu ve ülke ekonomisi üzerindeki önemli etkileri bilinmektedir. Bu nedenle, maden işletmelerinde en az maliyetle en çok kazanımı sağlamak için çeşitli projeler ve değişik alternatifler geliştirilmektedir. Bu kapsamda, maden işletmelerindeki kazı-yükleme ve taşıma işlemleri için kazı ve nakliye araçlarının özelliklerini de dikkate alan uygun kazı-yükleme alanları ve taşıma yolları tasarlanmakta ve yapılmaktadır.

Yatırım maliyetleri oldukça yüksek açık işletme nakliye araçlarının, güç ve kapasitelerinde gelişen teknolojiye paralel

olarak büyük artışlar görülmüştür. Diğer yandan, gerek bu araçların uygun seçimine gerekse uygun koşullarda çalıştırılmasına yönelik çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Emniyetli, ekonomik ve verimli kazı-yükleme-taşıma işlemleri ancak uygun çalışma alanları, yol tasarımları ve uygun ekipman seçimi sonucunda mümkün olabilmektedir. Bu nedenle, kazı-yükleme makinalarının çalışma sahalarının ve nakliye yollarının zemin taşıma kapasitelerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Sivas civarında bulunan üç farklı açık işletmede, değişik koşullarda 96 adet plaka yükleme deneyi yapılmıştır. Herbir lokasyonda iki değişik yönde (basamak aynasına dik ve paralel)

oluşturulan hatlar boyunca (2 m aralıklı kare düzeninde) plaka yükleme deneyleri gerçekleştirilmiş ve herbir birimin ortalama taşıma kapasitesi belirlenmiştir.

2 TAŞIMA KAPASİTESİ BELİRLEME YÖNTEMLERİ

2.1 Genel

Herhangi bir cismin yüzeyine yük uygulandığında cisimde önce elastik sonra da kalıcı deformasyonlar oluşmaktadır. Zeminler de üzerlerine yük geldiğinde özelliklerine ve uygulanan yüke bağlı olarak bir miktar sıkışarak konsolide olmaktadır. Toprak zeminlerde veya kaya birimlerinde kayma gerilmeleri oluşmadıkça bu ortamlar yenilmeye geçmeyecekleri için elastik olarak davranabilmektedirler. Ancak belirli bir gerilme düzeyinden sonra, toprak zeminlerde ve kaya birimlerinde geri gelmeyen şekil değiştirmeleri (deformasyonlar) oluşmaktadır. Zeminlerin göçmeye karşı yeterli güvenliğe sahip olmasını ifade eden taşıma kapasitesi kavramı oldukça önem taşımaktadır. Temel zeminlerinin göçmesi üst yapının da yıkılmasına neden olmaktadır. Üst yapının kendisinden beklenen fonksiyonu yerine getirebilmesi için temel zemininde oluşması muhtemel toplam ve farklı oturmaların kabul edilebilir değerleri aşmaması gerekmektedir. Taşıma kapasitesi (q_d) temel yapısının göçme olmadan temel zeminine aktarabileceği maksimum taban basıncı (kg/cm^2 veya t/m^2) ile ifade edilmektedir. Temel basıncı "Zemin emniyet gerilmesi, q_{em} " olup bunun belirlenmesinde taşıma gücünün ve oturmaların bilinmesi gerekmektedir. Güvenlikle taşınabilecek yük, zeminin göçme anından hemen önce taşıyabileceği maksimum yük olarak ifade edilmektedir.

Zemin taşıma kapasitesinin herhangi bir yöntemle belirlenmesinden sonra elde edilen taşıma kapasitesi, güvenlik sayısına bölünerek ($q_{em} = q_d / GS$) zemin emniyet gerilmesi elde edilmektedir. Zemin emniyet gerilmesi elde edildikten sonra, temeller projelendirilirken taban gerilmelerinin bu değerden büyük olmaması sağlanmaktadır. Zemin emniyet gerilmelerinin

belirlenmesinde kullanılacak olan güvenlik sayısı belirlenirken aşağıda belirtilen hususlar dikkate alınmaktadır.

- i. Zemin cinsi
- ii. Arazi çalışması ve laboratuvar deneylerinden elde edilen veriler
- iii. Zemindeki değişkenlik
- iv. Üstyapının önemi
- v. Dikkate alınan proje yükleri ve proje ömrü

Geoteknik mühendisliğinde kullanılan tipik güvenlik sayısı değerleri 2.5-3.5 arasında değişmektedir. Bu değer çok seyrek olarak 2.0'ye kadar azalmakta ve 4.0'e kadar çıkabilmektedir (Mylivec, 1978 ; Keçeli, 1990).

Yeter büyüklükte bir yük altında kalan temel, zeminin içine artan bir hızla batarak göçebilir. Bu tip göçmenin hangi büyüklükteki yük altında meydana geldiğini belirlemek için çok sayıda incelemeler yapılmıştır. Bu etüdlere, hem zeminin fiziksel özellikleri araştırılmış, hem de yük altında zemin hareketi göz önüne alınmıştır. Bu konuda birçok teori ve yöntem geliştirilmiştir. Ancak bunlardan pek azı deneyim ve bire bir ölçüsünde yapılan deney sonuçları ile uygunluk göstermiştir (Capper ve Cassie, 1984). Taşıma kapasitesi, zeminin birim ağırlığı, kayma direnci ve deformasyon karakteristikleri gibi mekanik özelliklerine, zeminin ilk gerilme durumuna, süreksizlik dağılımına, temelin büyüklük, derinlik, şekil, taban pürüzlülüğü ve taşıdığı yük gibi geometrik ve fiziksel şartlarına ve inşaa metoduna dayanmaktadır (Şekercioğlu, 2002). Taşıma kapasitesi belirleme yöntemlerini analitik ve deneysel yöntemler olmak üzere iki ana başlık altında incelemek mümkündür.

2.2 Analitik Yöntemler

Taşıma kapasitesinin analitik yöntemlerle belirlenmesine yönelik bugüne kadar birçok araştırmacı tarafından çeşitli ilişkiler elde edilmiştir (Şekercioğlu, 2002 ; Aytekin, 2004 ; Das, 1999 ; Ulusay ve Sönmez, 2002 ; Wyllie, 1992 ; Hoek vd., 1995 ; El Naqa,

2004 ; Özüdoğru vd., 1988 ; Gökay, 2001 ; Harbiyeli, 1992). Analitik çözümlerde zeminin kayma direnci ile ilgili parametrelerin (kohezyon, “c” ve içsel sürtünme açısı, “ ϕ ”) bilindiği varsayılmaktadır. Taşıma kapasitesinin analitik yöntemlerle belirlenmesine yönelik olarak geliştirilen ilişkiler kronolojik olarak aşağıda verilmiştir.

- i. Meyerhof'un formülü (1951)
- ii. Skempton'un formülü (1951)
- iii. Biarez'in formülü (1961)
- iv. Bishnoi'nin formülü (1968)
- v. Hansen'in formülü (1970)
- vi. Schultze'nin formülü (1973)
- vii. Vesic'in formülü (1973)
- viii. Brady ve Brown'ın formülü (1985)
- ix. Bauer ve Arkadaşlarının formülü (1987)
- x. Bowles'in formülü (1988)
- xi. Cherubini'nin formülü (1990)
- xii. Kaya kütlelerinin taşıma kapasitesinin belirlenmesi
 - Wyllie'nin formülü (1992) (Hoek-Brown yenilme ölçütü kullanılarak)
 - Taşıma kapasitesi ve sismik hız ilişkisi (Keçeli, 1990 ; Gül ve Ceylanoglu, 2006)
 - Taşıma kapasitesi ve deformasyon modülü ile süreksizlik aralığı arasındaki ilişki (Şekercioğlu, 2002)
 - Taşıma kapasitesi ve tek eksenli basınç dayanımı ile süreksizlik aralığı arasındaki ilişki (Şekercioğlu, 2002)

2.3 Deneysel Yöntemler

Bilindiği gibi, kaya kütlelerinde bulunan ancak kaya numunesinde olmayan yapısal unsurlar, yük taşıma kapasitesi sonuçlarını etkilemektedir. Bu nedenle, arazide yerinde yapılan deneylerle temel ortamlarının taşıma kapasiteleri daha doğru bir şekilde tespit edilebilmektedir. Yerinde yapılan bu deneylerle örnek almadaki örselenme minimuma indirilmekte ve zemin, içinde bulunduğu çevre koşullarında (gerilme durumu, boşluk basıncı, doyumluk derecesi) deneye tabi tutulmaktadır. Çok sayıda arazi

deneyi bulunmakla birlikte bunların bazıları çok yoğun olarak kullanılırken bir kısmı daha az kullanılmaktadır (Anonim, 1988a ; Aytekin, 2004 ; Şekercioğlu, 2002 ; Tunç, 2002 ; Gökay, 2001 ; Keçeli, 1990 ; Keçeli, 1995 ; Keçeli, 2000). Taşıma kapasitesinin yerinde belirlenmesine yönelik olarak kullanılan deneyler aşağıda verilmiştir.

- i. Standart penetrasyon deneyi
- ii. Koni penetrasyon deneyi
- iii. Kanatlı kesici deneyi
- iv. Pressiometre deneyi
- v. Plaka yükleme deneyi

3 PLAKA YÜKLEME DENEYİ DÜZENİĞİNİN OLUŞTURULMASI

3.1 Deney Düzenliğinde Kullanılan Alet ve Cihazlar

Kaya birimlerinin taşıma kapasitelerinin belirlenmesine yönelik literatür çalışmaları (Anonim, 1987; Anonim, 1988a; Anonim, 1988b; Gökay, 1988; Capper ve Cassie, 1984; Paşamehmetoğlu, vd., 1991 ; Ceylanoglu ve Gül, 2004 ; Gül, 2006) ışığında kontrollü bir plaka yükleme deney düzeniği oluşturulmuştur. Deney düzeniğinin kurulması için gerekli alet ve cihazların bir bölümü (hidrolik silindir, hidrolik pompa, basınç çevirici, güç çevirici, elektronik deplasman ölçerler ve veri toplama ünitesi) Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarı'ndan sağlanmıştır. Şekil 1'de gösterilen deney düzeniğindeki diğer aletler ise (deplasman ölçer bağlantı ünitesi, metal diskler ve zemin plakaları) tasarlanmış ve Sivas Organize Sanayi Bölgesi'nde yaptırılmıştır.

3.1.1 Hidrolik pompa ve hidrolik silindir

Yağ basıncı 700 bar'lık hidrolik bir el pompası (Enerpac P-80) tarafından sağlanan alüminyum hidrolik silindir, 50 ton kapasiteye ve 150 mm strok boyuna (maksimum piston yükselimi) sahiptir (Şek. 1). Enerpac RAC-506 marka bu hidrolik silindir 286 mm boyunda, 130 mm çapında

ve 11.1 kg ağırlığındadır. Silindir etkin alanı (yağın etki ettiği yüzey alanı) 70.9 cm^2 'dir.

3.1.2 Basınç çevirici

Hidrolik silindir ile uygulanan basıncı sürekli ve sayısal olarak ölçebilmek için 500 kg/cm^2 kapasiteli bir basınç çevirici (PW-500) kullanılmıştır. Basınç çeviricinin kalibrasyon katsayısı 0.1248 kg/cm^2 'dir. Plaka yükleme deneylerinde yük okuması yapabilmek için veri toplama ünitesine, basınç çeviricinin kalibrasyon katsayısı olarak $0.1248 \text{ kg/cm}^2 * 70.9 \text{ cm}^2 = 8.84832 \text{ kg}$ değeri girilmiştir. Veri toplama ünitesinden okunan değerlerin doğruluğunu belirlemek amacıyla, basınç çeviricinin kaya mekaniği laboratuvarında kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyon işleminde elektronik yük ölçer (load cell) kullanılmıştır. Veri toplama ünitesinden okunan yük değerlerine (kg) karşılık yük ölçer değerleri (kg) kaydedilmiştir.

3.1.3 Deplasman ölçerler

Plaka batmalarının ölçülebilmesi için iki adet (5 cm ve 10 cm'lik) elektronik deplasman ölçer (CDP-50 ve SDP-100C) kullanılmıştır. Deplasman ölçerlerin kalibrasyonu kaya mekaniği laboratuvarında komparatör ile yapılmıştır.

3.1.4 Deplasman ölçerleri bağlama ünitesi

Elektronik deplasman ölçerlerin, hidrolik silindire bağlantısını ve zemine dik konumda kalmalarını sağlayan iki parçalı (hidrolik silindir üzerinde birleşen) bir bağlantı ünitesi tasarlanmış ve Sivas Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan bir metal atölyesinde imal ettirilerek deney düzeneğine eklenmiştir. Bağlantı ünitesinin görünüşleri Şekil 2'de verilmiştir.

3.1.5 Veri toplama ünitesi

Basıç çevirici ve elektronik deplasman ölçerlerden veri toplama işlemi TDS-601 marka veri toplama ünitesi (data logger) kullanılarak sağlanmıştır. 110 veya 220 V ile çalışan veri toplama ünitesi 10 kanallıdır. 10 farklı kanaldan aynı anda değişik parametreler (yük, deplasman, sıcaklık, voltaj, akım, devir) ölçülebilmektedir. Ölçüm değerleri veri toplama ünitesinin yazıcısından alınabildiği gibi 3.5" lik disk sürücüsü kullanılarak diskete de aktarılabilir.

3.1.6 Güç çevirici ve akü

Deney düzeneğinde XPower Inverter 300 marka güç çevirici kullanılmıştır. Güç çevirici 12 V'luk aküden aldığı güç ile 220 V besleme yapabilmektedir. Güç çevirici, sabitleyici olarak kullanılan kamyonun veya ekskavatörün aküsüne de bağlanabilmektedir. Güç çevirici kullanılarak 220 V ile çalışan veri toplama ünitesinin arazide çalıştırılması sağlanmıştır.

3.1.7 Zemin plakaları

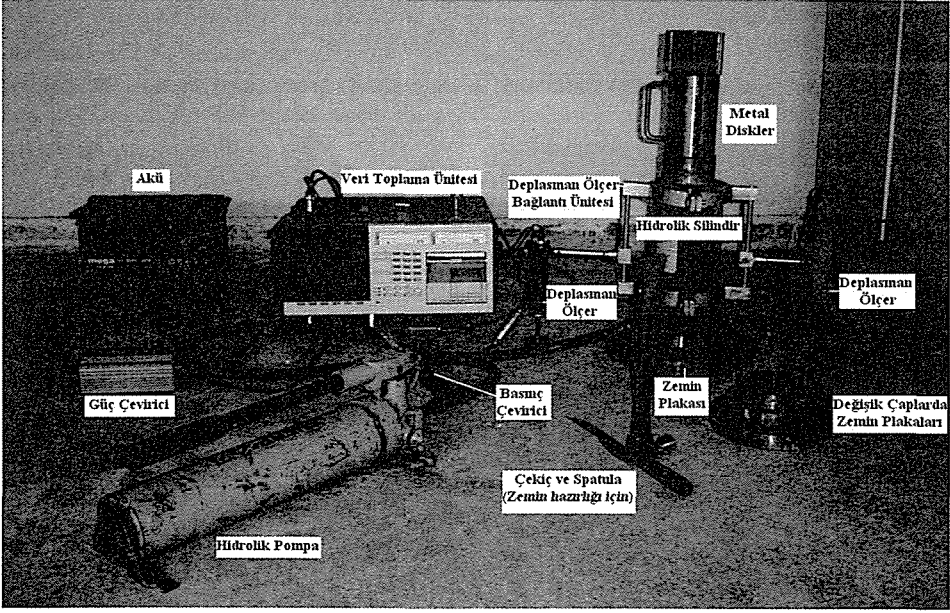
Zemin ile hidrolik silindir arasında yerleştirilen 10.95, 14.78, 19.68 ve 28.18 cm çaplarında, 2.5 cm kalınlığında ve yüzeyleri $\pm 0.002 \text{ mm}$ hassasiyetinde paslanmaz çelikten zemin plakaları tasarlanmış ve sanayide imal ettirilmiştir.

3.1.8 Metal diskler

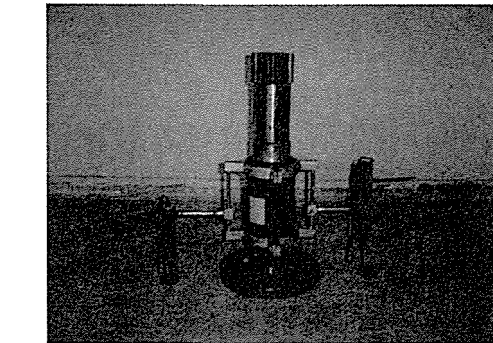
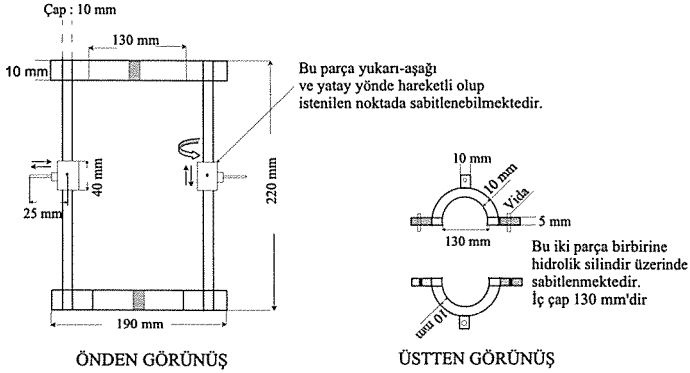
Hidrolik silindir pistonu ile sabitleyici (yükklü kamyon) arasındaki mesafeyi azaltmak ve yük aktarımını sağlamak için 1, 2, 5, 10 ve 15 cm kalınlıklarında paslanmaz çelikten metal diskler yaptırılmıştır.

3.1.9 Çekiç, spatula ve su düzeci

Deney yapılacak zeminin düzeltilmesi ve düzlüğünün kontrolü için deney düzeneğine çekiç, spatula ve su düzeci de eklenmiştir.



Şekil 1. Plaka yükleme deney düzeneği (Ceylanoğlu ve Gül, 2004 ; Gül ve Ceylanoğlu, 2006).

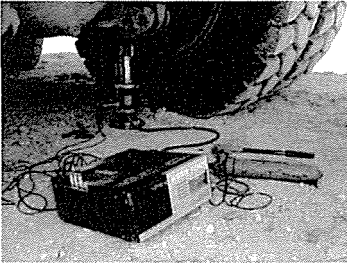


Şekil 2. Deplasman ölçer bağlantı ünitesi görünüşleri.

3.2 Araziye Deney Düzeneğinin Kurulması ve Deneyin Yapılışı

Araziye yapılan çalışmalar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir. Deney düzeneği Şekil 3'te gösterilmiştir. Deney düzeneğinde bulunan basınç çevirici ve elektronik deplasman ölçerlerin deney öncesinde kalibrasyonu yapılmıştır.

- i. Deney yapılacak birim belirlendikten sonra zemin çekiç, spatula vb. aletler ile düzeltilmiş ve su terazisi ile kontrol edilmiştir.
- ii. Sabitleyici (yükli kamyon veya ekskavatör) deney alanı üzerine konumlandırılmış ve zemin plakası yerleştirilmiştir.
- iii. Zemin plakası üzerine, deplasman ölçer bağlantı ünitesi takılı olan hidrolik silindir yerleştirilmiş ve hidrolik silindire hidrolik pompa bağlanmıştır.
- iv. Hidrolik silindir ve sabitleyici arasındaki boşluk uygun boyutlardaki metal disklerle doldurulmuştur.
- v. Elektronik deplasman ölçerler bağlantı ünitesine monte edilmiş ve ayarlanmıştır.
- vi. Güç çeviricinin 12 V'luk aküye bağlantısı yapılmıştır.
- vii. Elektronik deplasman ölçerler ve basınç çevirici, güç çevirici ile beslenen veri toplama ünitesine bağlanmıştır.
- viii. Hidrolik silindire hidrolik pompa ile yük uygulanmaya başlanmış, yük ve deplasman değerleri veri toplama ünitesinde istenilen aşamaya kadar sürekli ve zamana bağlı olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3. Plaka yükleme deneyi (Ceylanoğlu ve Gül, 2004).

4 ÇALIŞILAN İŞLETMELER VE BİRİMLER

Planlanan arazi çalışmaları doğrultusunda çeşitli dönemlerde Barit Maden Türk A.Ş.'ye ait Sivas-Ulaş Sölestit Açık İşletmesi, Erdemir Maden A.Ş.'ye ait Divriği Demir Açık İşletmesi ve Demir-Export A.Ş.'ye ait Kangal Kömür Açık İşletmesi olmak üzere üç farklı açık işletmede üretim çalışmalarını aksatmayacak şekilde, değişik kaya birimlerinin taşıma kapasitelerinin belirlenmesine yönelik kapsamlı bir arazi çalışması yapılmıştır (Gül, 2006). Çizelge 1'de çalışılan kaya birimleri ve bu birimlerin bulunduğu işletmeler verilmiştir.

Çalışılan kaya birimlerinin bazı kütleli özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak jeoteknik gözlem ve ölçümler yapılmıştır. Kaya kütle özellikleri olarak renk, ayrışma durumu, su durumu, tabakalanma kalınlığı, süreksizlik sistemleri (aralığı, konumu, durumu, açıklığı, sayısı, dolgu maddesi ve yüzey pürüzlülüğü) ve bunların özellikleri araziye yapılan gözlemler sonucunda kaydedilmiştir. Schmidt çekici sertliği belirleme ve nokta yükleme dayanımı deneyleri de yerinde gerçekleştirilmiştir. Çizelge 2'de tüm birimlere ait jeoteknik tanım ve yerinde gerçekleştirilen deneylerin sonuçları toplu halde verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışılan kaya birimleri.

Kaya Birimi (Kod No)	İşletme
Manyetit (1)	Divriği Demir Açık İşletmesi
Siyenit (2)	Divriği Demir Açık İşletmesi
Serpantin (3)	Divriği Demir Açık İşletmesi
Kireçtaşı (4)	Kangal Kömür Açık İşletmesi
Killi Kireçtaşı (5)	Kangal Kömür Açık İşletmesi
Döküm Sahası (6)	Kangal Kömür Açık İşletmesi
Jips (7)	Barit Maden Sölestit Açık İşletmesi
Toprak (8)	Barit Maden Sölestit Açık İşletmesi

5 DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Plaka yükleme deneyleri, basamak aynasına dik ve paralel iki değişik yönde oluşturulan hat boyunca 2'şer metre aralıklarla ve değişik çaplarda plakalar kullanılarak yapılmıştır. Her bir kaya birimi için dört değişik plaka çapında (10.95 cm, 14.78 cm,

19.68 cm ve 28.18 cm) ve her plaka çapında üç deney olmak üzere toplam 12 adet plaka yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Her birimde 12 adet olmak üzere tüm birimler bazında toplam 96 adet (8 birim*12) plaka yükleme deneyi yapılmıştır.

Çalışılan birimler üzerinde yapılan plaka yükleme deneylerinden elde edilen veriler basınç çevirici kullanılarak kaydedilen değerlerdir. Bu değerler, kalibrasyon eğrisinden yararlanılarak düzeltilmiştir. Benzer şekilde, deplasman değerleri de kalibrasyon eğrilerinden yararlanılarak düzeltilmiştir. Daha sonra, düzeltilen yük değerinin plakanın yüzey alanına bölünmesi ile her bir ortalama deplasman değerine karşılık gelen gerilmeler (kg/cm^2) bulunmuştur. Örnek olarak toprak birimine ait değerlendirme sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir.

Plaka yükleme deney sonuçları kullanılarak, dört değişik plaka çapı için çalışılan tüm birimlerin gerilme-deplasman

eğrileri çizilmiştir. Şekil 4'te belirtildiği gibi yükün sabit kaldığı halde deformasyonun devam ettiği (eğrinin eğiminin düşmesi) nihai dayanım değerleri taşıma kapasitesi olarak kabul edilmiştir. Her bir birim için Şekil 4'te gösterildiği gibi her plaka çapında üç adet olmak üzere toplam 12 adet taşıma kapasitesi değeri belirlenmiş ve bu değerlerin ortalaması alınarak her bir biriminin ortalama taşıma kapasitesi değeri bulunmuştur (Çiz. 4).

Plaka çapları dikkate alınarak taşıma kapasitesi değerleri incelendiğinde, beklenildiği ve Çizelge 4'de de görüldüğü gibi hemen hemen tüm birimlerde en düşük değerler en yüksek plaka çapında (28.18 cm), en yüksek değerler ise en düşük plaka çapında (10.95) elde edilmiştir. Ortalama taşıma kapasitesi değerlerinin standart sapmalarının yüksek olmasının, en küçük ve en büyük plaka boyutu arasındaki farkın (Çap farkı=17.23 cm) yüksekliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 2. Jeoteknik tanım ve yerinde deney sonuçları

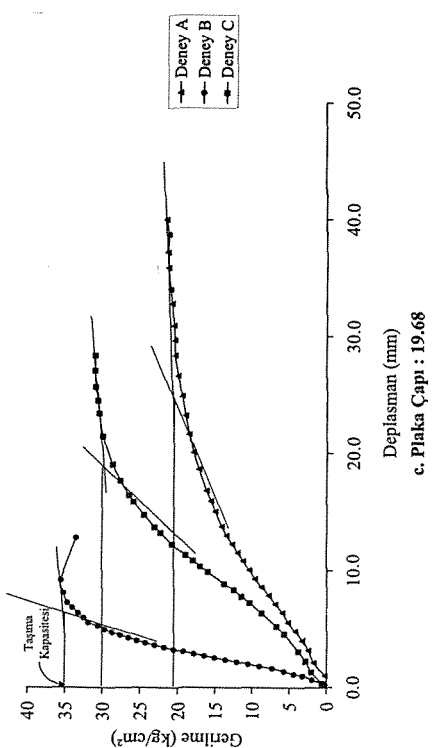
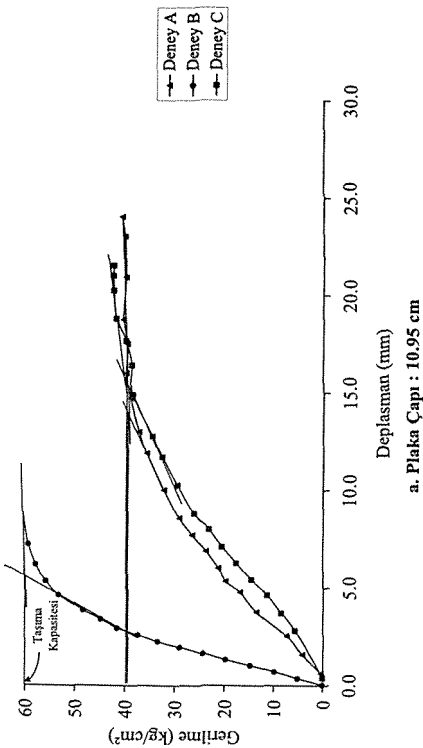
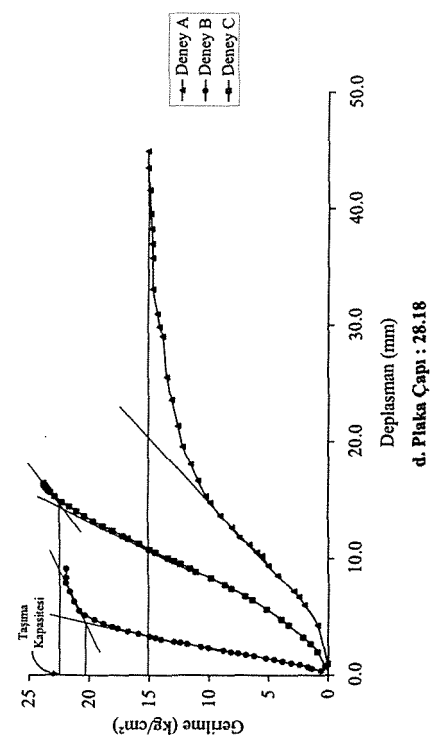
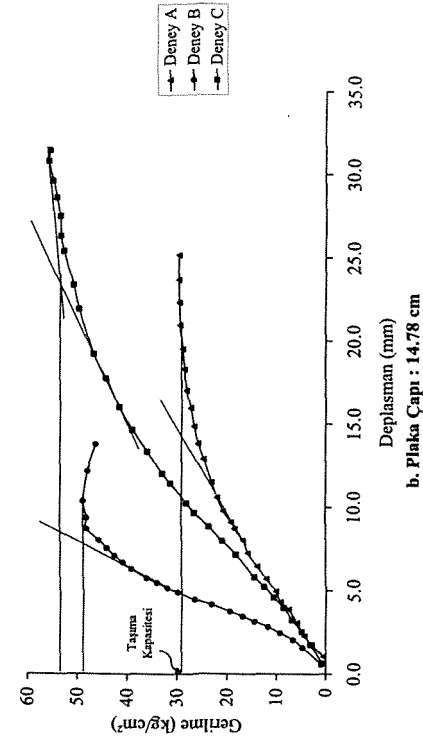
Kaya Birimi (Kod No)	Jeoteknik Tanım	Schmidt Çekici Sertliği	Nokta Yükleme Dayanımı $I_{s(50)}$ (kg/cm^2)
Manyetit (1)	Siyahımsı gri, süreksizlik yüzeylerinde ve üst kısımlarda hafif oksitlenme, üst kısımlar az derecede ayrılmış, alt kısımlar taze, su durumu; kuru, süreksizlik aralığı 2-4 m, devamlılığı 0.6-1 m, 3 eklem seti (K25°B, K15°B, K10°B), düz-basamaklı pürüzlü.	52.50±2.12	70.65±23.42
Siyenit (2)	Gri siyah benekli, süreksizlik yüzeylerinde sarımsı, ayrışma durumu; taze, su durumu; kuru, iki adet eklem takımı, K20°B ve K40°B yönünde, oldukça kırıklı ve çatlaklı, süreksizlik aralığı 0.3-0.5 m, devamlılığı 0.2-1 m, süreksizlik açıklığı 1-3 mm, sert dolgu, düz-düzlemsel pürüzlü.	62.10±3.35	148.55±28.83
Serpantin (3)	Yeşilimsi gri, az derecede ayrılmış, kuru, süreksizlik aralığı 1.5 - 2.5 m, devamlılığı 0.5-1.5 m, düz-basamaklı pürüzlü.	49.90±2.13	50.80±15.91
Kireçtaşı (4)	Açık gri, süreksizlik yüzeylerinde ve yer yer kahverengimsi, az derecede ayrılmış, su durumu; kuru, oldukça kırıklı ve çatlaklı, süreksizlik aralığı 0.5-1.5 m, devamlılığı 1-1.5 m, süreksizlik açıklığı 2-20 mm, dolgu yok, dalgalı pürüzlü.	56.30±2.31	46.71±8.65
Killi Kireçtaşı (5)	Krem, yer yer açık kahverengimsi, orta derecede ayrılmış, nemli, süreksizlik aralığı 0.3-1.5 m, devamlılığı 0.3-0.8 m, süreksizlik açıklığı 1-2 mm, dolgu yok, dalgalı pürüzlü.	35.80±3.19	27.76±10.75
Döküm Sahası (6)	Sıkıştırılmış zemin.	-	-
Jips (7)	Açık gri, eklem yüzeylerinde kahverengimsi, az derecede ayrılmış, aynaya dik olan 1. eklem seti: 60-70°, yatay olan 2. eklem seti: 15° eğimde, ort. ekl. aralığı: 4.4 m, az pürüzlü.	33.60±2.07	19.67±6.47
Toprak (8)	Tümüyle ayrılmış toprak.	-	-

Çizelge 3. Plaka yüklenme deney sonuçları (Toprak, Barit Maden Sölestit Açık İşletmesi).

Plaka Çapı : 10.95 cm									Plaka Çapı : 14.78 cm								
Deney A			Deney B			Deney C			Deney A			Deney B			Deney C		
D.Yük (kg)	Gerilme (kg/cm ²)	Ort.Dep. (mm)	D.Yük (kg)	Gerilme (kg/cm ²)	Ort.Dep. (mm)	D.Yük (kg)	Gerilme (kg/cm ²)	Ort.Dep. (mm)	D.Yük (kg)	Gerilme (kg/cm ²)	Ort.Dep. (mm)	D.Yük (kg)	Gerilme (kg/cm ²)	Ort.Dep. (mm)	D.Yük (kg)	Gerilme (kg/cm ²)	Ort.Dep. (mm)
35.01	0.37	0.63	6.79	0.07	0.04	3.77	0.04	0.41	95.76	0.56	1.05	156.51	0.91	0.57	136.78	0.80	0.65
396.12	4.21	1.59	483.08	5.13	0.38	532.32	5.65	2.82	476.51	2.78	1.75	790.02	4.60	1.57	512.68	2.99	1.76
699.77	7.43	2.55	934.54	9.92	0.72	799.89	8.49	3.72	734.21	4.28	2.26	1126.55	6.57	2.03	822.91	4.80	2.53
1277.56	13.57	3.77	1397.41	14.84	1.04	1075.67	11.42	4.64	998.48	5.82	3.06	1569.69	9.15	2.46	1165.93	6.80	3.23
1596.00	16.95	4.79	1868.41	19.84	1.34	1374.39	14.59	5.46	1292.35	7.53	3.87	2004.70	11.68	2.81	1464.64	8.54	3.97
1868.41	19.84	5.35	2291.91	24.34	1.66	1659.95	17.63	6.28	1577.91	9.20	4.32	2467.57	14.38	3.14	1811.04	10.56	4.60
1994.84	21.18	6.01	2733.49	29.03	1.97	1930.80	20.50	7.12	1748.65	10.19	4.95	2889.43	16.84	3.46	2140.90	12.48	5.23
2237.74	23.76	6.88	3155.35	33.51	2.27	2180.28	23.15	8.01	2065.45	12.04	5.69	3325.99	19.39	3.75	2475.79	14.43	5.81
2495.43	26.50	7.74	3518.01	37.36	2.61	2462.64	26.15	8.85	2362.52	13.77	6.45	3962.88	23.10	4.16	3122.46	18.20	7.16
2743.36	29.13	8.60	3913.64	41.56	2.96	2769.57	29.41	10.27	2712.12	15.81	7.26	4543.96	26.48	4.47	3603.42	21.00	7.98
3032.21	32.20	10.04	4222.22	44.84	3.42	3066.64	32.56	11.75	2879.56	16.78	8.01	5123.30	29.86	4.89	4058.07	23.65	8.84
3360.52	35.69	11.93	4555.38	48.37	3.87	3245.60	34.46	12.79	3168.41	18.47	8.71	5479.47	31.94	5.17	4537.38	26.45	9.66
3506.59	37.24	13.01	5023.18	53.34	4.65	3629.63	38.54	14.92	3270.17	19.06	9.09	5827.52	33.97	5.48	4813.07	28.05	10.26
3669.10	38.96	14.75	5259.59	55.85	5.36	3636.21	38.61	16.43	3552.54	20.71	9.76	6190.27	36.08	5.77	5376.06	31.33	11.46
3734.69	39.66	16.03	5446.68	57.84	6.21	3751.13	39.83	17.70	3767.57	21.96	10.58	6702.37	39.07	6.29	5655.14	32.96	12.04
3721.62	39.52	17.52	5592.75	59.39	7.23	3933.28	41.77	18.82	3961.24	23.09	11.49	6999.45	40.80	6.70	6159.03	35.90	13.35
3797.08	40.32	18.77	5678.16	60.30	8.39	3980.97	42.27	20.27	4232.09	24.67	12.86	7303.09	42.57	7.10	6682.64	38.95	14.65
3756.06	39.89	20.96	5737.17	60.92	9.71	3997.32	42.45	21.03	4407.66	25.69	13.81	7570.66	44.13	7.56	7137.29	41.60	16.03
3774.15	40.08	23.05	5779.92	61.38	11.08	3992.02	42.39	21.55	4555.38	26.55	14.84	7826.71	45.62	8.02	7573.95	44.15	17.73
3828.23	40.65	24.05	5802.85	61.62	12.59				4676.87	27.26	15.97	8256.79	48.13	8.70	8008.86	46.68	19.21
			5763.48	61.20	14.17				4819.65	28.09	17.01	8243.63	48.05	9.35	8514.48	49.63	21.91
			5758.55	61.15	15.69				4877.11	28.43	18.29	8366.77	48.77	10.37	8708.15	50.76	23.37
			5715.89	60.70	18.13				4944.44	28.82	19.51	8232.12	47.98	12.16	9039.75	52.69	25.40
									5031.40	29.33	20.94	7938.34	46.27	13.78	9149.73	53.33	26.34
									5064.29	29.52	22.31				9172.66	53.46	27.53
									5087.22	29.65	23.67				9285.94	54.12	28.66
									5077.35	29.59	25.14				9410.72	54.85	29.67
															9561.72	55.73	30.85
															9517.42	55.47	31.51

Çizelge 3. (Devam)

Plaka Çapı : 19.68 cm									Plaka Çapı : 28.18 cm								
Deney A			Deney B			Deney C			Deney A			Deney B			Deney C		
D.Yük (kg)	Gerilme (kg/cm ²)	Ort.Dep. (mm)	D.Yük (kg)	Gerilme (kg/cm ²)	Ort.Dep. (mm)	D.Yük (kg)	Gerilme (kg/cm ²)	Ort.Dep. (mm)	D.Yük (kg)	Gerilme (kg/cm ²)	Ort.Dep. (mm)	D.Yük (kg)	Gerilme (kg/cm ²)	Ort.Dep. (mm)	D.Yük (kg)	Gerilme (kg/cm ²)	Ort.Dep. (mm)
64.52	0.21	1.03	48.17	0.16	0.29	181.08	0.60	0.37	23.50	0.04	0.99	376.39	0.60	0.38	143.35	0.23	0.76
525.74	1.73	2.13	588.14	1.93	0.67	619.38	2.04	1.34	565.21	0.91	4.28	867.21	1.39	0.58	573.34	0.92	2.01
758.87	2.49	3.17	978.84	3.22	1.00	870.50	2.86	2.25	1274.27	2.04	6.02	1052.65	1.69	0.70	914.80	1.47	2.67
1008.35	3.31	4.02	1335.01	4.39	1.17	1160.99	3.82	3.11	1563.12	2.51	6.69	1500.81	2.41	0.89	1310.35	2.10	3.24
1287.42	4.23	4.82	1735.49	5.71	1.38	1747.00	5.74	4.59	1838.90	2.95	7.24	1952.17	3.13	1.05	2073.58	3.32	4.30
1572.98	5.17	5.56	2218.09	7.29	1.64	2035.85	6.69	5.21	2648.08	4.25	8.55	2403.54	3.85	1.20	2456.06	3.94	4.79
1806.11	5.94	6.40	2735.14	8.99	1.81	2653.01	8.72	6.36	3129.04	5.02	9.38	2835.26	4.55	1.34	3222.58	5.17	5.65
2099.89	6.90	7.12	3201.29	10.52	2.02	3152.06	10.36	7.24	3450.77	5.53	10.24	3270.17	5.24	1.47	3980.97	6.38	6.43
2365.81	7.78	7.87	3675.58	12.08	2.20	3491.79	11.48	7.77	3737.98	5.99	10.52	3887.33	6.23	1.65	4360.07	6.99	6.79
2653.01	8.72	8.57	4140.10	13.61	2.37	3811.88	12.53	8.37	4128.68	6.62	11.19	4309.19	6.91	1.77	5093.79	8.17	7.43
2912.35	9.57	9.29	4584.97	15.07	2.54	4187.78	13.77	8.85	4624.35	7.41	11.79	4714.60	7.56	1.89	5438.46	8.72	7.74
3148.77	10.35	10.03	5005.18	16.45	2.72	4863.96	15.99	9.88	5036.33	8.08	12.65	5102.01	8.18	2.00	6147.61	9.86	8.31
3398.25	11.17	10.82	5438.46	17.88	2.90	5162.76	16.97	10.36	5622.34	9.01	13.66	5504.14	8.83	2.11	6928.83	11.11	8.85
3619.86	11.90	11.53	5861.95	19.27	3.08	5459.83	17.95	10.85	6154.09	9.87	14.77	6270.65	10.05	2.34	7227.64	11.59	9.13
3852.89	12.67	12.26	6249.37	20.54	3.25	5760.19	18.94	11.32	6398.73	10.26	15.35	6661.36	10.68	2.44	7726.59	12.39	9.53
4092.51	13.45	13.00	6643.27	21.84	3.45	6318.25	20.77	12.27	6828.71	10.95	16.66	7370.42	11.82	2.68	8048.33	12.90	9.79
4296.03	14.12	13.75	7025.75	23.10	3.64	6782.76	22.30	13.24	7217.77	11.57	18.08	7728.24	12.39	2.78	8389.70	13.45	10.05
4565.24	15.01	15.04	7406.50	24.35	3.84	7022.47	23.09	13.71	7614.96	12.21	19.56	8056.55	12.92	2.89	9033.17	14.48	10.53
4717.89	15.51	15.94	7751.16	25.48	4.03	7457.38	24.52	14.76	7882.53	12.64	21.34	8731.08	14.00	3.09	9359.84	15.01	10.77
4911.55	16.15	16.82	8090.99	26.60	4.27	7861.15	25.84	15.88	8222.26	13.18	23.60	9023.30	14.47	3.20	9893.23	15.86	11.27
5231.64	17.20	18.65	8422.50	27.69	4.50	8049.97	26.46	16.45	8440.58	13.53	25.55	9317.18	14.94	3.31	10461.15	16.77	11.72
5453.26	17.93	20.09	8736.01	28.72	4.74	8404.50	27.63	17.69	8680.19	13.92	29.05	9903.10	15.88	3.55	10722.14	17.19	11.95
5617.41	18.47	21.64	9033.08	29.70	5.00	8722.95	28.68	19.08	8819.78	14.14	29.87	10457.86	16.77	3.78	11250.69	18.04	12.38
5776.63	18.99	23.23	9315.53	30.62	5.29	9108.72	29.94	21.48	8934.69	14.33	30.98	10986.42	17.62	4.02	11756.22	18.85	12.80
5924.35	19.48	24.90	9701.21	31.89	5.56	9266.30	30.46	23.45	9187.46	14.73	33.10	11258.91	18.05	4.16	12227.31	19.60	13.19
6062.19	19.93	26.65	9885.10	32.50	5.97	9333.53	30.68	24.54	9182.53	14.72	35.78	11723.43	18.80	4.45	12685.25	20.34	13.66
6186.98	20.34	28.39	10119.78	33.27	6.38	9400.85	30.90	25.72	9228.48	14.80	37.00	12187.94	19.54	4.78	13103.82	21.01	14.07
6209.91	20.41	29.69	10359.39	34.06	6.85	9415.65	30.95	27.10	9264.65	14.85	38.28	12698.41	20.36	5.16	13491.23	21.63	14.47
6252.66	20.56	30.95	10564.56	34.73	7.26	9413.55	30.95	28.42	9313.89	14.93	39.57	13008.63	20.86	5.54	13876.91	22.25	14.84
6323.18	20.79	32.85	10727.07	35.26	8.10				9351.62	14.99	41.61	13271.26	21.28	6.32	14262.68	22.87	15.33
6398.73	21.04	34.07	10812.49	35.55	9.18				9418.94	15.10	43.51	13499.45	21.64	7.18	14499.01	23.25	15.69
6485.69	21.32	35.93	10201.81	33.54	12.82				9430.36	15.12	44.96	13678.32	21.93	7.91	14602.41	23.41	15.84
6500.49	21.37	37.25										13657.03	21.90	8.38	14671.38	23.52	15.98
6467.61	21.26	38.78										13642.23	21.87	9.13	14728.84	23.62	16.11
6533.29	21.48	40.05															



Şekil 4. Değişik plaka çaplarında gerilme – deplasman ilişkileri (Toprak, Barit Maden Söleştit Açık İşletmesi)

Çizelge 4. Plaka yükleme deney sonuçları (Gül, 2006).

Kaya Birimi (Kod No)	Taşıma Kapasitesi (kg/cm ²)*				Ortalama Taşıma Kapasitesi (kg/cm ²)
	Plaka Çapı				
	10.95 cm	14.78 cm	19.68 cm	28.18 cm	
Manyetit (1)	94.33	158.64	122.94	66.07	110.49 ± 39.61 (54.16 – 184.48)
Siyenit (2)	154.80	156.87	91.55	60.44	115.92 ± 47.82 (53.62 – 224.13)
Serpantin (3)	133.48	103.06	101.86	52.44	97.71 ± 33.54 (44.03 – 202.29)
Kireçtaşı (4)	185.97	209.15	129.91	68.82	148.46 ± 62.66 (68.36 – 302.67)
Killi Kireçtaşı (5)	170.72	137.60	104.65	64.95	119.48 ± 45.27 (64.05 – 201.92)
Döküm Sahası (6)	197.60	139.33	118.21	67.68	130.71 ± 49.40 (66.38 – 207.40)
Jips (7)	107.51	77.11	43.50	23.92	63.01 ± 36.91 (23.53 – 149.15)
Toprak (8)	46.60	43.83	28.92	20.22	34.89 ± 12.49 (15.10 – 60.30)

* Aynı plaka çapında elde edilen üç değerın ortalamasıdır.

6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, öncelikle taşıma kapasitesi ile ilgili çeşitli teorik ve deneysel çalışmalar incelenmiştir. Yapılan bu güncel ve ayrıntılı literatür araştırması ışığında kaya birimlerinin taşıma kapasitelerinin belirlenmesine yönelik kontrollü bir plaka yükleme deney düzeneği oluşturulmuştur. Daha sonra, bu deney düzeneği kullanılarak, Sivas yöresinde bulunan bazı açık işletmelerde (Barit Maden Sölestit Açık İşletmesi, Divriği Demir Açık İşletmesi ve Kangal Kömür Açık İşletmesi) yeralan 8 değişik birimde (toprak, jips, manyetit, siyenit, serpantin, kireçtaşı, killi kireçtaşı, döküm sahası) toplam 96 adet plaka yükleme deneyi yapılmış ve sonuçları değerlendirilerek birimlerin taşıma kapasiteleri belirlenmiştir (Çiz. 4).

Açık işletmelerde emniyetli, ekonomik ve verimli birim operasyonlar ancak uygun ekipman seçimi sonucunda mümkün olabilmektedir. Bu nedenle, kazı-yükleme makinalarının ve nakliye araçlarının gerek ekonomiklik gerekse emniyetlilik açısından değerlendirilmesinde, kazı-yükleme makinalarının çalışma sahalılarının ve nakliye

araçlarının taşıma yollarının ve döküm sahalılarının zemin taşıma kapasiteleri mutlaka dikkate alınmalıdır. Taşıma kapasitesinin belirlenmesi ile işletmelere alınacak yada mevcut kazı-yükleme makinalarının zemine batma sorunlarının olup olmayacağı ve yine alınacak yada mevcut nakliye araçlarının yapılacak ve/veya yapılmış yollarda çalışıp çalışmayacağı ortaya konulabilir. Plaka yükleme deneylerinde daha büyük plaka çapı kullanımı, birimlerin daha iyi temsil ve karakterize edilmesini sağlayabilecektir ancak bu durumda özellikle açık işletmelerde daha ağır sabitleyici veya bunu sağlayacak düzenek kurulması gerekebileceği dikkate alınmalıdır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmaya maddi destek sağlayan Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı'na ve ocak çalışmaları sırasındaki ilgi ve yardımlarından dolayı Barit Maden Sölestit Açık İşletmesi, Divriği Demir Açık İşletmesi ve Kangal Kömür Açık İşletmesi yetkililerine teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Anonim, 1987. Standart Method for Bearing Capacity of Soil for Static Load and Spread Footings, Vol. 04.08, Annual Book of ASTM Standarts (D. 1194-72), Philadelphia.
- Anonim, 1988a. İnşaat Mühendisliğinde Temel Zemini Özelliklerinin Yerinde Ölçümü, TS 5744/Nisan 1988, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 33 s.
- Anonim, 1988b. Plaka Yükleme Deneyi Normu, Mühendislik Hizmetleri Normları, EİE Norm No : EİE-122, Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara, 17 s.
- Aytekin, M., 2004. Deneysel Zemin Mekanığı, Teknik Yayınevi, Ankara, s. 483-559.
- Capper, P.L., Cassie, W.F., 1984. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekanığı, Çeviri: Kumbasar, V., Kip, F., Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 349 s.
- Ceylanoğlu, A., Gül, Y., 2004. Plaka Yükleme Denei Düzeneginin Oluşturulması ve Denenmesi Çalışmaları, 7. Bölgesel Kaya Mekanığı Sempozyumu, Cumhuriyet Üniversitesi, s. 247-251, Sivas.
- Das, B. M., 1999. Shallow Foundations : Bearing Capacity and Settlement, CRC Pres LLC, Sacramento, California, 116 s.
- El Naqa, A., 2004. A Comparative Review in Regards to Estimating Bearing Capacity in Jointed Rock Masses in Northeast Jordan, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, The Official Journal of the IAEG, 10 p.
- Gökay, K., 1988. Bearing Capacity Analysis of Layered Rock for An Underground Mine Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara, 135 s.
- Gökay, M.K., 2001. Plaka Yükleme Deneyi ve Killi Kireçtaşlarından Elde Edilen Tecrübelerin İncelenmesi, Yerbilimleri Açısından Konya Sempozyumu, Selçuk Üniversitesi, Konya, s. 21.
- Gül, Y., 2006. Bazı Açık İşletmelerdeki Değişik Kaya Birimlerinin Taşıma Kapasitelerinin Araştırılması ve Kayaç Özellikleri ile İlişkilendirilmesi, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, 209 s., Sivas.
- Gül, Y., Ceylanoğlu, A., 2006. Değişik Kaya Birimlerinin Sismik Hızlarının (P-Dalga) Belirlenmesi ve Taşıma Kapasitesi İle İlişkilendirilmesi, VIII. Bölgesel Kaya Mekanığı Sempozyumu, 2-3 Kasım, İstanbul, s. 211-220.
- Harbiyeli, S., 1992. Plaka Yükleme Deneyi ile Laboratuar Deneylerinden Bulunan Emin Taşıma Gücünün Karşılaştırılması Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 99 s.
- Hoek, E., Kaiser, P.K., and Bawden, W.F., 1995. Support of underground Excavations in Hard Rock, Balkema, Rotterdam, 214 p.
- Keçeli, A., 1990. Sismik Yöntemlerle Müsaade Edilebilir Dinamik Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması, Jeofizik Dergisi, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Yayını, Cilt 4, Sayı 2, s. 83-92.
- Keçeli, A., 1995. Sismik Yöntemle Elde Edilen Mühendislik Parametreleri Üzerine, Jeofizik Dergisi, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Yayını, Cilt 9, Sayı 1-2, s. 177-180.
- Keçeli, A., 2000. Sismik Yöntemle Kabul Edilebilir veya Emniyetli Taşıma Kapasitesi Saptanması, Jeofizik Dergisi, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Yayını, Cilt 14, s. 61-72.
- Özudoğru, K., Tan, O., Aksoy, İ.H., 1988. Çözümlü Problemlerle Zemin Mekanığı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 159 s.
- Paşamehmetoğlu, G., Özgenoğlu, A., Karpuz, C., Sarı, D., Sel, İ., 1991. Keles Linyit İşletmesi Şev Stabilitesi Çalışmaları, ODTÜ, Ankara, Nihai Rapor, 77 s.
- Şekercioğlu, E., 2002. Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, 280 s.
- Tunç, A., 2002. Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları, Atlas Yayınları, İstanbul, 906 s.
- Ulusay, R., Sönmez, H., 2002. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 60, s. 215-222.
- Wyllie, D.C., 1992. Foundations on Rock, E&FN Spon, 333 p.

İzmir Metro İnşaatı 2. Aşama Kazısı Verimlilik Değerlendirmesi

Izmir Metro Construction 2nd Phase Excavation Productivity Analysis

M. Kun, C.O. Aksoy, T. Onargan

Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET Planlama, dizayn, inşaat, araç-ekipman seçimi ve sonrasında çok titiz bir işletim süreci isteyen metro hatları ortalama 10000-40000 yolcu/saat kapasiteleri ile güçlü toplu taşımacılık sistemlerdir. Günümüzde, güvenilir ve ekonomik toplu taşıma sistemleri arasında en çok tercih edilen metro sistemleri, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yaygın hale getirilmek istenmektedir. Bu amaçla hazırlanan çalışmada, İzmir’de inşasına devam edilen İzmir Metrosu II. Aşama çalışmalarının madencilik operasyonlarından kazı, tahkimat, ölçüm vb. etaplarının verimlilik değerlendirmeleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafikler ile yorumlanarak hem benzer alandaki araştırmalara katkıda bulunulması hedeflenmiş hemde hali hazırda devam eden İzmir Metrosu II. etap çalışmalarının daha verimli sürdürülmesi amaçlanmıştır.

ABSTRACT Metro lines, which require planning, design, construction, machinery-equipment selection and a rigorous operating procedure afterwards, are strong mass transport systems with capacities of 10000-40000 passengers/hour. Today, metro systems which are commonly preferred among confidential and economical mass transport systems, are becoming widely used in our country as in the world. In this study which is prepared for this purpose, performance analyses of excavation, support, injection and etc. works have been made regarding İzmir Metro 2nd Phase Construction. The obtained results have been interpreted together with the graphs and it was aimed to contribute both to the researches in similar studies and to provide efficiency for the studies in İzmir Metro 2nd Phase Construction.

1 GİRİŞ

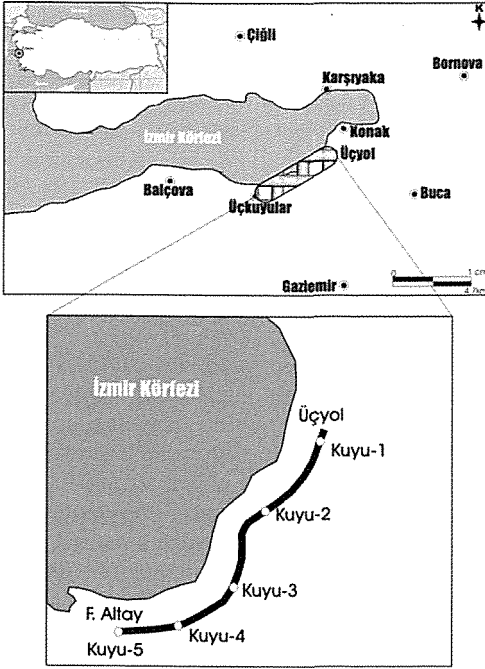
İzmir ilinin şehir içi ulaşımını çağdaş olanaklardan yararlanarak çözüme ulaştırmayı amaçlayan İzmir metro sistemi II. aşama projesi, Fahrettin Altay-Üçyol arasında 5460 m uzunluğunda delme tünel, dört adet kuyu, ve bir adet yaklaşım tüneli olarak tasarlanmış ve İzmir Metrosu I. Aşama sistemi ile entegre olacak şekilde dizayn edilmiştir. Dört adet kuyudan birbirlerine doğru (doğu aynası-batı aynası) yapılan tünel kazılarında Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM) kullanılmaktadır.

Çalışmada NATM yönteminin temel ilkelerinin uygulamadaki performanslarının yanı sıra, tünel içi ölçüm, bulon delgi ve işçi molaları için geçen zamanlarda analiz edilerek, çalışma süreleri hakkında detaylı bir yaklaşım ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2 ÇALIŞMA ALANI VE YAKIN BÖLGE JEOLJİSİ

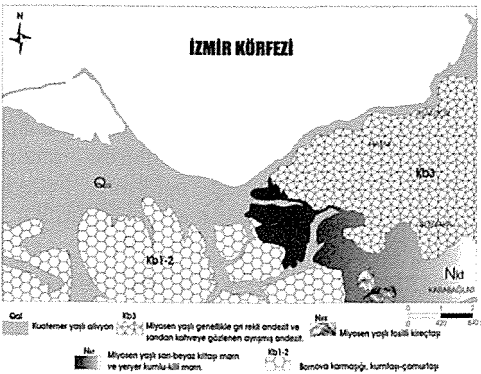
İzmir Metrosu II. Aşama güzergahı, İzmir Körfezinin güneybatısında Üçyol-Fahrettin Altay semtleri arasında kalan kıyı şeridinde yakın bir hatta ilerlemektedir. Şekil 1’de ki

yerbulduru haritasında çalışılan güzergah gösterilmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.

İzmir metro güzergahının Üçyol-F.Altay aralığını oluşturan birimler, Yamanlar volkanitleri ve alüvyon, kısmen Altındağ formasyonu ve Bornova karmaşığından kuruludur. Bu birimler yüzeyde yapay dolgu ile örtülüdür (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanı genel jeolojisi (STFA-SEMALY ortak girişimi düzeltilerek, 2005).

Proje güzergahının sonlarına yakın bölümlerde geniş alanlar kapsayan kuvaterner yaşlı alüvyon, çakıllı killi kum, çakıllı kumlu kil ve kumlu killi çakıl seviyelerinden oluşur. Çakıllı kumlu kil; yeşilimsi kahve renkli-koyu gri, orta katıkatı, orta yüksek plastisiteli olup yer yer organik kökenli seviyeler içerir.

Çakıllı killi kum; yeşilimsi kahve renkli, ince-iri taneli, çok az çakıllı, ortasıkı-sıkı özelliktedir. Kumlu killi çakıl; kil ve kum birimleri ile birbirine girift olarak gözlenen çakıl birimi kahve renkli, killi, kumlu, sıkı-çok sıkıdır.

Güzergahta geniş bir yayılıma sahip miyosen yaşlı Yamanlar volkanikleri genel olarak andezit; gri renkli, ince-orta taneli, az-orta derecede ayrılmış, orta-sık eklemler genellikle açık, pürüzsüz ve kil dolgulu, orta dayanımlı-dayanımlı bir kayadır. Tüf matris içinde boyutları 0.5-30cm arasında değişen andezit çakıl ve blokları içeren aglomera; kahverenkli-kırmızı, az-orta derecede ayrılmış, orta-sık eklemler genellikle açık, pürüzsüz-düzlemsel ve kil dolgulu, zayıf-orta dayanımlıdır. Miyosen yaşlı Altındağ formasyonu kilitli, silttaşı, kumtaşı ve konglomera ardalamasından oluşmuştur. Eş yaşlı olmaları nedeniyle Yamanlar volkanitleri ile düşey-yanal geçişlidir. Altındağ formasyonunu oluşturan birimler orta-çok ayrılmış, orta-sık eklemler ve orta-zayıf dayanımlıdır. Şekil 2' de İzmir Körfezi güneyinin çalışma alanı yakın jeolojisi verilmektedir.

Ayrıca Güzergahın üzerindeki birimler özgül niteliklerine bağlı olarak farklı hidrojeolojik özelliklere sahiptir. Güzergahta yer alan zemin birimleri granüler yapılarına, kaya birimleri ise litolojik özellikleriyle içermiş oldukları çatlak sistemlerinin nicelik ve niteliklerine göre yeraltı suyu dolaşımına izin verirler.

2.1 İncelenen Kuyular ve İçinde Buldukları Jeolojik Birimler

Araştırma kapsamında güzergah üzerinde birbirlerine doğru ilerleyen ve aktif olarak çalışılan dört adet kuyunun tünel

aynalarından hareketle performans zamanları, yapılan işler bazında ayrı alınmış ve değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme yapılırken açılmakta olan tünelin farklı birimlerden geçtiği göz ardı edilemez. Buna bağlı olarak, Çizelge 1’ de incelenen dört ayrı çalışma alanının hakim jeolojik birimleri verilmiştir.

Çizelge 1. Tünel Aynalarındaki hakim jeolojik birimler.

Kuyular	Tünel Aynasındaki Jeolojik Birimler
1	Az-orta ve çok ayrıışmış andezit
2	Az-çok ayrıışmış aglomera, orta-çok ayrıışmış andezit, kumtaşı, silttaşı, silttaşı ar dalanmaları
3	Kumtaşı, silttaşı, silttaşı ar dalanması
5	Yoğun miktarda dolgu (Çakıllı, kumlu), Kilitaşı

3 SAHA VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Çalışma sırasında gerek tünel güzargahı üzerinde belirlenen sondaj noktalarından gerekse bu sondajlardan ve tunnel aynalarından alınan örnekler üzerinde laboratuvar da yapılan test ve analizler sonucunda veriler toplanmış ve bu veriler ilgili noktalarda değerlendirmeye alınmıştır.

3.1 Saha Çalışmaları

Çalışma kapsamında arazide ortalama 20 metre derinliğinde 8 jeoteknik amaçlı sondaj yapılmıştır. Sondaj logları üzerinde zemin grupları, ince-iri malzeme oranları, ayrıışma, dayanım özellikleri değerlendirilmiştir.

Yapılan sondajlar yardımıyla çalışma alanından örnekler alınmış ve bu örnekler laboratuvar da incelemelere tabii tutularak formasyonlar hakkında daha detaylı bilgiler elde edilmiştir.

3.2 Laboratuvar Çalışmaları

Alınan örneklerin doğallıklarının bozulmamasına dikkat edilmiş ve örneklerin laboratuvara taşınması sağlanmıştır.

Sondajların açılması sırasında, kaya başlangıcına kadar sediman ilerleme

yapılmış, kayaya ulaştıktan sonra yaklaşık her 1.5 metrede karot örnekleri alınmış ve örnekler üzerinde mühendislik deneyleri yapılmıştır. Numunelerin laboratuvar da ISRM normlarına göre; Elastisite modülü (E), Poisson Oranı (ν), Kohezyon (c), Su emme (W), İçsel sürtünme açısı (μ), ve doğal birim hacim ağırlığı (γ), değerleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Kayaçların mekanik özellikleri

	Qa	Kb ₁	Kb ₂	Kb ₃	Kb ₄
E	0,09	0,54	0,65	2,61	2,10
ν	0,35	0,3	0,27	0,30	0,30
c (MPa)	0,13	0,18	0,32	4,20	2,40
W (%)	18	16	15	4	6
μ (°)	12	16	19	63	51
γ (kg/m ³)	2000	2630	2680	2780	2720

Qa : Alüvyon

Kb₁ : Sarı-Kahverengi Bornova Karmaşığı

Kb₂ : Gri-Siyah Bornova Karmaşığı

Kb₃ : Andezit

Kb₄ : Yamanlar volkaniti

Ayrıca metro güzergahında karşılaşılabilecek formasyonlardaki kayaçların “Kaya Kütle Sınıflamaları” ve “Kayaç Kaliteleri” incelenmiştir. Bu amaçla kullanılan yöntemler Bieniawski (1989) tarafından RMR-Sınıflama sisteminin modifiye edildiği RMR (Rock Mass Rating) sınıflama sistemi, Barton ve Grimstad tarafından geliştirilen (1994) Q-Sınıflama sistemi olarak sınırlandırılmıştır.

Yapılan analiz ve hesaplamalar sonucunda RMR sisteminde tünel kotunda kazı işleminin yapılacağı kayaç formasyonlarında kaya kaliteleri genelde kuyu1 ve kuyu2 için “orta-zayıf” (52-36), kuyu3 ve kuyu5 içinse “Zayıf-Çok Zayıf” olarak saptanmıştır (12-25).

Barton ve Grimstad (1974, 1994) tarafından geliştirilen Q-Kaya Kütle Kalite Sınıflama Sistemi’ne göre yapılan analizlerde Q kalite değerleri kuyu3 ve kuyu5 aynaları için 0,088 ile 0,0044 arasında değiştiği kuyu1 ve kuyu2 aynaları içinse değerler 0,0044 ile 4,16 arasında olduğu belirlenmiştir.

4 VERİMLİLİK ANALİZİ

İzmir metro sistemi II. aşama kazısında yukarıda belirtilen kuyulardan ve içinde buldukları jeolojik yapıdan hareketle, yapılan kazı ve diğer madencilik faaliyetleri için kullanılan makina ekipman parkı çizelge 3 de verilmektedir. Tünel kazısında çizelge 3'de de görüldüğü gibi kazı işlemleri ekskavatörler tarafından yapılmaktadır. Kazıda kuyu1(K-1) aynasında de 30 tonluk ekskavatör, kuyu 2-3 ve 5 (K-2-3-5) aynalarında 20 tonluk ekskavatörler kullanılmıştır. İncelen kuyuların çapları 30m. olup yükseklikleri 20-25 m. arasında değişmektedir.

Çizelge 3. Kuyulara ait makina ekipman listesi.

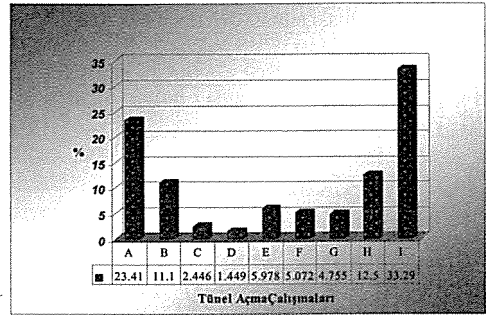
	K-1	K-2	K-3	K-5
Portal vinç	x	x	x	x
Ekskavatör	x	x	x	x
Yükleyici	x	x	x	x
Jumbo	x	x		x
Transmikser	x		x	x
Bulon enjeksiyon pompası	x	x	x	x
Kuru beton püskürtme mak.	x	x	x	x
Laser işaretleyici	x	x	--	--
Drenaj pompası	x	x	x	x
Komprasör	x	x	x	x
Trafo	x	x	x	x
Havalandırma Fanı	x	x	x	x
Kaynak Mak.	x	x	x	x
Kırıcı/Delici tabanca takımı	x	x	x	x

Çizelge 3'de verilen, tünel kazı, tahkimat, ölçüm, vb. diğer uygulamalarda kullanılan makina ve ekipmanların, performanslarının değerlendirmeleri için üretim yapılan kuyularda yaklaşık iki aylık süre içerisinde (59 gün) veriler toplanmış ve ilgili veriler Çizelge 4' gösterilmiştir.

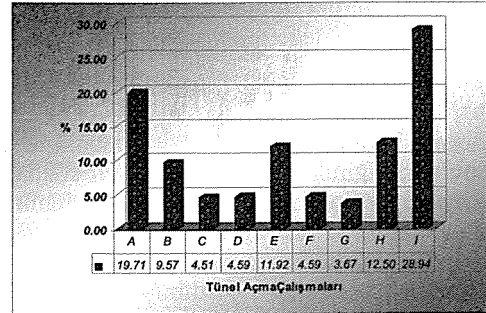
Çizelge 4'deki veriler doğrultusunda her kuyu için çalışma zamanlarının, toplam çalışma süresi içerisindeki yüzdeleri hesaplanmıştır. Elde edilen verilerin yüzdesel dağılımları grafikler halinde Şekil 3-6 arasında verilmiştir.

Çizelge 4. Toplam çalışma süreleri (saat).

	K-1	K-2	K-3	K-5
(A)Kazı	258,5	255,5	243	286,5
(B)Pasa	122,5	124	108	122,5
(C)Tahkimat	27	58,5	51,5	52
(D)Ölçüm	16	59,5	48	35
(E)Püskt. Beton	66	154,5	153	174,5
(F)Beton Delgi	56	59,5	20	55
(G)Enjek.Bulon	52,5	47,5	56,5	50
(H)Mola	138	162	120	234
(I) Arıza/Bekleme	367,5	375	160	386,5
Toplam	1104	1296	960	1396

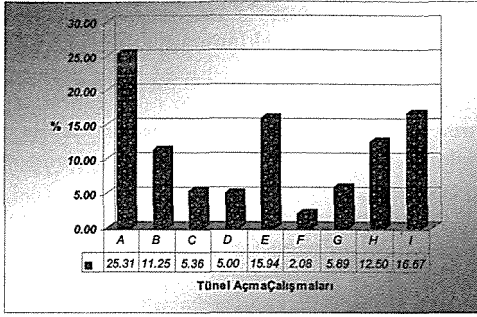


Şekil 3.Kuyu1 aynaları çalışma süreleri (%).

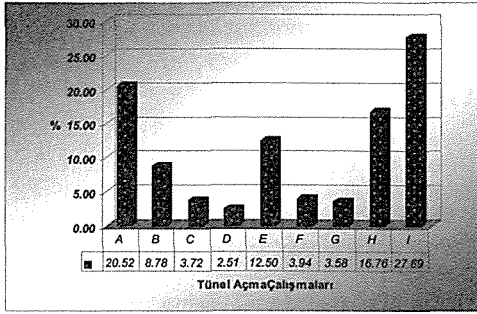


Şekil 4.Kuyu2 aynaları çalışma süreleri (%).

Yapılan çalışmada bekleme süresinin toplam sürenin %26,64'ne denk gelmesinin en büyük nedeni tünel aynalarında kullanılan makina-ekipmanın çok sık arıza yapmasıdır.



Şekil 5.Kuyu3 aynaları çalışma süreleri (%).



Şekil 6.Kuyu5 aynaları çalışma süreleri (%)

Makinaların çalışır vaziyette olduğu spesifik periyotlarda kazıcı olarak kullanılan darbeli kırıcıların % 20-25 gibi bir oranda kullanıldığı belirlenmiştir. Belirlenen bu sürenin “arıza ve bekleme süresi” göz ardı edildiğinde %30-32 lere ulaştığı görülmektedir.

Yukarda elde edilen değerler farklı metro tünellerindeki bulgular ile karşılaştırıldığında benzer sonuçlarla karşılaşılmıştır. Bilgin vd'nin (2002), İstanbul Metrosunu ele aldığı çalışmada hidrolik kırıcının çalışma süresinin tüm çalışma süresin içindeki payı %24, bulonlama işleminin %5-9 ve püskürtme beton işleminde yaklaşık %20 ler civarında olduğu saptanmıştır. Tamir-bakım ve bekleme süreleri ise çalışma süresinin % 6-7 sidir. Benzer bir çalışma olan kazı işleminin roadheaderlar ile yapıldığı Bilgin vd'nin (1997) hazırladığı çalışmada kazı işleminin tüm çalışma zamanı içerisindeki payının %22, delgi işleminin ise %5-6 olduğu saptanmıştır. Burada tamir-bakım süresi %5-

9 olarak belirtilmektedir. Yine kazı işleminin TBM ile yapıldığı Bilgin vd'nin (2006) hazırladığı çalışmada, bu oranlar kazı işlemleri için % 34 ve mola zamanları için yaklaşık %25, bekleme ve tamir bakım süresi toplam çalışma süresinin yaklaşık %5'ini oluşturmaktadır.

Kazı operasyonlarında kullanılan darbeli kırıcıların teorik saatlik kazı kapasitelerini belirlemede Bilgin vd.(1997)'de verilen bağıntılar göz önüne alınmıştır. Bu bağıntılar;

$$IBR = 4,24P(RMCI)^{-0,576}$$

$$RMCI = \sigma_c (RQD / 100)^{\frac{2}{3}}$$

olarak verilmektedir. Burada ;

IBR :Anlık kırılma oranı (m³/s)

RMCI :Kaya kütlelerinin kesilebilirlik indeksi (Mpa)

P :Hidrolik kırıcının gücü (HP)

σ_c :Kayanın Tek Eksenli Basınç Dayanımı (Mpa)

RQD :Kaya Kalite Göstergesi (%)

Kuyul ve kuyu2 aynaları için bu değer teorik hesaplamada 17,66 m³/s bulunurken, sahada yapılan gözlem ve çalışmalarda bu değer 12-21 m³/s olarak gerçekleştiği belirlenmiştir. Daha zayıf formasyonlarda açılan kuyu3 ve kuyu5 deki tünel aynalarında kırıcı performansının değerlendirilmesinde ise, Bilgin, Dinçer ve Çapur (2002)' un Schmith çekici ile ilgili çalışmasından yararlanılmıştır. Bu çalışmadan RQD<%25 için verilen grafikten faydalanılarak kaya kütlelerinin anlık kırılma oranı 28-30 m³/s olacağı tahmin edilmiştir. Sahada yapılan gözlemlerde ise 20 tonluk darbeli kırıcı kullanıldığında bu değer 20-22 m³/s ve 25 tonluk bir kırıcı kullanıldığında ise 25-27 m³/s olduğu belirlenmiştir. Çizelge 5'de hesaplanan ve teorik değerler birlikte verilmektedir.

Çizelge 5. Tünel aynalarında karşılaşılan teorik ve hesaplanmış kırıcı performansları.

	Hesaplanan IBR (m ³ /saat)	Sahadan elde edilen IBR (m ³ /saat)
Kuyul / Kuyu2 Aynaları	17,66	12-21
Kuyu3 / Kuyu5 Aynaları	28-30	20-22

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

İzmir'in şehir içi ulaşımını çağdaş olanaklardan yararlanarak çözüme ulaştırmayı amaçlayan İzmir metro sistemi II. aşama projesinin, kuyular düzeyinde çalışma saatleri baz alınarak hazırlanan araştırmada tünellerde yapılan madencilik çalışmalarında en büyük problemin arızalar olduğu ve arızaların uzun sürelerde giderilebildiği tespit edilmiştir.

Genel olarak proje bütünü ile ele alındığında, bekleme süresinin yaklaşık %27 lere olması (bekleme ve tamir bakım için belirlenen bu değer incelenen benzer çalışmalarda toplam çalışma zamanının yaklaşık olarak %7 si olarak belirlendiği görülmektedir.) hem verimlilik değerlendirmesindeki diğer parametrelerin etkinliğini azaltmakta hemde birim operasyon maliyetlerinde ekonomiklik açısından dezavantaj oluşturmaktadır. Benzer çalışmalarla örtüşen zaman-ış süreleri; kazı zamanı, bulonlama süresi, beton delgi süreleri ve mola zamanları olarak belirlenmiştir. Buna karşılık bekleme süresindeki bu denli fazlalık, kullanılan makina ekipmanın sık sık arıza yapması ve eski makina ekipman seçiminden kaynaklanmaktadır.

Yapılan analiz ve değerlendirmeler tünel kotunda kazı işleminin yapılacağı kayaç formasyonlarının kaya kalitelerinin Yamanlar volkanitleri dışında genelde "Zayıf-Çok Zayıf" ile "orta-zayıf" olduğunu ortaya koymuştur. Bu tip kaya kütlelerinde yapılan kazı ve desteklemeye yönelik işlemler genel itibarı ile teorik değerler ile uyum içerisinde olmasına rağmen, çalışma sahasında sık arıza olması ve arızaların uzun sürelerde giderilebilmesi projenin performans değerlerinin düşük çıkmasının en büyük etkenidir. Bu nedenle %27 ler civarında olan bekleme süresinin aşağıya çekilmesi gerekmektedir.

Kazıda kullanılan darbeli kırıcıların teorik ve gözleme dayalı olarak yapılan performans analizlerinde, kuyu1 ve kuyu2 tünel aynaları için elde edilen veriler ile kuyu3 ve kuyu5 tünel aynaları için elde edilen verilerin, aynı tip kırıcı kullanılmasına rağmen (kuyu 2-3-5 tünel aynalarında, 20 tonluk darbeli kırıcı)

farklı oluşlarının nedeni tamamen formasyondan kaynaklanmaktadır. 1 ve 2 nolu kuyu aynaları andezit yoğunluklu birimlerde açılırken 3 ve 5 genellikle kumtaşı, silttaşı, kiltası ve silttaşı ardalanması gözlenen birimlerde açılmaktadır.

Ayrıca açılmakta olan tünellerin, sığ tünel olarak isimlendirilen ve yerleşim alanları ve yerüstü tesislerinin bulunduğu lokasyonlardan geçtiği göz önünde bulundurularak, yeraltı jeolojik ve jeoteknik koşulların çok iyi değerlendirilerek kazı ve tahkimat işlemlerinin zamanında programlanması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Barton, N, Grimstad, E.,1994.Rock Mass Conditions Dictate the Choice Between NMT and NATM, *Tunnels &Tunnelling*, Oct. 1994, Vol. 26, 39-42.
- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classification", *Mc Graw Hill*, 237 p., New York-U.S.A.
- Bilgin, N, Feridunoğlu, C, Tumac, D, Çınar, M, Palakçı, Y, Gündüz, O, Ozyol, L, 2006, The performans of a full face tunnel boring machine (TBM) in Tarabya (Istanbul), *Tunnels & Tunnelling International*, Feb 2006,17-19
- Bilgin, N, Dinçer, T., Çapur, H. 2002. The performans prediction of impact hammer from Schmith Hammer rebound values in İstanbul Metro Tunnel drivages, *Tunneling and Underground Space Technology*, 237-247
- Bilgin, N, Kuzu, C, Eskikaya, Ş, 1997. Cutting performance of rock hammers and roadheaders in İstanbul Metro drivages, Proceedings, World Tunnel Congress, Tunnel for people, *Balkema*, 455-460
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981.Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods, Pergamon Press, E.T. Brown (ed), 211 p., Portekiz.
- STFA-SEMELY Ortak Girişimi, 2005, İzmir Büyükşehir Belediye Başkanlığı İzmir Hafif Raylı Sistemi 2. Aşama İnşaatı Projesi , İzmir.

YAZAR DİZİNİ

Akçakoca, H. 269
Akdaş, H. 39
Aksoy, C.O. 327
Aldaş, G.G.U. 161
Alp, İ. 171
Arpaz, E. 105
Aydiner, K. 127, 171
Atıcı, Ü. 113

Başarır, H. 303
Bayram, F. 135, 145
Bilim, N. 235
Bilir, E. 49
Bostancı, A. 281

Cengizler, H. 81
Ceylanoğlu, A. 315
Cöcen, İ. 81

Çelik, R. 39
Çicek, T. 81

Doğan, T. 295

Ecevitoglu, B. 161
Engin, V.T. 81
Erarslan, K. 269
Erdoğan, E. 281
Erdoğan, Y. 259
Ersoy, A. 113

Geniş, M. 49
Gerçek, H. 204
Gitmez, A. 61
Gönen, A. 93
Gül, Y. 315
Güralp, N. 61

Hacıfazlıoğlu, H. 73

Kadioğlu, S. 153
Kadioğlu, Y.K. 153
Kanbir, E.S. 135, 145
Karakurt, İ. 127
Karakuş, D. 93
Kaymakçı, E. 295
Kekeç, N. 145
Keskin, M.Ö. 245
Kılıç, A.M. 245

Koçan, N. 187
Konak, G. 93
Korkmaz, T. 281
Köse, H. 93
Kun, M. 327

Ocak, İ. 225
Onargan, T. 327
Onur, A.H. 93

Özarslan, A. 49
Özçelik, Y. 135, 145
Özfırat, M.K. 33
Özkan, İ. 49, 235
Özkan, S. 259

Saraç, M.S. 179
Sarı, M. 197

Şen, S. 81
Şile, S. 135
Şimşir, F. 33

Topal, İ. 105, 269
Topay, M. 187
Toroğlu, İ. 73

Uysal, Ö. 105
Uzuner, C. 269

Ünlü, A.Ö. 105

Vicil, M. 171

Yapıcı, N. 259
Yaralı O. 217
Yaşar, E. 259
Yaşitli, N.E. 135, 145
Yıldırım, Ö.S. 179
Yılmaz, A.O. 171
Yılmazkaya, E. 135, 145
Yüce, A.E. 295
Yünsel, T.Y. 113