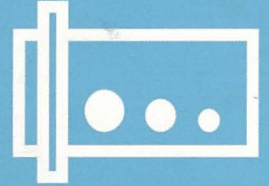


3. MADEN MAKİNALARI SEMPOZYUMU BİLDİRİLER KİTABI PROCEEDINGS OF THE 3RD MINING MACHINERY SYMPOSIUM

05-06 MAYIS/MAY 2011 / İZMİR-TURKEY



Siklon

Hidrosiklon

Editörler / Edited by

Prof. Dr. Halil KÖSE - Dr. Alper GÖNEN



TMMOB
Maden Mühendisleri Odası

3. MADEN MAKİNALARI SEMPOZYUMU BİLDİRİLER KİTABI

PROCEEDINGS OF THE 3rd MINING MACHINERY
SYMPOSIUM

05-06 MAYIS/MAY 2011
İZMİR, Türkiye/TURKEY

Editörler / Edited by
Prof.Dr. Halil KÖSE ve Dr. Alper GÖNEN



TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI



TÜBİTAK

Bu sempozyum TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Ararştırma Kurumu) tarafından desteklenmiştir.

3. Maden Makinaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı
Proceedings of the 3rd Mining Machinery Symposium
05-06 Mayıs / May 2011 İzmir, Türkiye / Turkey

© Tüm hakları saklıdır.

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

ISBN : 978-605-01-0099-0

Baskı : Korza Matbaacılık, Tel: 0312- 342 22 08, Fax: 0312- 341 14 27

İsteme Adresi : TMMOB Maden Mühendisleri Odası
Selanik Caddesi 19/4 •Kızılay/ANKARA

Tel : 0312- 425 10 80, Fax: 0312- 417 52 90

İnternet Adresi : www.maden.org.tr

E-Posta : maden@maden.org.tr

SUNUŞ

Ülkemizin kaynakları, küresel güçlerin baskısından bağımsız bir şekilde değerlendirildiğinde, Türkiye küresel rekabette yer alabilecek potansiyele sahiptir. Bilimi ve teknolojiyi esas alan, AR-GE ve yenilenmeye ağırlık veren, dış girdilere bağımlı olmayan, istihdam odaklı ve planlı bir kalkınmayı öngören sanayileşme politikaları uygulandığında durum ülkemiz lehine değişecektir. Böylece sanayi yatırımlarında daha rasyonel seçimler yapılabilecek, ülkenin doğal kaynakları daha iyi değerlendirilebilecek, emek ve kaynak yoğun üretimden ileri/yüksek teknoloji yoğunluğu olan bir üretim ve sanayi yapısına ulaşılabilecektir. Bu bağlamda ulusal bilim ve teknoloji politikaları oluşturulmalı, madencilik sektörü bu politikalar içerisinde yerini almalıdır.

Ülkemizde maden makineleri sektör oluşumuna yönelik çalışmalar kararlı bir gelişme çizgisi göstermemektedir. Ulusal bir politikanın eksikliği, üretim ve yatırım yerine rantı esas alan ekonomi politikaları, kullanılmış makinelerin ülkeye girişinin teşviki, sektörün yönlendirilmesinde ve teşvik edilmesindeki yetersizlik, araştırma ve geliştirme faaliyetlerine yeterince pay ayrılmaması, madencilikle ilgili kamu kurumlarının parçalanması, işlevsizleştirilmesi, özelleştirme politikalarıyla bu alandaki kamu yatırımlarının azaltılması ve gerekli yatırımların öngörülmemesi yerli kaynaklarımızı değerlendirmek yerine ithalata yönelmesi sektörün gelişmemesinin ve teknoloji düzeyini artıramamasının en önemli nedenleridir.

Sanayi içinde katma değeri yüksek, rekabet yeteneği olan bir makina imalat sektörü pek çok sektöre “girdi” olan ürünleri verdiğinden ve geniş bir yan sanayi ile çalıştığından dışa bağımlılığı da azaltmaktadır. Ülkemiz için bu konu özellikle önemlidir. Gelişmiş bir makina imalat sanayi, daha az dışa bağımlılık, daha az döviz harcaması ve daha az açık veren bir dış ticaret dengesi demektir.

Bütün bu nedenlerle söz konusu sektör, tüm gelişmiş ülkelerde birinci sırada ele alınmakta ve sektörün geliştirilip korunması bir devlet politikası olarak benimsenmektedir. Özellikle küresel krizle birlikte başta ABD, İngiltere, Fransa ve Almanya olmak üzere küresel ekonomiyi ellerinde tutan güçler bu politikalarını ön plana çıkarmışlar, yerli sanayiye koruyucu ve iç pazarı geliştirici kamusal önlem ve teşvikleri artırmışlardır.

Esasen, ülkemizin içerisinde bulunduğu ekonomik ve sosyal sıkıntıların aşılması, sanayimizdeki fason yapının kırılması, ithalata bağımlı, düşük teknolojiyi üretim sisteminin aşılması için başkaca bir seçeneğimiz de bulunmamaktadır.

Ülkemizde özellikle yeraltı madenciliğinde teknoloji kullanımı istenilen düzeyin çok altındadır. Madencilik potansiyeli ve ekonomik göstergeleri bizden çok daha geride olan ülkeler bile gerek yeraltı gerekse yerüstünde kullandıkları makinelerin büyük bölümünü kendileri üretirken, ülkemizde bu alanlarda kullanılan makinelerin büyük çoğunluğunun hala ithal ediliyor olması düşündürücüdür. Bu amaçlar doğrultusunda üretim yapacak yerli üreticiler teşvik edilmelidir.

Maden makinaları üretimi teşvik edilerek dışa bağımlılık ortadan kaldırılmalıdır. Ülkemizde yerli akredite kuruluş olmaması nedeniyle yeni direktiflere göre elektriksiz cihazlarda ve plastik materyallerde de aranan başta alev sızdırmazlık ve ATEX belgeleri olmak üzere sektörün belge gereksinimi yurtdışından sağlanmaktadır. Bu nedenle, yerli akredite belgelendirme kuruluşları oluşturulmalıdır. Sektörde yeni teknolojilerin kullanımı ve teknik eleman istihdamının artırılması verimliliği artıracaktır. Maden makinalarını kullanacak ara eleman eğitimi için sektörün ihtiyaçlarını karşılayacak gerekli altyapı çalışmaları yapılmalıdır.

Birincisi Kütahya’da düzenlenen bu sempozyumun ikincisi 160 yıllık kömür madenciliği geçmişine sahip, çeşitli maden makinaları ile teçhizatının üretilmesi ve geliştirilmesinde öncülük etmiş olan Zonguldak’ta düzenlenmiştir. Odamızca üçüncüsü düzenlenen Sempozyumun mevcut sorunların çözümüne, ülkemize ve sektörümüze katkı koyacağına inanıyoruz. Bu düşüncelerle sempozyumu destekleyen kamu ve özel tüm madencilik kuruluşlarımıza, bildiri sunarak katkı koyanlara, bizzat katılarak bizleri onurlandıranlara ve emeği geçen herkese teşekkür ederiz.

YÖNETİM KURULU

GENEL MERKEZ YÖNETİM KURULU:

MEHMET TORUNYÖNETİM KURULU BAŞKANI
NİYAZİ KARADENİZYÖNETİM KURULU II. BAŞKANI
NAHİT ARI.....GENEL SEKRETER
İBRAHİM YILMAZOĞLUSAYMAN
CEMALETTİN SAĞTEKİNÜYE
NECMİ ERGİN.....ÜYE
H. CAN DOĞANÜYE

İZMİR ŞUBE YÖNETİM KURULU:

MUHAMMET YILDIZ.....BAŞKAN
AYKUT AKDEMİRII. BAŞKAN
DOĞAN KARAKUŞYAZMAN
MEHMET SEZÂİ TİMURSAYMAN
CEMİL SEÇKİNÜYE
CEREN ŞAHİNÜYE
ONUR DEMİRÜYE

ÖNSÖZ

TMMOB Maden Mühendisleri Odası İzmir Şubesi tarafından düzenlenen Maden Makineleri sempozyumunun üçüncüsünü 5-6 Mayıs 2011 tarihleri arasında İzmir’de gerçekleştireyoruz.

Ülkemiz madencilik sektöründe kullanılan makine ve ekipmanların uygulama olanaklarının araştırılacağı, sorunların ortaya konacağı ve çözüm önerilerinin tartışılacağı 28 adet tebliğ sempozyum süresince katılımcılara sunulacaktır.

3. Maden Makinaları Sempozyumu ve Madencilik, Doğal Kaynaklar ve Teknolojileri Fuarının (MINEX 2011) gerçekleştirilmesinde ve bildiriler kitabının basımında maddi ve manevi destek veren tüm kişi ve kuruluşlara, Sempozyum Yürütme ve Bilimsel Kurul Üyelerine, Oturum Başkanlarına ve bildiri Yazarlarına katkılarından dolayı teşekkür eder, Sempozyumun ülkemiz madencilik sektörüne yararlı olmasını dileriz.

Prof.Dr. Halil KÖSE
Sempozyum Yürütme Kurulu Başkanı

YÜRÜTME ve DÜZENLEME KURULU

Yürütme Kurulu Başkanı

: Prof. Dr. Halil KÖSE

Yürütme Kurulu Başkan Yardımcısı

: Prof. Dr. Vedat ARSLAN

Üyeler

: Nahit ARI

İbrahim YILMAZOĞLU

Aykut AKDEMİR

Onur DEMİR

Türkan ERDOĞAN

Alper GÖNEN

Tahir MALLI

Vehbi ÖZACAR

Bekir Sami SEZGİN

Sezai TİMUR

Halit YAVAŞ

BİLİMSEL KURUL

Prof. Dr. Raşit ALTINDAĞ

Süleyman Demirel Üniversitesi

Prof. Dr. Mesut ANIL

Çukurova Üniversitesi

Prof. Dr. Ali İhsan AROL

Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Turan BATAR

Dokuz Eylül Üniversitesi

Prof. Dr. Nuh BİLGİN

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Volkan BOZKURT

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Prof. Dr. Yalçın ÇEBİ

Dokuz Eylül Üniversitesi

Prof. Dr. Yaşar ÇİLİNGİR

Dokuz Eylül Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet DEMİRCİ

Cumhuriyet Üniversitesi

Prof. Dr. Hasan GERÇEK

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ

Süleyman Demirel Üniversitesi

Prof. Dr. Ayhan KESİMAL

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. M. Yalçın KOCA

Dokuz Eylül Üniversitesi

Prof. Dr. Uğur KÖKTÜRK

Dokuz Eylül Üniversitesi

Prof. Dr. Yedigörmüş MÜFTÜOĞLU

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet Hakan ONUR

Dokuz Eylül Üniversitesi

Prof. Dr. Şafak Gökhan ÖZKAN

İstanbul Üniversitesi

Prof. Dr. İhsan TOROĞLU

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Prof. Dr. Ercüment YALÇIN

Dokuz Eylül Üniversitesi

Doç. Dr. Hürriyet AKDAŞ

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Doç. Dr. Tayfun ÇİÇEK

Dokuz Eylül Üniversitesi

Doç. Dr. Zeki KARACA

Niğde Üniversitesi

Doç. Dr. Gürkan KONAK

Dokuz Eylül Üniversitesi

Doç. Dr. İhsan ÖZKAN

Selçuk Üniversitesi

Doç. Dr. Çağatay PAMUKÇU

Dokuz Eylül Üniversitesi

Doç. Dr. Şeyda TOPALOĞLU

Dokuz Eylül Üniversitesi

Doç. Dr. Suphi URAL

Çukurova Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ceyhan ARAZ

Celal Bayar Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. A. H. DELİORMANLI

Dokuz Eylül Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Bayram KAHRAMAN

Dokuz Eylül Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ömer Lütfü SÜL

Cumhuriyet Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Hayati YENİCE

Dokuz Eylül Üniversitesi

Dr. Mete KUN

Dokuz Eylül Üniversitesi

Dr. Kerim KÜÇÜK

Dokuz Eylül Üniversitesi

İÇİNDEKİLER

Sürekli Yüzey Kazıcıların Seçim Kriterleri, Yenice-Sivas Barit Madeni <i>Selection Criteria of Surface Continuous Miners, an Application to the Yenice-Sivas Barite</i> Nuh BİLGİN, Hanifi ÇOPUR, Cemal BALCI, Deniz TUMAÇ ve Dündar ERGUNALP	1
Gli Tunçbilek Maden İşletmesi F/C Panosunda Çalışan P&H 1900AL Ve 2300XP Model Elektrikli Yerkazarların Bakım-Onarım Ve Üretkenlik Göstergeleri <i>Maintenance-Repair Effectiveness and Productivity Indicators of Electrical P&H 1900AL And 2300XP Model Excavators Operating at F/C Panel Of Gli Tuncbilek Mining Operation</i> Metin ÖZDOĞAN ve Mehmet TAKSUK	11
Açık Ocak Madencilğinde Makina-Ekipman Performansının İşletme Maliyetine Etkisi <i>The Effect of Machine-Equipment Performance to Unit Operating Cost in Open Pit Mining</i> Tahir MALLI, Halil KÖSE ve Alper GÖNEN	23
Mobile Metal Ion Soil Geochemistry <i>Gezici Metal İyonu Zemin Jeokimyası</i> Alan MANN ve Pierrette PRINCE	33
Delme Parametreleri ve Madencilikteki Uygulamaları <i>Drill Parameters and Its Applications in Mining</i> Yadigar V. MÜFTÜOĞLU Tuğrul ÜNLÜ ve Özgür YILMAZ	41
Zincirli Kesme Makinelerinin Performans Tahmini İçin Görgül Bir Model <i>An Empirical Model for Predicting Performance of Chain Saw Machines</i> Hanifi ÇOPUR, Cemal BALCI, Nuh BİLGİN, Deniz TUMAÇ, Emre AVUNDUK, Şuayp DEMİREL ve Akif ŞİMŞEK	55
Ekipman Seçiminde Farklı Çok Nitelikli Karar Verme Yöntemlerinin Kullanımı ve Değerlendirilmesi <i>Different Multi Attribute Decision Making Methods Usage and Evaluation in Equipment Selection</i> Mahmut YAVUZ	67
Jeotermal Araştırmalarda Sondaj Teknolojisinin Seçimi ve Sektörün Gelişimi <i>Choice of Drilling Technology and Sector Development in Geothermal Explorations</i> Bülent TOKA	87

Elmas Soketli Bir Dairesel Testerenin Oluşturduğu Gürültünün Çalışma Parametreleri ve Taş Özellikleri Açısından Değerlendirilmesi <i>Evaluation of Noise Causing of A Circular Cutting Saw With Diamond Socket In Terms of Working Parameters and Natural Stone Properties</i> Nurdan GÜNEŞ YILMAZ ve R.Mete GÖKTAN	95
Soma Eynez Havzasında Mekanize Ayak Uygulamaları, Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Çalışmaları <i>Mechanized Longwall Applications, Encountered Problems and Suggested Solutions in Soma Eynez Coal Field</i> Efkan KURT	107
Yüksek Hızlı Demiryolu İnşaatı Tünellerinde Kullanılan Jumboların Performans Analizleri <i>Performance Analysis of Jumbo Drills Used in High Speed Railway Constraction Tunnels</i> İsmail TOPAL, Birol ELEVLİ ve Kenan OĞUL	117
Açık İşletmelerde Dekapaj Kamyonlarına Ait Duruş Sürelerinin Zaman Serisi Analizi <i>Time Series Analysis of Off-Highway Truck Downtimes in Surface Mining</i> Ece KEPEKÇİ ve Hürriyet AKDAŞ	127
Mekanik ve Modifiye Edilmiş Flotasyon Hücrelerinde Hidrodinamik Parametrelerin Etkileri <i>Effects of Hydrodynamic Parameters in Mechanic and Modified Flotation Cells</i> İsmail BENTLİ ve Muammer KAYA	139
Bantlı Konveyörlerin Emniyetli ve Daha Verimli İletimi <i>Safer and More Productive Belt Conveyor Operations</i> Michael TENZER, İlker TAN ve Oğuzhan CEMOĞLU	153
Türkiye’de Kömür ve Doğaltaş Üretiminde Kullanılan Bazı Kazı Makinelerinin Performanslarının İncelenmesi <i>Performance Evaluation of Mechanical Excavators Employed in Turkish Coal and Dimension Stone İndustry</i> Osman Zeki HEKİMOĞLU	161
Çayırhan Yeraltı Linyit İşletmesi G Sahasında Hazırlık Çalışmalarının Değerlendirmesi <i>Evaluation of Development Works at G Field in Çayırhan Underground Coal Mine</i> Ergin KAHRAMAN ve Oktay ERARSLAN	171
Çeşitli Magmatik Kayaçlarda Uç Aşınma İndeksleri İle Kayaç Özellikleri Arasındaki Bağlıntılar <i>Correlations Between Bit Wear Index and Rock Properties of Different Magmatic Rocks</i> M. Kemal ÖZFIRAT ve Hayati YENİCE	185

İş Makinası Lastikleri Uygun Lastik Seçimi, Doğru Kullanımı ve Değerlendirilmesi <i>Selection of Off The Road Tires, Correct Usage and Evaluation</i> Şebnem SALGUR	197
Darbeli Kırıcı Seçimi İçin Geliştirilen Yeni Bir Laboratuar Cihazının Tanıtımı <i>Presentation of a New Laboratory Testing Equipment, Which is Developed for The Selection of Impact Hammer</i> Vehbi ÖZACAR, Berna ATALAYMAN, C. Okay AKSOY, M. Sabit GÜRGEN, İ. Emre CAN, Hikmet GÜRBÜZ ve Bahadır ŞENGÜN	207
Niğde ve Kayseri Yöresindeki Demir Cevherlerinin Kazısında Kollu Galeri Açma Makinelerinin Performans Tahmini <i>Performance Prediction of Roadheaders in Iron Ores Excavation in the Surroundings of Niğde and Kayseri</i> Ramazan ÇOMAKLI, Sair KAHRAMAN, Cemal BALCI ve Deniz TUMAÇ	217
Granit S/Tlerinde Performans Analizi <i>Performance Analysis Of Block Cutting Machinery (S/T) for Granite</i> Kerem AKSÖĞÜT, Nurdan YILMAZ, Ahmet Hamdi DELİORMANLI ve Zeki KARACA,	225
Mineral Endüstrisinde Kullanılan Değirmenlerin Çalışma Mekanizmaları <i>The Working Mechanism of Mills in Mineral Industry</i> Ali UÇAR	235
Mineral Endüstrisinde Kullanılan Değirmenlerin Sınıflandırılması <i>Classification Of Mills In Mineral Industry</i> Ali UÇAR	253
Oltu Taşı Üretimi ve İşlenmesinde Kullanılan Ekipmanlar <i>Equipments Used for Production and Processing of Oltu Stone</i> Öykü BİLGİN, Ekrem KALKAN ve M.Kürşat DİLMAÇ,	269
Açık İşletmelerde Dinamik Kamyon Atama & İzleme Sistemi <i>The Dynamic Truck Dispatching System in Open Pit Mining</i> Tahir MALLI, Gürcan KONAK, Halil KÖSE, Doğan KARAKUŞ ve Alper GÖNEN	283
Doğal Taş Ocaklarında Kollu Zincirli Kesme Makinesi İle Blok Üretimi ve Kesim Performansları <i>Block Production with Arms Chain Cutting Machine in Natural Stone Quarries and its Cutting Performance</i> Ali SARIŞIK ve Gencay SARIŞIK	293

Karadeniz Bölgesi Kum-Çakıl Ocaklarında Lastik Tekerlekli Yükleyici (Loder) İle Araç Yükleme Birim Maliyetinin İncelenmesi <i>The Unit Cost Analysis of The Vehicle Loading With Wheel Loaders in the Black Sea Region Sand-Gravel Quarries</i> Ergin KAHRAMAN, M. Suat DELİBALTA ve Hakan Gürbüz	309
Blok Göçertme Yöntemi İle Çalışan Bir Yeraltı Madeninde LHD Rotalama Problemi <i>Lhd Routing Problem in an Underground Mine Working with Block Caving Method</i> İrem ÖZKARAHAN, Pınar MIZRAK ÖZFİRAT ve M. Kemal ÖZFİRAT	319

SÜREKLİ YÜZEY KAZICILARIN SEÇİM KRİTERLERİ, YENİCE-SİVAS BARİT MADENİ

SELECTION CRITERIA OF SURFACE CONTINUOUS MINERS, AN APPLICATION TO THE YENICE –SIVAS BARITE

Nuh BİLGİN, *İTÜ Maden Fakültesi*

Hanifi ÇOPUR, **Cemal BALCI**, **Deniz TUMAÇ**, *İTÜ Maden Fakültesi*

Dündar ERGUNALP, *Metal Maden A.Ş*

ÖZET

Bu çalışma çerçevesinde, Metal Maden A.Ş ye ait Yenice-Sivas Barit Madeni'nden temin edilen barit ve andezit numuneleri üzerinde, fiziksel ve mekanik deneyler yapılmış ve uygun boyuttaki numuneler; tam boyutlu kesme deneylerine tabi tutulmuştur. Kesme deneylerinden hareket ederek kullanılması uygun olan yüzey kesicilerin güç, baskı kuvveti/ağırlık oranı, tork gereksinimi hesaplanmış ve keski sarfiyatı ile birlikte kazı performans tahminleri yapılmıştır.

Performans tahmini yaparken bir firmanın SM-2550 ve SM-4200 model yüzey kazıcılarının tasarım parametreleri örnek alınmış ve barit üretiminin sırasıyla 192 t/s ve 250 t/s olacağı hesaplanmıştır. Keski sarfiyatının ise 0.188 keski/m³ olacağı bulunmuştur. Sonuçların bundan sonraki çalışmalara da ışık tutacağı düşünülmektedir.

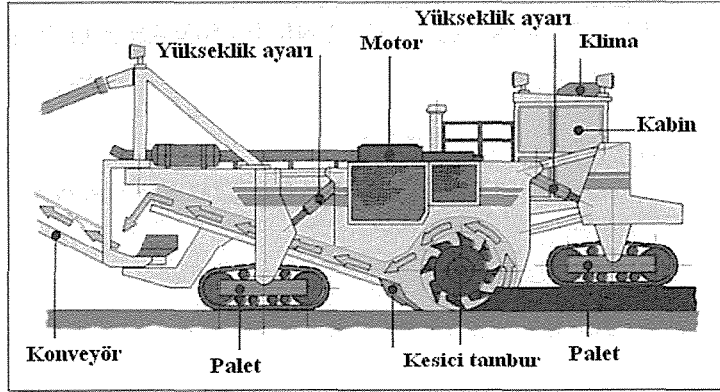
ABSTRACT

In this study barite and andezite samples obtained from Yenice-Sivas Barite mine were subjected to a variety of physical and mechanical tests, samples were also subjected to full scale cutting tests in the laboratory. Some operational parameters of the surface continuous miner selected were also determined such as; cutting power, the ratio of thrust force/ machine weight.

Production rates of 192 t/h, 250 t/h and pick cutter consumptions of 0.188 picks/m³ are calculated for barite ad for continuous mines of SM-2550 and S4200 models. It is believed that this study will open a new horizon for further studies.

1. GİRİŞ

Bu bildiri Metal Maden A.Ş.'ye ait Sivas-Yenice barit ocağında yüzey kazıcıların kullanımı ile ilgilidir (Bilgin vd, 1996). Tipik bir yüzey kazıcı Şekil 1'de görülmektedir. Kesme dilim kalınlığı ayarlanabildiği için bu tür makineler selektif madencilığe çok uygundur. Kazılan malzemeler zaten belirli bir boyutun altında olduğu için madencilik faaliyetleri sırasında kırma maliyetleri de düşmektedir (Bilgin ve Balcı, 2010). Sözü geçen madende andezit ve barit bir arada bulunmaktadır, bu nedenle ikisini de ihtiva eden jeolojik formasyonların ayrı ayrı kazılıp kazılamayacağını belirlenmesi hedeflenmiştir.



Şekil 1. Tipik bir yüzey kesicinin şematik görünüşü.

2. OCAKTAN ALINAN NUMUNELERİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Kesme deneyleri yapılmadan önce bölgeden alınan numuneler üzerinde, Cerchar aşındırıcılık deneyinin dışında, ISRM (1981) nin önerdiği standart deneyler yapılmıştır. Bu deney keski sarfiyatının tahmini için yapılmaktadır, ve uluslar arası düzeyde kabul bulmasına rağmen ISRM de standartları daha belirlenmemiştir. Deney West (1989) ve Michalkopoulos vd. (2006), tarif ettiği şekilde yapılmıştır. Keski sarfiyatı aşağıda verilen 1 nolu denklem yardımı ile bulunabilmektedir

$$\text{Keski sarfiyatı (adet/m}^3\text{)} = \text{CAI} / 4$$

[1]

[1] nolu formülde CAI Cerchar aşındırıcılık indeksidir.

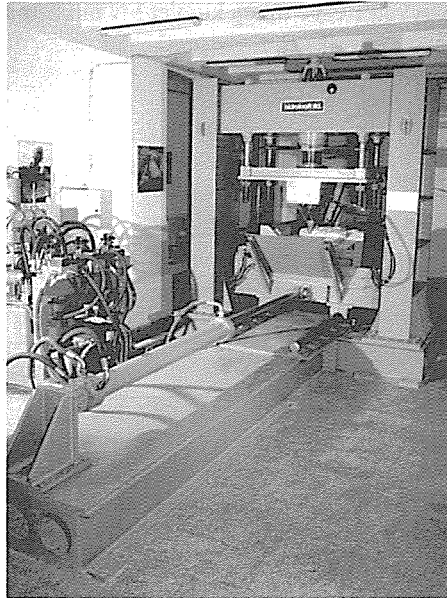
Deney sonuçları çizelge 1'de özetlenmiştir. Bu çizelgeden de görüldüğü gibi, numunelerde jeolojik süreksizliği fazla olması ve yeteri kadar numune temin edilememesinden dolayı baritin bazı mekanik özellikleri bulunamamıştır. Makine seçim kriterlerinde kesme deneyleri temel alınmıştır.

Çizelge 1. Bölgeden alınan numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri.

Özellik	Barit	Andezit
Yoğunluk	4.31 g/cm ³	2.63 g/cm ³
Basınç dayanımı	-	41.6 MPa (yapısal kırılma)
Statik elastik modulus	-	9.89 GPa (yapısal kırılma)
Dinamic elastik modülü	-	47.30 GPa
Dinamic Poisson oranı	-	0.33
P dalga hızı	-	5096 m/s
S dalga hızı	-	2586 m/s
Brazilian) çekme dayanımı	-	8.95 MPa
Nokta yük dayanımı	5.15 MPa	3.93 MPa
Nokta yük dayanımından hesap edilen basınç dayanımı	121.1 MPa	92.3 MPa
Cerchar aiındırıcılık deneyi	0.75	1.25

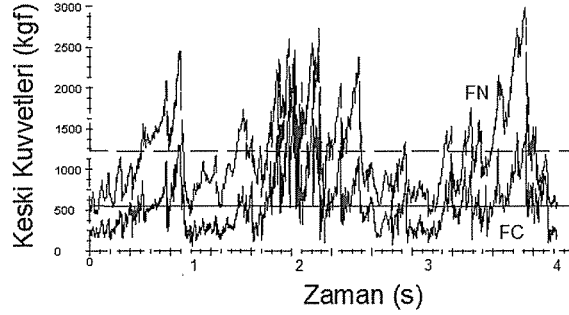
3. OCAKTAN ALINAN NUMUNELERİN KESİLEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİ

Kesme deneyleri için şekil 2’de verilen tam boyutlu kazı seti kullanılmıştır.

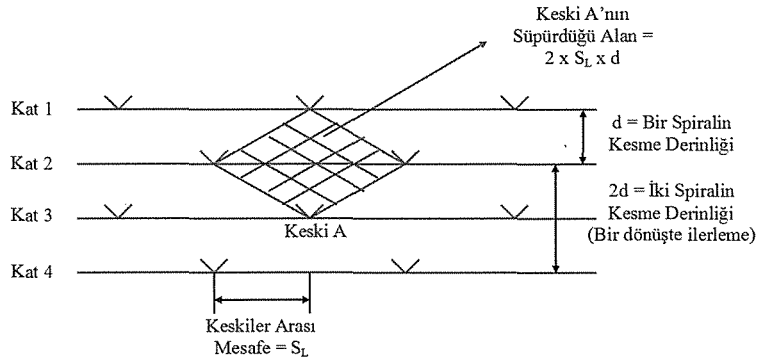


Şekil 2. Kesme deneylerinde kullanılan tam boyutlu kesme deneyi.

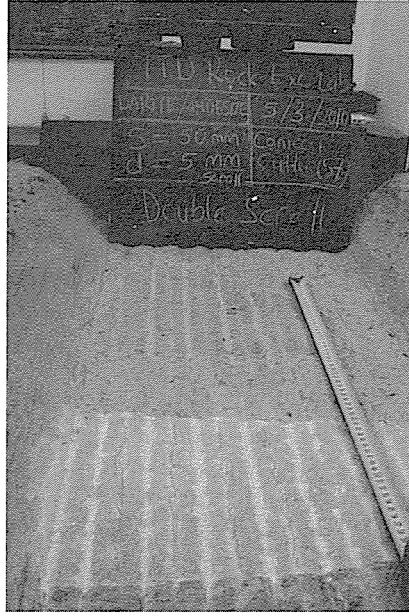
Kesilecek kayaç, numune kutusunun içersinde betonla sabitlenmektedir. Numune kutusu bir hidrolik silindir vasıtası ile ileri geri hareket ettirilebilmektedir. 50 ton dikey kuvvet kapasiteli alüminyum dinamometreye takılan keski, yukarı aşağı hareket ettirilerek kesme derinliği ayarlanabilmektedir. Keski arası mesafe ise kesme kutusunun sağa ve sola hareketi ile sağlanmaktadır. Dinamometre, saniyede 2000 veriyi kaydedebilen bir veri iletişim sistemine bağlıdır. Tipik bir kayıt şekil 3’de verilmiştir. Kesici tamburlar genelde iki spiralli olarak tasarımlandırılır. Bu tamburun her bir dönüşünde iki kesme derinliği (d) kadar ilerleneceği anlamına gelmektedir. Kesme deneyleri bu durum göz önüne alınarak Şekil 4’de verilen şablona göre yapılmıştır. Şekil 5 ise çift spiralli kesmeni kaya boğu üzerindeki izlerini göstermektedir. Kesme deneyleri dörder defa tekrar edilmiştir. Değişik kesme derinlikleri, keski arası mesafede elde edilen keski kuvvetleri ve spesifik enerji değerleri Çizelge 2.’de özetlenmektedir.



Şekil 3. Kesme kuvveti FC ve dikey kuvvet FN nin zamana göre değişimi.



Şekil 4. İki spiralli kesmenin şematik hali.



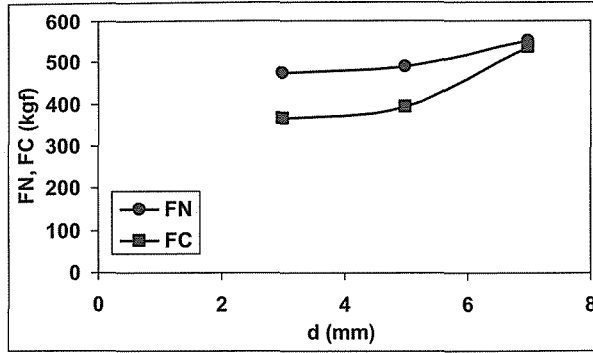
Şekil 5. İki spiralli kesmenin laboratuvarında elde edilmesi.

Çizelge 2. İki spiralli kesmenin deney sonuçları.

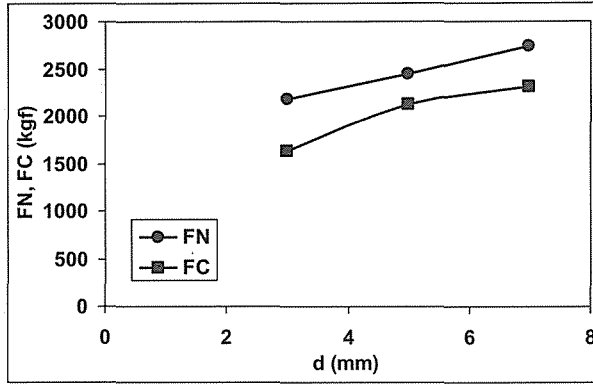
Örnek	s_L/d	d (mm/spiral)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FC (kgf)	F'C (kgf)	SE (kWh/m ³)
Barit	8.3	3	474.1	1282.0	366.4	1140.5	5.3
	5.0	5	488.0	1174.8	392.8	1144.1	4.4
	3.6	7	551.4	1510.8	534.3	1662.8	4.5
Andezit	8.3	3	2166.7	5533.3	1625.7	5018.9	29.7
	5.0	5	2435.1	5487.1	2119.7	6506.1	25.1
	3.6	7	2734.3	7309.2	2306.9	8169.0	18.8

Çift spiralli kesmede; d kesme derinliği, FN keskiye gelen ortalama dikey kuvvet, F'N maksimum dikey kuvvet, FC ortalama kesme kuvveti, F'C maksimum kesme kuvveti, SE spesifik enerjidir.

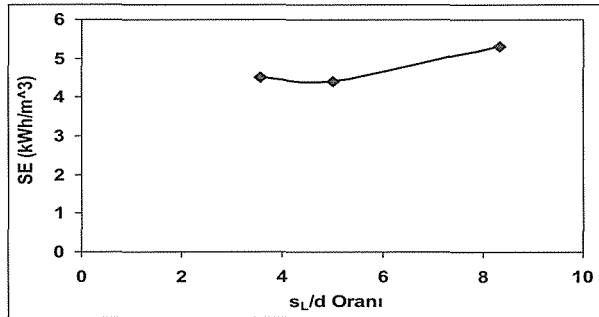
Şekil 6 ve 7'de çift spiralli kesme için ($S_C = 2S_L$) barit ve andezit numunelerinde keski kuvvetlerinin kesme derinliği ile değişimi verilmektedir. Barit ve andezit numunelerinde spesifik enerjinin S_L/d ile değişimi ise şekil 8 ve 9'da verilmiştir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi keskiye gelen dikey kuvvet her iki kayada da kesme kuvvetinden büyük çıkmıştır, bu durum orta sert formasyonda rastlanan bir durum olmasa da, sert formasyonlarda sıkça rastlanan bir durumdur. Optimum spesifik enerji değerleri ise barit ve andezit numuneleri için 4.4 ve 18.8 kWh/m³ bulunmuştur.



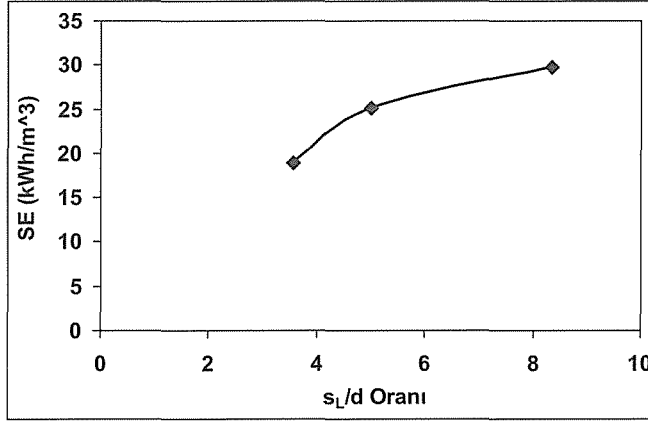
Şekil 6. Çift spiralli kesme için ($S_C = 2S_L$) barit numunesinde keski kuvvetlerinin kesme derinliği ile değişimi.



Şekil 7. Çift spiralli kesme için ($S_C = 2S_L$) andezit numunesinde keski kuvvetlerinin kesme derinliği ile değişimi.



Şekil 8. Çift spiralli kesme için ($S_C = 2S_L$) barit numunesinde spesifik enerjinin S_L/d ile değişimi.



Şekil 9. Çift spiralli kesme için ($S_C = 2S_L$) andezit numunesinde spesifik enerjinin S_L/d ile değişimi.

4. MAKİNE SEÇİMİ VE PERFORMANS TAHMİNİ

Yapılan fiziksel, mekanik ve kesilebilirlik deneylerinin ışığında, teknik özellikleri çizelge 3 de verilen SM-2500 ve SM-4200 tipi yüzey kazıcıların uygunluğu ve performans tahminleri yapılacaktır. Bu tip makineler piyasada mevcut alt ve üst değerleri temsil edildiği için seçilmiştir. Makine seçimi ve performans tahmini üç değişik yönteme göre yapılacak ve sonuçlar irdelenecektir.

Çizelge 3. İki değişik sürekli yüzey kazıcıda tasarım parametrelerinin değişimi.

Yüzey kazıcı	Wirtgen SM-2500	Wirtgen SM-4200
Tambur kurulu kesme gücü	783 kW	1194 kW
Maksimum tambur dönüş hızı	70 d/dak	70 d/dak
Tambur genişliği	2.5 m	4.2 m
Tambur yarıçapı	0.7 m	0.75
Kesme dilim kalınlığı	0.6 m	0.65 m
Makine ağırlığı	97 ton	202 ton
Maksimum hareket hızı	25 m/dak	20 m/dak

4.1.1 Kesme Sonuçlarına Göre Değerlendirme

Aşağıda verilen [2] ve [3] bağıntılar yardımı ile, birim zamandaki üretim miktarı hesaplanacak ve makinenin kesme kuvvetleri göz önüne alınarak tork limitli olup olmadığının yorumu yapılacaktır.

$$NCR = k \frac{P_{NET}}{SE_{OPT}} = k \frac{\eta P_{INS}}{SE_{OPT}} \quad [2]$$

Burada: NCR = Anlık üretim miktarı (m^3/s)
 P_{NET} = Tamburun net gücü (kW)
 k = kesici tambur gücünün kayak formasyonuna iletimdeki enerji transfer katsayısı
 SE_{OPT} = Optimum spesifik enerji (kWh/ m^3).
 η = Elektrik motorlarının verimliliği, 0.8
 P_{INS} = Makinenin kurulu gücü (kW)

Ayrıca kesme kuvvetleri ve [3] nolu denklem kullanılarak makinenin tork sınırlı olup olmadığı hesaplanacaktır.

$$T_{\text{üretim anındaki}} < T_{\text{müsaade edilebilir}} \quad [3]$$

$$T_{\text{üretim anındaki}} = N_C \times FC \times R \quad [4]$$

Burada: N_C = Keski sayısıdır. Tambur genişliği, keskiler arası mesafe ve kesme dilim kalınlığına bağlı olarak hesaplanmalıdır. Örneğimizde 105 keski hesap edilmiştir. Genelde tamburdaki toplam keski sayısının sadece 1/ ü arınla temas halindedir, yarısı alınabilir.
 FC = Tamburun bir devrindeki optimum kesme derinliğinde bir keskiye gelen kesme kuvveti. Bu değerler barit için $d = 5$ mm/devir ve $FC = 393$ kgf, andezit için $D = 7$ mm/devir ve $FC = 2307$ kgf dir.
 R = Tambur yarıçapıdır

$T_{\text{müsaade edilebilir}}$ ise aşağıdaki gibi hesap edilebilir.

$$T_{\text{müsaade edilebilir}} = P_{NET} / 2 \pi N \quad [5]$$

Burada : N = Tamburun bir saniyedeki devri.

Yukardaki hesaplardan barit ve 2500 SM tip yüzey kazıcı için aşağıdaki değer bulunur.

$T_{\text{üretim}} = 74$ kNm; $T_{\text{müsaade edilebilir}} = 85$ kNm bulunmaktadır, uygulama tork sınırlı değildir.

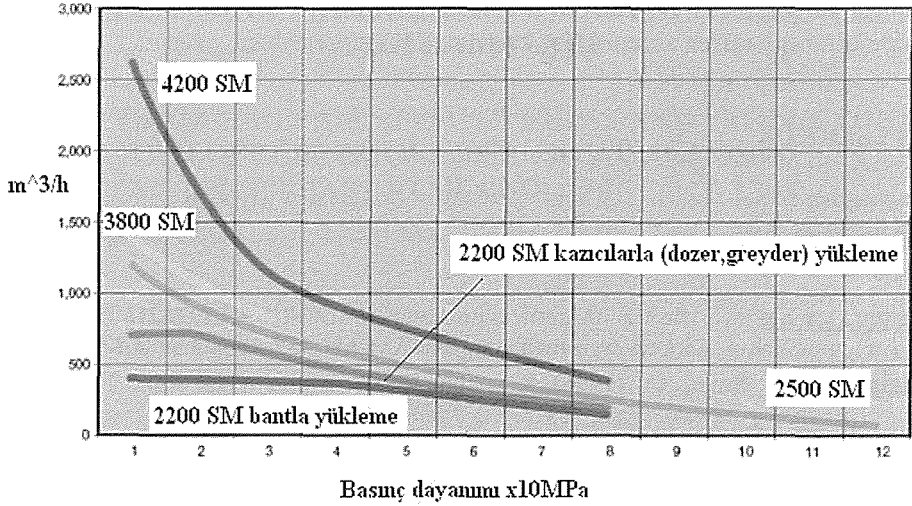
Andezit için hesaplanan değerler

$T_{\text{üretim}} = 427$ kNm bulunur, uygulama tork sınırlıdır.

Barit için anlık üretim miktarı [2] nolu denklemden 2500 SM için 114 m^3/s (490 ton/s) 4200 SM için 195 m^3/s (840 ton/s) bulunur. Günlük üretim için, makine faydalanma oranı ve çalışılan vardiya sayısı göz önüne alınmalıdır.

4.1.1 İmalatçı Firmanın Verdiği Diyagrama Göre Değerlendirme

Anlık üretim hızını kesilecek formasyonun basınç dayanımına göre imalatçı firmanın verdiği diyagramla da hesap edilebilir (Şekil 10). Fakat bu şekil ihtiyatla kullanılmalıdır, zira bu şekillerde kesme kuvvetine göre makinelerin tork limitli olup olmadığı verilmemiştir. Kesme kuvvetleri de en iyi tam boyutlu kesme deneylerinden hesap edilebilmektedir.



Şekil 10. Değişik tip yüzey kazıcılarında formasyonun basınç dayanımı ile birim zamandaki üretim miktarının değişimi (Wirtgen kataloglarından alınmıştır)

Sonuçlar Çizelge 4’de özetlenmektedir.

Çizelge 4. Makine seçim özet çizelgesi.

Performans tahmin yöntemi	Örnek	Wirtgen SM-2500	Wirtgen SM-4200
Spesifik enerji (kesme deneyleri)	Barit	114 m ³ /s (490 ton/s)	195 m ³ /s (840 ton/s)
	Andezit	Tork sınırlı	Tork sınırlı
İmalatçı firmanın katalogundaki şekilden tahmin yapılmıştır.	Barit	75 m ³ /s (325 ton/s) (üst limit)	Numunenin basınç dayanımı için bir değer verilmemiştir
	Andezit	Tork limitli olduğu için tahmin yapılmamıştır.	Numunenin basınç dayanımı için bir değer verilmemiştir

5. SONUÇLAR

Sürekli yüzey kazıcılar, selektif madencilikte çok fazla kullanılmaktadır. Bu tür uygulamalarda kesme sırasında zaten ufak taneli malzeme elde edildiği için, kırma maliyetinden de tasarruf edilmektedir. Bu çalışma sürekli yüzey kazıcıların seçiminde tam boyutlu kesme deneylerinin önemini bir daha ortaya koymuştur. İmalatçı firmaların üretim tahmini için verdikleri diyagramlar seçilen makinenin tork limitli olup olmadığını vermemektedir. Bunun için kesme kuvvetlerinin bilinmesi gerekmektedir. Yapılan bu çalışmada, baritin yüzey kesicilerle ekonomik bir şekilde kesilebileceğini, baritle beraber bulunan andezitin ise kazılamayacağını ortaya koymuştur.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Metal Maden A.Ş. için yapılmıştır. Sonuçların yayınına izin verdikleri için yetkililere teşekkür ederiz

KAYNAKLAR

- Bilgin, N ve Balcı, C.** (1996) Kırmataş Endüstrisinde Yeni Kazı Teknolojileri. *1.Kırmataş Sempozyumu*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İstanbul, s.207-225.
- Bilgin, N. Çopur, H. Balcı, C. Tumaç, D.** (2010) Cuttability Characteristics of Barite Mine for Predicting Performace and Selection of a Surface Miner, *Project Carried out for Metal Maden A.Ş. İTÜ*, S 68.
- Michalakopoulos, T.N. Anagnostou, V.G. Bassanou, M.E. Panagiotou, G.N.** The Influence of Steel Styli Hardness on the Cerchar Abrasiveness Index Value, *Int. J. Rock Mech and Min Sci*, v 43,pp. 321-327.
- ISRM**, (1981) Rock Characterization, Testing and Monitoring. In: Brown ET, editor. ISRM suggested methods. London: Pergamon.
- West, G.** (1989) Rock Abrasiveness Testing for Tunneling, *Int. J. Rock Mech and Min Sci*, v 26,pp. 321-327
- Wirtgen**, (2010) <http://www.wirtgen.de/en/index.html>

GLİ TUNÇBİLEK MADEN İŞLETMESİ F/C PANOSUNDA ÇALIŞAN P&H 1900AL ve 2300XP MODEL ELEKTRİKLİ YERKAZARLARIN BAKIM-ONARIM VE ÜRETKENLİK GÖSTERGELERİ

MAINTENANCE-REPAIR EFFECTIVENESS AND PRODUCTIVITY INDICATORS OF ELECTRICAL P&H 1900AL AND 2300XP MODEL EXCAVATORS OPERATING AT F/C PANEL OF GLİ TUNCBİLEK MINING OPERATION

Metin ÖZDOĞAN, *İdeal Makine Danışmanlık Ltd. Şti., Ankara*
Mehmet TAKSUK, *Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi Tunçbilek, Kütahya*

ÖZET

Bu bildiride, GLİ Tunçbilek Açık İşletmesi F/C Panosunda çalışan üç adet P&H 1900AL model 8 m³ ve iki adet P&H 2300XP model 15 m³ kapasiteli elektrikli elektrikli maden yerkazarlarının 2007, 2008 ve 2009 yıllarında çalışmış oldukları üç yıl boyunca ayakta kalma oranı; (A), kullanım oranı, (U), güvenilirlik, (R), bakılabilirlik, (M), bozukluk sayısı, (n), bozulma oranı, (n/h), gibi bakım-onarım ve üretkenlik başarımları göstergeleri hesaplanmış ve tanımları verilmiştir. Bu bakım-onarım ve üretkenlik başarımları üç yıllık ortalama sonuçlar verilmiş ve yorumlanmıştır.

ABSTRACT

In this paper, maintenance-repair performance and productivity indicators of three 8 m³ P&H 1900AL model and two 15 m³ P&H 2300XP model electrical shovel excavators, for a period of three years operating at F/C Panel of GLİ Tunçbilek Surface Mines such as availability, (A), utilization, (U), reliability, (R), maintainability, (M), number of failures, (n), failure rate, (n/h), productivity are calculated and described. The average results of maintenance and repair performance of the equipment are given and interpreted for a period of three years.

1. GİRİŞ

Açık maden işletmelerinde, yüksek ilk yatırım gerektiren elektrikli yerkazarlara düzenli bakım-onarım uygulanır. Bakım-onarım başarısı, düzgün ve düzenli kayıt tutulmak koşuluyla istatistiksel olarak ölçülebilir. Bakım-onarım ve ikmal programı yönetimi ve uygulaması başarılı ise plansız duruş sayısı (n), (bozukluk sayısı) düşer. Bu durumda güvenilirlik, (R), artar, bakılabilirlik, (M), düşer. Ancak, bakım-onarım programları, bakım-onarım öbekleri ve yönetimi ne kadar iyi olursa olsun, aygıt işler el övünür özdeyişinde vurgulandığı gibi, kullanılan yedek parçalar, değiştirilen bileşenler orijinal değilse, sarf malzemelerinin niteliği düşükse, ölçüleri çok ince bir şekilde orijinalini tutmuyorsa, ikmal sistemi yavaş işliyorsa, tüm çaba ve emekler bir bakıma boşa gider, başarı belirtgenlerinde beklenen iyileşme gerçekleşemez. Tüm çabalara karşın arızalar seyrekleştirilemez, birim zamana düşen arıza sayısı azaltılamaz, arıza giderme süreleri kısaltılamaz.

Bakım türleri düzenli ve düzensiz bakım olarak ikiye ayrılabilir. Düzensiz bakım, yerkazı aracı bozuldukça yapılan onarım-bakımdır. Bu tür bakımda, hiç belirti vermeden birdenbire ortaya çıkabilecek giderilmesi uzun süre alabilen büyük ve pahalı arızalara hazır olmak lazımdır (Barkhuizen ve Pretorius, 2008). Düzenli bakımın genel adı ise periyodik (döngüsel) bakım olup araca çalışma saatine bağlı olarak belirli zaman aralıklarında bakım yapılmasıdır. Döngüsel bakım da koruyucu-önleyici bakım ve öngörücü (kestirimci) bakım olarak dizelenebilir. Öngörücü bakım, öngörücü tanıya bağlı bir bakım düzenidir. Aracın bileşenlerinin sağlık durumunun ölçülüp belirlenerek tanı konmasına dayanır.

Koruyucu-önleyici bakım çalışma saatine bağlı olarak düzenli aralıklarla yapılır. Bakım sıklığı, önleyici bakımın düzenli olarak yapılacağı aralıkları gösterir. Bu konuda, yerkazar yapımcısının ocak deneyimlerine göre geliştirip önerdiği enuygun bakım aralıklarını izlemek en iyisidir. Sözgelimi, bu aralıklar, elektrikli maden yerkazalarında günlük, haftalık, aylık ve yıllık bakımlar şeklindedir. Koruyucu-önleyici bakım-onarım yapılmasıyla üretim yapan makinaların duraksamaları en aza indirilip üretim miktarı arttırılır, üretim programları gerçekleştirilir, makina ömrü uzatılır, arızalar zamanında ve önceden saptanarak maliyeti daha yüksek arızalara yol açması önlenir, toplam bakım-onarım giderleri azaltılır (Erçelebi ve Ergin, 1997). Bakım-onarım programı uygulanmasına rağmen takılan parçalar özgün parça ve bileşenler değilse bozukluk sayısında düşme beklentisi gerçekleşmeyebilir.

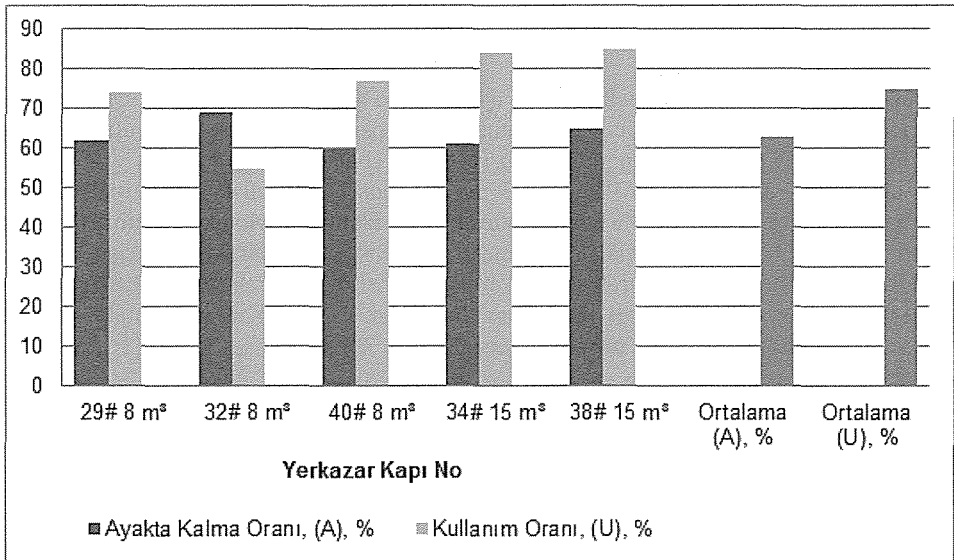
Öngörücü bakım yerkazarın bir bakıma sağlık taramasına dayanır. Konulan tanılara göre bakım-onarım, yedek parça, bileşen değişimi yapılır. Ancak, bu işlemin başarısı, büyük ölçüde, yaklaşık ömrü, başarımı belli olan nitelikli özgün yedek parça kullanımına bağlıdır. Bu yöntemde titreşim analizleri, kızılötesi termografi (ısıçizesi), yağlama ve yağ analizi, ultrasonik (sesötesi) saptama yöntemleri yardımıyla ana birim bileşenlerinin sağlığı izlenir, birimlerden beklenen yaklaşık ömür belirlenmeye çalışılır (Barkhuizen, 2008). Açık maden işletmelerinde verimlilik, kazançlılık yerkazalarının ayakta kalma oranlarına, yıllık çalışma sürelerinin, ekonomik ömürlerinin uzunluklarına bağlıdır. Cebesoy (1998), bakım-onarım giderinin, yerkazı aracının toplam değişken maliyetleri içindeki payının yaklaşık olarak % 20'nin üzerinde olduğunu belirtmektedir.

2. F/C PANOSUNDA ÇALIŞAN YERKAZARLARIN BAKIM-ONARIM BAŞARI GÖSTERGELERİ

Çalışmanın yapıldığı panoda çalışan P&H 1900AL yerkazarlar YK(8m³) 1986-1987 yıllarında devreye girmiş olup çalışma ağırlığı 379 ton, kova hacmi 8 m³, dayanıklılık (sağlamlık) oranı 47 ton/m³ ' tür. P&H 2300XP yerkazarlar da YK(15m³) 1986-1987 yıllarında işe verilmiştir. Çalışma ağırlığı 700 ton, kova hacmi 15 m³ olup dayanıklılık oranı 47 ton/ m³ ' tür. Başarı göstergeleri bir bakıma bakım-onarım, ikmal, kaliteli yedek parça, sarf malzemesi alım ve takım işlerinin ne derece başarılı olduğunun bir ölçütüdür. Başarı gösterge eşitliklerinin içerdiği değişkenler, planlanan çalışma süresi, plansız duruşlar (duraksamalar), planlı duruşlar, arıza sayıları ve süreleri, gerçek çalışma süreleridir. Planlanmayan duraksamalar ise genellikle arızaları (bozukluk) ve planlanmamış boşta beklemleri kapsar. Planlanmış duraksamalar ise döngüsel bakım-onarım süreleri, yemek ve çay molaları, vardiya değişimi ve hazırlık süreleri gibi önceden öngörölmüş (planlanmış) boşta beklemleri kapsar.

2.1 F/C Pano Yerkazarlarının Ayakta Kalma Oranı (A) ve Kullanım Oranları (U)

Şekil 1.'de bu örtükazı panosunda çalışan üç adedi 8 m³ lük ve iki adedi 15 m³ lük olan toplam beş adet yerkazı makinasının üç yıllık ortalama ayakta kalma (A) ve kullanım oranı (U) değerleri karşılaştırması görölmektedir.



Şekil 1. F/C Pano yerkazarlarının üç yıllık ortalama ayakta kalma ve kullanım oranları.

Ayakta Kalma Oranı, bakım-onarım yönetimi için kullanılan ana başarımlar göstergelerinden biri olup yerkazarın bozuk olmadığı, hizmete hazır bulunduğu süreyi gösterir. Bulunganlık (availability) (A) değerleri aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanmıştır (Dhillon, 2008).

$$A = \frac{[Tprg - (Tupda + Tupdb)] \cdot 100}{Tprg} \quad [1]$$

Burada,

A = Ayakta kalma yüzdesi (%)

Tprg = Programlanan toplam çalışma süresi (h,saat)

Tupda = Arıza (onarım) süresi (plansız duruş) (h,saat)

Tupdb = Boşta bekleme süresi (plansız bekleme) (h,saat)

Tupd = Toplam plansız duruş (h,saat)

GLİ Tunçbilek Açık Ocakları F/C Panosunda çalışan 15 m³ kepçeli 34 No.lu P&H 2300XP yerkazar için, YK34(15m³), yıllara göre ayakta kalma oranı (A) ve kullanım oranı (U) değerleri örnek uygulama olarak Çizelge 1.'de verilmiştir.

Çizelge 1. YK34(15m³) yerkazarın üç yıllık ayakta kalma oranı, kullanım oranı verileri.

Yıl	Program Çalışma Saati (Tprg), h	Plansız Duruşlar (Tupd), h		Planlı Duruşlar (Tpd), h	Ayakta Kalma Oranı (A)	Kullanım Oranı (U)	Gerçek Çalışma Süresi (Tg), h
		Arıza (Tupda)	Boşta Bekleme (Tupdb)				
2007	5648	733	1239	495	65	87	3181
2008	5670	1265	1061	698	64	81	2933
2009	6713	754	2302	585	55	84	3072
Ort.	6010±497	917±246	1534±548	593±83	61±5	84±3	3062±102

Kullanım oranının (U) ayakta kalma oranından farkı, bu göstergenin hem planlanmış hem de planlanmamış duruşları kapsamıdır. Plansız duruşlar bozuklukları ve boşta beklemeleri içerir. Planlı duruşlar ise vardiye değişimleri, hazırlık süreleri, yemek ve çay molaları, yağlama, ikmal ve bakım sürelerini kapsar. Kullanım oranı değerleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak bulunmuştur (Dhillon, 2008).

$$U = \frac{[Tprg - Tupd - Tpd] \cdot 100}{Tprg - Tupd} \quad [2]$$

U = Kullanım oranı (%)

Tprg = Toplam programlanan süre (h)

Tupd = Tupda +Tupdb = Planlanmayan duruş süresi toplamı (h)

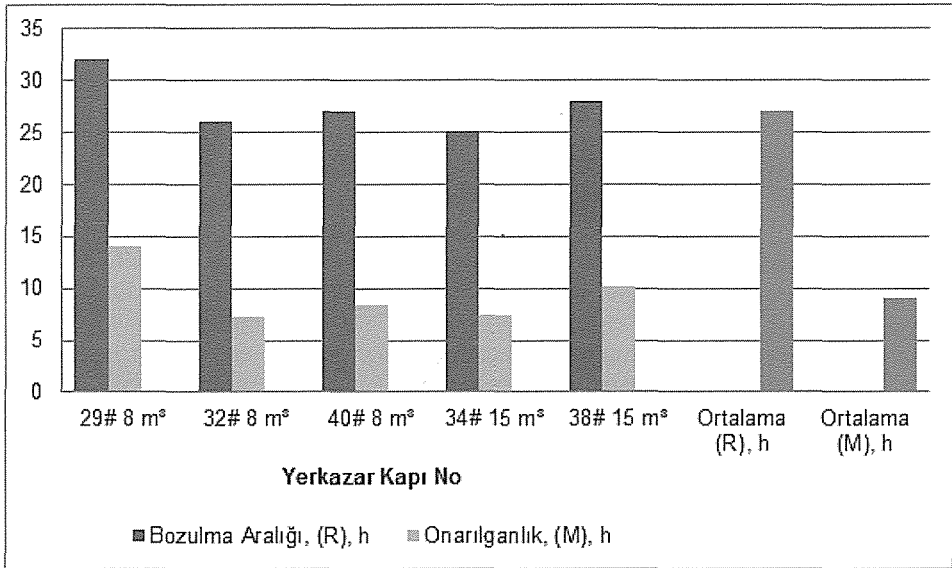
Tpd = Planlı duruş (h)

YK34(15m³) yerkazar için son üç yıllık süre için hesaplanan kullanım oranları, (U), da örnek uygulama olarak Çizelge 1.'de verilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi en yüksek ayakta kalma oranı (A), (% 69) ile YK32(8m³) makinasına ait olup ikinci sırada ise (% 65) ile YK38(15m³) makinası yer almaktadır. Ancak kullanım oranı, (U), değerleri ise 2300XP yerkazarlarda (34 ve 38 No.) daha yüksektir. Bunun nedeni 15 m³ kapasiteli

olan bu makinalara 8 m³ kapasiteli olanlara göre kamyon sağlamada öncelik verilmesidir.

2.2 F/C Panosu Yerkazarlarının Güvenilgenliği (R) (MTBF) Bozukluklar Arasında Geçen Ortalama Süre (BAGOS) ve Yerkazar Onarılanlığı (Onarım Süresi), (Maintainability), (M), (MTTR)

Şekil 2.'de ise bu panoda çalışan toplam beş adet yerkazarın üç yıllık ortalama güvenilgenlik değerleri, (R), karşılaştırılmaktadır. Arızalar arasında geçen sürenin en uzun olduğu yerkazar YK29(8m³) olup 32 saatte bir arıza yapmıştır. YK38(15m³) ise ikinci sırada yer almakta ve arızalar arası geçen ortalama süresi 28 saattir. Üçüncü sırada ise 27 saat ile YK40(8m³) yer almaktadır.



Şekil 2. F/C Pano yerkazarlarının üç yıllık ortalama bozulma aralığı, onarıma süreleri.

Tunçbilek F/C açık ocak panosunda çalışan YK34(15m³) yerkazarın güvenilgenlik, onarılanlık ve bozulma sıklığı değerleri yıllara göre aşağıda verilmiştir (Çizelge 2). YK34(15m³) makinasının servise giriş tarihi; 1986 yılı olup bugün 56,000 çalışma saatine ulaşmıştır. Bozukluklar Arası Geçen Ortalama Süre bu makinada 25.16±3.64 saattir.

Bozukluklar Arasında Geçen Ortalama Süre (BAGOS), Güvenilgenlik, (R), bakım yönetimi için kullanılan ana başarımlı göstergelerinden biridir. Bir makinenin iki planlanmamış duruşu (arızası) arasındaki ortalama süresidir. Güvenilgenlik; yerkazı makinasında bozulmalar arasında geçen ortalama süre olarak tanımlanır. (R) ya da (MTBF) şeklinde gösterilir, birimi saattir. Yerkazı makinasının arızaları arasındaki ortalama süre ne kadar uzun ise makine o kadar çok güvenilirdir. Güvenilgenlik değerleri Dhillon (2008) tarafınca verilen aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

Çizelge 2. YK34(15m³) yerkazarın üç yıllık güvenilgenlik, onarılgenlik ve bozulgenlik oranı verileri.

Yıl	Program Çalışma Saati (Tprg), h	Arıza Süresi (Tupda) h	Boşta Bekleme Süresi (Tupdb) h	Gerçek Çalışma Saati (Tg), h	Arıza Sayısı (n)	Bozulma Aralığı (MTBF), (R) (Tg/n), h	Onarım Süresi (MTTR) (M) (Tupda/n) h	Bozulma Sıklığı Oranı, n/Tg, adet/h x 10 ⁻²
2007	5648	733	1239	3181	105	30.29	6,98	3,3
2008	5670	1265	774	2933	128	22.91	9,88	4,36
2009	6713	754	2302	3072	138	22.27	5,46	4,49
Ort.	6010	917	1438	3062	124	25.16	7.44	4.05
	±497	±246	±640	±102	±14	±3.64	±1.83	±0.53

$$R = \frac{Tprg - Tupd - Tpd}{n} \quad [3]$$

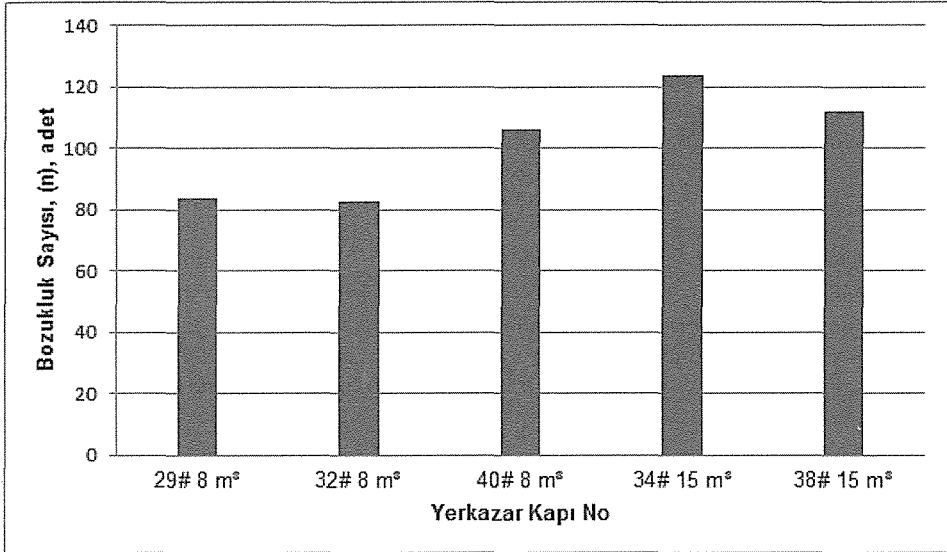
R = Yerkazı makinası güvenilirliği (h,saat)
Tprg = Programlanan toplam çalışma saati (h,saat)
Tupd = Plansız duruş süresi (h,saat)
Tpd = Planlı duruş süresi (h,saat)
n = Bozukluk sayısı (adet)

Arızaları onarmak için geçen ortalama süre. Doğal olarak bu değer (M) ne kadar küçük bir değer olursa o kadar iyidir. MTTR, bakım yönetimi için kullanılan önemli bir ana başarımlı göstergesidir. Çizelge 2.'de görüldüğü gibi F/C Panosunda çalışan YK34(15m³) makinanın ortalama arıza giderme süresi değeri (M), 7.44±1.83 saattir. Şekil 2. ise bu panoda çalışan beş adet yerkazarın kapı numaralarına göre bakılgenlik (onarılgenlik) oranlarının üç yıllık ortalama değerlerini karşılaştırmaktadır. Arızaları en kısa sürede giderilebilen (7±2 saat) iki makina YK32(8m³) ve YK34(15m³) olduğu görülmektedir. Arızası en geç onarılan ise YK29(8m³) olmuştur. YK29(8m³), YK32(8m³) ve YK40(8m³) makinaların arıza giderme süreleri ortalaması 9,7±3,1 olup YK34(15m³) ve YK38(15m³) makinaların arıza giderme süresi ortalaması ise 8,5±1,5 olarak gerçekleşmiştir. Onarılgenlik (M) (Arıza Giderme Süresi Kısallığı). Yerkazı aracının bakım yapılabilirlik ölçütü; Ortalama Arıza Onarım Süresi (MTTR) kavramıdır (Barkhuizen, 2008). Bu kavramın simgesi (M) ya da (MTTR) olup birimi saattir. (M), (MTTR) değerleri aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır:

$$M = \frac{Tupda}{n} \quad [4]$$

Burada;

M = Onarılgenlik (h,saat)
Tupda = Arızalar nedeniyle yitirilen toplam süre (h,saat)
n = Arıza sayısı (adet)



Şekil 3. F/C Pano yerkazarlarının ortalama üç yıllık arıza sayılarının karşılaştırılması.

2.3 F/C Panosu Yerkazarlarında Bozukluk Sayısı ve Bozulganlık Oranı, n/h (*Arıza Sıklığı) (Failure Rate)

Arıza oranı saat başına düşen ortalama arıza sayısı olup makinanın bozulma sıklığını gösterir. Yerkazı araçlarına önleyici bakım uygulanıp uygulanmayacağı, uygulanacaksa hangi aralıklarla uygulanacağını saptanması bozulma sıklığı ile ilişkilidir. Birimi adet /saat'dir.

Bozulganlık oranı = n / T_g

[5]

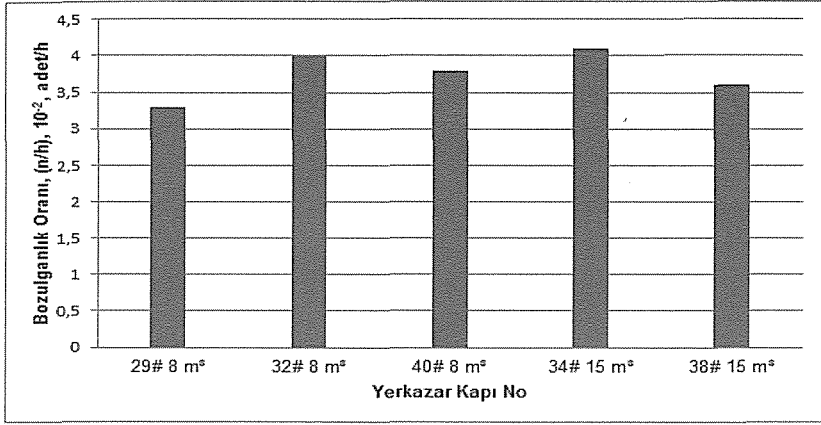
Burada;

B = Bozulganlık oranı (bozulma sıklığı) (adet/h)

n = Arıza sayısı (plansız duruş sayısı) (adet)

T_g = Gerçek çalışma süresi (h,saat)

Bozulganlık oranı, bakım yönetimi için kullanılan ana başarımlı ölçütlerinden biridir. Saat başına düşen ortalama arıza sayısı değeri ise örnek hesaplamanın yapıldığı YK34(15m³)'de 4.05 ± 0.53 adet/h'tir. Şekil 3'de her ne kadar YK29(8m³) ve YK32(8m³) yıllık arıza sayısı en düşük olan iki yerkazar gibi görülmekteyse de bunun düşük çalışma saatinden kaynaklandığı bilinmektedir. Zira işletmenin kaya taşıtı filosu yaşlı olup sayısı yetersizdir. Bu nedenle 15 m³'lük makinaların kullanılmasına öncelik verilmektedir. Gerçek çalışma saatleri daha yüksek olan 15 m³ 'lük diğer üç makinanın yıllık arıza sayıları da doğal olarak görece yüksek olmaktadır. Arıza sayısı kullanım yüzdesine ve makinanın gerçek çalışma süresine bağlıdır. Bu etkiyi düşürmek için saat başına düşen arıza sayısına bakmak gerekir, buna bozulganlık oranı ya da bozulma sıklığı oranı olarak tanımlanmaktadır. Şekil 4'de panoda çalışan makinaların saat başına düşen arıza sayıları görülmektedir. Buna göre saat başına düşen arıza sayısı en az olan araç YK29(8m³) ve ondan sonra en az arıza yapan araç YK38(15m³)'dür.



Şekil 4. F/C Pano yerkazarlarının ortalama üç yıllık bozulganlık oranı değerleri.

Şekil 4'de görüldüğü üzere F/C Panosunda çalışan yerkazarlar arasında bozulma oranı en düşük olan YK29 (8m³) olup en yüksek olan ise YK34 (15m³)'dür. YK29 (8m³), YK32 (8m³) ve YK40 (8m³) makinaların arıza oranı ortalaması 3,7±0,3 olup YK34 (15m³) ve YK38 (15m³) makinaların arıza oranı ortalaması ise 3,85±0,25 'dir.

3. ULAŞILAN ÜRETKENLİK DEĞERLERİ

3.1 F/C Panosu Yerkazarlarının Ulaştıkları Çalışma Saatleri Değerleri

F/C Panosunda çalışan yerkazarların yıllık ve ortalama çalışma saatleri Çizelge 3.'de görülmektedir. Çizelgede ayrıca bu makinaların servise giriş tarihleri ve o tarihten bugüne ulaştıkları toplam çalışma saatleri verilmiştir.

Çizelge 3. F/C Pano yerkazarlarının gerçek çalışma saati değerleri.

Değişken	YK No.→ Yıl ↓	YK29 (8m ³)	YK32 (8m ³)	YK40 (8m ³)	YK34 (15m ³)	YK38 (15m ³)
Gerçek Çalışma Süresi, Tg, saat	2007	3558	1569	3078	3181	3449
	2008	1797	3099	2882	2933	2980
	2009	2732	1520	2510	3072	3121
Ortalama Çalışma Süresi, h		2696±719	2063±733	823±2362	3062±102	3183±197
1900AL ve 2300XP ortalama çalışma süreleri, h		1900AL ortalaması	2527±332	2300XP ort.	3123±61	
Bugüne kadarki katlamalı çalışma saati (h) (Servise giriş yılı)		52000 (1986)	58000 (1986)	37000 (1986)	56000 (1986)	66000 (1987)

Elektrikli maden yerkazarlarının ekonomik ömrü 120.000 saati bulmaktadır. Belirli aralıklarla yapılan büyük bakım ve teknik güncelleme yapıldığında bu rakam 150.000 saate kadar çıkabilmektedir (Binns, 2010). Zira elektrikli yerkazarlarda dizel ve hidrolik makinalarda olduğu kadar çok hareketli parça yoktur. 1900AL ve 2300XP makinalar sırasıyla üç yıllık ortalamaya göre yılda ortalama 2500 ve 3000 saat civarında çalışmışlardır.

3.2 F/C Panosu Yerkazarlarının Ulaştıkları Gerçek Üretkenlik Değerleri

F/C Panosu makinalarının 2007, 2008 ve 2009 yıllarında ulaştıkları ortalama saatlik iş miktarları Çizelge 4.'de ve ortalama yıllık iş miktarları ise Çizelge 5.'de verilmiştir.

Çizelge 4. F/C Pano yerkazı makinalarının gerçekleştirdiği saatlik üretkenlik değerleri.

Değişken	YK No.→ Yıl ↓	YK29 (8m ³)	YK32 (8m ³)	YK40 (8m ³)	YK34 (15m ³)	YK38 (15m ³)
Ortalama saatlik iş miktarı	2007	392	309	394	759	806
Q m ³ /h (yerinde)	2008	348	398	410	807	878
	2009	309	263	311	744	746
Ortalama saatlik İş miktarları m ³ /h (yerinde)		350±34	323±56	372±43	770±27	810±54
1900AL ve 2300XP lerin ortalama iş miktarları, m ³ /h (yerinde)		1900AL ortalaması 348±20			2300XP ort.790±20	

Çizelge 5. F/C Pano yerkazı makinalarının gerçekleştirdiği yıllık üretkenlik değerleri.

Değişken	YK No.→ Yıl ↓	YK29 (8m ³)	YK32 (8m ³)	YK40 (8m ³)	YK34 (15m ³)	YK38 (15m ³)
Q m ³ /yıl x 10 ³ (yerinde)	2007	1393	485	1213	2417	2781
	2008	626	1232	1182	2368	2615
	2009	845	400	780	2286	2328
Ortalama yıllık iş m ³ /yıl x 10 ³ (yerinde)		955±323	706±374	932±376	2267±91	2575±187
1900AL ve 2300XP lerin yıllık iş miktarı, m ³ /yıl x 10 ³ (yerinde)		1900AL ortalaması 864±112			2300XP ort.2421±187	

4. İRDELEME

İyi, düzenli, düzgün kayıt tutulmak koşuluyla, bakım-onarım başarısı istatistiksel olarak ölçülebilir. Planlı, plansız duruşlar, duraksamalar, arızalar, süreleri ve sayıları kayıt altına alınmalıdır. Veri toplama süresine gelince; bakım-onarım etkinliğini belirten

göstergeler, uzunca bir süre içinde toplanan verilere dayandırılarak hesaplanıp çözümlenirse gerçeğe daha yakın sonuçlar çıkar ve bakım yönetimi için yararlı olabilecek ipuçları verir (Barhuizen, 2008). Kruppu (2004) ise, yerkazarın mekanik güvenilirlik ve bakım-onarım etkinlik belirteçlerinin hesabının en az altı aylık arıza kayıtlarına dayanması gerektiğini belirtmektedir. Yerkazı araçlarının, tasarım, yapısal özellikler, kullanılan malzeme niteliği, yerkazı makinasının sağlamlık oranı diye adlandırılan makina çalışma ağırlığı kepçe kapasitesi oranı, kullanılan yedek parçaların orijinal olup olmamasına, yerkazarda kullanılan yağ ve öteki tüketim malzemelerinin kalitesine bağlı olarak uygulanan bakım-onarım programlarına çok farklı tepkiler gösterebilmektedir.

Ayakta kalma oranı değiştirgeni (A), üç yılın ortalaması YK34(15m³) yerkazar için 61±5 dir. F/C Panosunda çalışan beş adet yerkazı makinasının üç yıllık ayakta kalma oranı (A) değeri 63±3' dür. Şekil 1'de görüldüğü gibi en yüksek ayakta kalma yüzdesine YK32(8m³) ve YK38(15m³) ulaşmıştır, bu değerler sırasıyla 69±13 ve 65±1' dir. YK34(15m³) yerkazar için (U) yüzdesi üç yıl ortalaması olarak 84±2 dir. Şekil 1'de izlendiği gibi YK34(15m³) ve YK38(15m³) yerkazarların kullanım oranlarının görece yüksekliği, kapasitesi büyük olan bu makinalara, kaya-taşıtı sıkıntısı nedeniyle, kaya-taşıtı önceliği verilmesi yüzündendir. F/C Panosunda çalışan beş adet yerkazı makinasının üç yıllık kullanım oranı (U) değeri 75±11 ' dir.

Güvenilgenlik değiştirgeni (R), Bozukluklar Arası Geçen Ortalama Süre, BAGOS, üç yılın ortalaması YK34(15m³) yerkazar için 25±4 saattir. YK34(15m³) ortalama (25) yirmibeş saatte bir bozulmaktadır. F/C Panosunda çalışan beş adet yerkazı makinasının üç yıllık güvenilgenlik (R) değeri ortalaması 27±3 ' dir. Şekil 2'de görüldüğü gibi bozukluklar arası geçen süresi en yüksek iki yerkazar YK29(8m³) ve YK38(15m³) dir. Bozulma aralıkları sırasıyla 32±5 ve 28±2 dir. Bakılgenlik (onarılgenlik) değiştirgeni (M), Ortalama Bozukluk Onarma (Giderme) Süresi, OBOS, üç yılın ortalaması YK34(15m³) yerkazar için (M) değeri 7±2 saattir. Bu yerkazarda, arıza başına düşen ortalama onarma süresi 7 saattir. Şekil 2' de görüldüğü gibi, 2007-2009 yıllarında F/C panoda çalışmış olan YK32(8m³) ve YK34(15m³) yerkazarların arızaları daha kısa sürede, (7±2) saat, onarılmıştır, dolayısıyla bakılgenliği bir diğer deyişle onarılganlıkları görece daha yüksektir. F/C Pano'da çalışan beş adet yerkazı makinasının üç yıllık onarılganlık (M) değeri 9±3 ' dir.

Bozulma sıklığı oranı (bozulgenlik oranı) (n/h), Saat Başına Düşen Bozukluk Sayısı, SBDBS, üç yılın ortalaması YK34(15m³) yerkazar için değeri 4,1±0.5 saattir. Bu yerkazarda saat başına ortalama 4.1 adet arıza düşmektedir. Şekil 4'de izlendiği gibi saat başına düşen arıza sayısı yüksekliği bakımından YK34(15m³) ve YK32(8m³) ilk sıralarda yer almakta olduğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Bakım-onarım yönetiminin, programının ve ekibinin başarılı olup olmadığı ya da bakım-onarım işlerinde görece bir iyileşme olup olmadığının göstergesi; bozulmalar arası aralığın uzamasıdır. Başka bir deyişle bozukluklar arası sürenin açılması, bozuklukların seyrekleşmesidir. Şayet "R" değeri artıyorsa başarıyı, gelişmeyi göstermektedir. Ortalama arıza giderme süresi "M" kısalıyorsa, bu da bakım-onarım

yönetiminde işlerin iyiye doğru gittiğini göstermektedir. Ortalama arıza sayısının, “n”, düşmesi, ortalama saat başına düşen arıza sayısının, “n/h”, azalması bakım-onarım işlerinde gidişatın iyi olduğunu belirtmektedir. Yerkazı araçlarında bozulma oranı ani olarak arttığında ve sıklaştığında mutlaka yenileme kararı alınmalıdır (Cebesoy, 1998). Ancak, bakım-onarım programları, bakım onarım ekipleri ve yönetimi ne kadar iyi olursa olsun kullanılan yedek parçalar, değiştirilen komponentler orijinal değilse, kullanılan sarf malzemeleri, yağlar v.b. nitelikli değilse, zamanında ikmal yapılamıyorsa tüm çaba, emek ve kaynaklar boşa gidebilmekte, bakım-onarım başarı belirtgenlerinde bir iyileşme gerçekleşmez, bozuk sayısı azalmakta ve bozukluklar arası geçen süre uzamaz. Ayrıca, makinanın genel mühendislik tasarımı, yapım kalitesi, kullanılan malzemelerin, ünitelerin niteliği, dayanıklılık oranı vb. gibi etkenlerin de doğal olarak etkisi vardır. Bu nedenle, aynı ocakta çalışan iki ayrı firma yapımı yerkazı aracı güvenilirlik, onarılabilirlik, ayakta kalma oranı gibi belirtgenler yönünden farklı çıkabilir.

Bakım-onarım yönetimi ve uygulaması başarılı ise, Plansız Duruş (Arıza, Bozukluk) süresinin azalması gerekmekte ve bu durumda MTBF ya da (R) yükselmektedir. MTTR (M) düşmesi gerekmektedir. Plansız duruş (0) sifıra yaklaştıkça MTBF (R) (∞) sonsuza, MTTR (M) ise (0) sifıra inecek ve Ayakta Kalma Oranı ise (100) yüz olacaktır (Pak, 2010). F/C panosunda beş makinanın üç yıllık ortalama değerlerine göre ortalama bozulma aralığı 27 saat olup ortalama arıza giderme süresi 9 saattir. F/C örtükazı panosunda (5) adet makinadan YK32(8m³) dışında, yerkazarların hepsinin kullanım yüzdesi ayakta kalma yüzdesinden yüksektir. Pano ortalama ayakta kalma oranı % 63 olup kullanım oranı ortalama % 75' dir. F/C örtükazı panosunda çalışan üç adet 8 m³ kepçeli elektrikli yerkazarın üç yıllık pano ortalaması değerleri: Ayakta kalma oranı (A) değeri 64±4, kullanım oranı (U) değeri 69±10, güvenilirlik oranı (R) değeri 28±3, bakılabilirlik oranı (M) 9.7±3.1 olup bozukluk sayısı değeri (n) 91±11 ve saat başına düşen arıza sayısını gösteren bozukluk oranı değeri ise $3.7 \times 10^{-2} \pm 0.3$ olmuştur.

Örtükazı Panosu F/C' de çalışan iki adet 15 m³ kepçeli yerkazarların üç yıllık pano ortalaması değerleri sırasıyla; ayakta kalma oranı (A) değeri yaklaşık 63 kullanım oranı (U) değeri yaklaşık 85 , arızalar arası geçen süre (R) değeri yaklaşık 27 saat, arızaları giderme süresi (M) yaklaşık 9 saat olup arıza sayısı (n) 118 adet, ve saat başına düşen arıza sayısını gösteren bozukluk oranı değeri ise 3.85×10^{-2} çıkmıştır. 8 m³ ve 15 m³'lük elektrikli yerkazarların ayakta kalma oranları birbirine çok yakındır. Ancak, kullanım oranları arasında çok fark vardır. Bu da, işletmenin kaya-taşıtı filosunun çok yaşlı ve sayısının çok yetersiz olması nedeniyle kapasitesi yüksek 15 m³ lük makinalara öncelik vermesinden kaynaklanmaktadır. Ulaşılan yıllık gerçek çalışma saatleri ise 8 m³ ve 15 m³ 'lük makinalar için sırasıyla yaklaşık olarak 2,500 ve 3,000 saattir. Bu farkın nedeni de kaya-taşıtı sayısı yetersizliği yüzündendir ki zira kamyon sağlamada öncelik daha büyük makinalara verilmektedir. Ayrıca, çalışma saati düşüklüğü de kaya-taşıtı filosunun ve yardımcı iş makinalarının ekonomik ömrünü doldurmuş olmasından kaynaklanmaktadır.

Bu panoda ulaşılan yerinde hacim cinsinden gerçek kazı miktarlarına gelince, 8 m³ lük makinalarda saatlik üretim yaklaşık 350 m³/h olup bu rakam 15 m³ 'lük yerkazarda ise yaklaşık 800 m³/h olmuştur. Kazılan yıllık örtü miktarı ise 8 m³ 'lük makinalar için 864 bin m³/yıl olup bu rakam 15 m³ 'lük yerkazarda ise 2,4 milyon m³/yıl olarak

gerçekleşmiştir. Çalışma saatleri 5000-6000 saatlere çıkarılabildiğinde, yıllık ulaşılan iş hacminin de sırasıyla 1,7 -5,0 milyon m³/yıl'a ulaşacağı açıktır.

KAYNAKLAR

Barkhuizen, W.F. and Pretorius, L. (2008) Life Cycle Management for Mining Machinery. *University of Johannesburg, South Africa, Available online at:* <http://ujdigispace.uj.ac.za:8080/.../ArticleLifeCycleManagementforMiningMachinery.pdf>

Barkhuizen, W.F. (2008) Life Cycle Management for Mining Machinery, *University of Johannesburg, South Africa, Available online at:* <http://ujdigispace.uj.ac.za:8080/dspace/.../MastersDegreeThesisrev02.pdf>

Binns, D. (2010) Kişisel görüşme. P&H Mining Equipment (UK) Ltd., Wigan, England.

Cebesoy, T. (1998) Maden Ekipmanları İçin Bir Rasyonel Bakım Planlaması Modeli: Önleyici Bakım. *Türkiye 11. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, Zonguldak, Türkiye.

Dhillon, B.S. (2008) Chapter 4, Mining Equipment Reliability, *Mining Equipment Reliability, Maintainability, and Safety, 1st edition (book)*, Springer (publisher), 2008, New York, USA. pp.57-70.

Erçelebi, S.G. Ve Ergin, H. (1997) Maden Makinalarında Koruyucu Bakım Onarım Planlaması. *Türkiye 15. Maden Kongresi*, Güyagüler, Ersayın, Bilgen (eds), Ankara, pp. 31-36.

Kruppu, M.D. (2004) New Technologies Available to Maximizing Equipment Reliability. *Mine Planning and Equipment Selection*, Hardygora, Paszkowska and Sikora (eds), Taylor and Francis Group, London, pp. 455-459.

Pak, C. (2010) <http://www.cengizpak.com.tr/index.php/periodik-onleyici-ve-kestirimci-bakim-nedir?/>

AKIK OCAK MADENCİLİĞİNDE MAKİNA-EKİPMAN PERFORMANSININ İŞLETME MALİYETİNE ETKİSİ

THE EFFECT OF MACHINE-EQUIPMENT PERFORMANCE TO UNIT OPERATING COST IN OPEN PIT MINING

Tahir MALLI, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., İzmir*

Halil KÖSE ve Alper GÖNEN, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., İzmir*

ÖZET

Günümüz madenciliğinde artan rekabet koşulları ve çoğu zaman giderek azalan rezerv ve kalite parametreleri (tenör, kalori, ppm vb) işletmelerde birim maliyetlerin düşürülmesini ve işletme içi operasyon verimlerinin yükseltilmesini gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda işletme parametre ve giderleri, operasyonlar ve makina-ekipmanların teknik ve ekonomik anlamda optimize edilmesi bir madencilik realitesi olmaktadır. Açık işletmeler için giderlerin önemli bölümünü oluşturan kazı ve özellikle malzeme nakli işletmenin rantabilitesini belirlemektedir. Bu nedenle işletmelerde örtükazı yöntemleri ve nakliye sistemleri için seçilecek makina-ekipmanların verimliliği, kullanım oranları ve performans değerleri, giderler ve işletmecilik açısından önem kazanmaktadır. Ekskavator ve kamyon filosunun verimli ve ekonomik şekilde optimum koşullarda çalıştırılmasının planlaması ve kontrol edilmesi zorunlu hale gelmektedir. Bu model çalışmada, yükleyici ve kamyonların verimlilik, kullanım oranları ve performans değerlerindeki değişimlerin işletme ekonomisine etkisi incelenmektedir.

ABSTRACT

The increasing competition, the decay in ore reserves and quality parameters cause to decrease the unit costs and to produce higher grade concentrates in modern day mining. Therefore, the operating parameters and costs should be optimized by means of mechanization and equipment. The excavation and haulage operations which are the main costs in open pit mining are significantly affected by this optimization positively. Thus, the efficiency and operating costs of the selected machinery and equipment become the most important selection parameters. The excavator and truck fleet operations should be optimized by means of productivity, efficiency and economical. This study investigates the effect of the changes in the optimized operation parameters of loaders and trucks such as rate of usage, efficiency and performance in economical point of view.

1. GİRİŞ

Günümüz madencilğinde artan rekabet koşulları ve çoğu zaman giderek azalan rezerv ve kalite parametreleri (tenör, kalori, ppm vb) işletmelerde birim maliyetlerin düşürülmesini ve işletme içi operasyon verimlerinin yükseltilmesini gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda işletme parametre ve giderleri, operasyonlar ve makina-ekipmanların teknik ve ekonomik anlamda optimize edilmesi, yeniden yorumlanıp uygulanması madencilik realitesidir.

Açık işletmeler için giderlerin önemli bölümünü oluşturan kazı ve malzeme nakliyesi bu değişimden oldukça yoğun etkilenmekte olup işletmenin rantabilitesini belirlemektedir. Bu nedenle işletmelerde örtükazı yöntemleri ve nakliye sistemleri için seçilecek makina-ekipmanların verimliliği, kullanım oranları ve performans değerleri giderler ve işletme açısından direkt önem kazanmaktadır.

Artan rekabet ve sermaye darlığı, makina-ekipman seçimi kadar bu makina-ekipmanların, ekskavatör ve kamyon filosunun produktif, verimli ve ekonomik şekilde optimum işletme koşullarında çalıştırılması ve kontrol edilmesini zorunlu hale getirmektedir.

2. MAKİNA-EKİPMAN VERİMLİLİĞİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Makina-ekipman verimi, kesinlikle açık işletme madencilği için bir işletmenin ekonomik değerlendirmesini etkileyebilen, ocak tasarımı ve üretim planlamasında en önemli etkenlerden biridir. Tüm planlama prosesinin temel unsuru maliyet tahminidir ve gerçekte esas amaç belirlenmiş maliyet değerini en aza indiren makina-ekipman seçimini yapmaktır(Lizotte,1988). Ayrıca ekipman seçimi kompleks, çok kriterli karar verme işlemidir. Bu yüzden belirlenen maliyet değerlerine gerçekte yakın sonuçlar için makinaların belirli verimlilikle ve kapasitenin altında çalıştırılmaması gerekmektedir.

Makina verimliliğine etki eden parametreler, makina-ekipman seçimi prosesi; işletme koşulları ve makina-ekipman teknik özelliklerini içeren çok sayıda parametreyi kapsamaktadır. Bu kriterler;

- Üretim kapasitesi ve miktarı
- İşletme verimliliği
- İşyeri organizasyon faktörü
- Kabarma faktörü
- Kepçe-kamyon dolum faktörü
- Periyod(çevrim) süresi

Üretim Kapasitesi, toplam üretim gereksinimi, madenin dışındaki çok sayıda dış faktörlerden etkilenebilir. Bu faktörler, satış projeksiyonlarını,satış kısıtlamalarını,mevcut rezerv miktarını ve diğer işlemleri içermektedir. Yönetim tüm bu faktörleri gözönüne alarak, toplam mineral miktarı için bir karar vermelidir. Üretim gereksinimleri genellikle yıllık tespit edilir ve günlük, saatlik üretim gereksinimlerine dönüştürülür.

boyutu 10 cm'den 50-60 cm'ye çıktığı zaman kepçe dolum faktörü de % 100'den % 61'e düşmektedir, bu da makina kapasitesini % 35-40 kadar düşürmektedir(Taksuk ve Eraslan, 2000).

Çizelge 1. Kazı zorluğuna göre kepçe dolum faktörleri.

Kazı Sınıfı	Kepçe Dolum Faktörü (DF)
Kolay	DF > 0.95
Orta	0.95 > DF > 0.90
Orta-Zor	0.90 > DF > 0.80
Zor	0.80 > DF > 0.70
Çok Zor	DF < 0.70

Periyod(çevrim) Süresi, bir makinanın periyod(çevrim) süresi başlıca iki elemandan oluşmaktadır. Bunlardan biri sabit, diğeri ise değişkendir. Bir dekapaj ekskavatörü için kazı, kepçeyi ileri itme ve geri çekme zamanları sabittir. Diğer bir ifade ile her periyod için sabit bir şekilde önceden saptanmıştır. Ancak dönme süresi bazı durumlarda değişebilmekte ve böylece periyod süresinin değişken elamanını oluşturmaktadır. Teorik periyod süresinin hesabı oldukça karmaşıktır. Makinanın her hareketi motor gücüne ve makinanın ağırlığına bağlı olup hassas ve doğru bir şekilde kontrol gerektirir. Titreşimleri, momentleri, kuvvet iletişimlerini ve ivmeleri dikkate alarak yapılan hesaplamalar sonunda yapımçı firmalar, standart periyod süreleri vermektedir(Eskikaya Ş.,1986).

Kepçe devir süresi 90 derecelik dönüş için, bir kepçenin kazıya başlayıp doldurulup boşltılarak yeni bir kazı periyoduna başlayıncaya kadar geçen zamanı tanımladığından kazı zorluğuna bağlı olarak kepçe hacimlerine göre değişen döngü süreleri önem kazanmaktadır. Caterpillar(1988) ve Karpuz(1991) tarafından geliştirilip önerilen değerler verilmektedir.

Çizelge 2. Yükleyici kepçe hacimleri için kazı zorluğuna göre çevrim süreleri (sn).

Kepçe hacmi yd ³ / m ³	Kazı Şartları			
	Kolay	Orta	Orta-Zor	Zor kazı
4-3	18	23	28	32
5-4	20	25	29	33
6-5	21	26	30	34
7-5.5	21	26	30	34
8-6	22	27	31	35
10-8	23	28	32	36
12-9	24	29	32	37
15-11.5	26	30	33	38
20-15	27	32	35	40
25-19	29	34	37	42

*Kolay zorlukta kazı, gevşek, akan malzeme, kum, küçük çakıl vb.

*Orta zorlukta kazı, kısmen pekişmiş malzeme, killi çakıl, kil, antrasit vb.

*Orta-Zor zorlukta kazı, iyi parçalanmış kireçtaşı, çok ıslak kil, nispeten zayıf cevher, kaba parçalı çakıl

*Zor zorlukta kazı, yüksek derecede patlatma gerektiren malzeme, granit, sert kireçtaşı, takonit vb.

Kamyon periyod süresi başlıca iki elamandan oluşmaktadır. Bunlardan biri sabit, diğeri se değışkendir. Periyod süresinin sabit olduğu işlerdeki süre ekipman yapısı ile ilgilidir. Bu sürenin değışebilir bileşenleri, mobil ekipman için seyahat süresiyle ve sabit ekipman için swing süresiyle ilişkilidir. Mobil ekipmanlar için seyahat süresi oldukça fazla değışkendir. Bu süre sadece taşıma mesafesine değil aynı zamanda taşıma güzergahının geometrisini ve makine-ekipman motor gücünün, toplam yol direncinin ve yükün bir fonksiyonu olan araç hızına da bağlıdır.

Sabit ekipman bir bölgede yükler ve sonra ikinci bir bölgede boşaltmak için belli bir kaviste dönerek boşaltma işlemini(swing) gerçekleştirir. Makinanın yükleyebileceği ya da boşaltabileceği maksimum yatay mesafe o makinanın ulaşabileceği uzaklık olarak tanımlanır. Üretilcek yatağın geometrisi bir makinanın gerekli bu uzaklığının belirlenmesi için birincil faktördür. Taşıma güzergahı, seyahat etmesi gereken mobil ekipmanın mesafesi ve eğimini refere etmektedir. Hem mobil taşıyıcı hemde kombine mobil yükleyici-taşıyıcı üniteler için yükleme noktası ile boşaltma noktası arasında engebeli bir mesafe vardır.

3. MODEL ÇALIŞMA

Model çalışmada, farklı üretim modellerinde sabit kapasitede gerekli olan kamyon ve ekskavatör sayıları belirlenerek yapılması gereken makine-ekipman yatırımları bulunmaktadır. İşletme verimi, makina verimi ve dolum faktörü gibi değerlerin düşmesi saatlik kapasite ve genel olarak yıllık üretim kapasitesini düşüreceğinden sabit iş hacmine karşın çalışacak iş makinası sayısı da artmaktadır. Artan makine parkı işletme yatırımlarını beraberinde arttırmakta ve toplam maliyetlere etkimektedir. Değişen verimlilik değerleri ve dolum faktörüne göre işletme üretim kapasitesine uygun gerekli makine parkı sayısını belirlenmektedir. Bilgisayar yazılımı ile istenilen kapasiteye uygun makine sayıları belirlenmekte ve maliyet analizleri yapılarak değışik alternatifler için yatırım ve birim maliyetler bulunmaktadır.

Çizelge 3. Model çalışma işletme parametreleri.

Parametre	Değer
İşletme ömrü (yıl)	25
Örtü-kazı oranıl	8,6
Yıllık Dekapaj Miktarı (m ³)	7 926 393
Yıllık Cevher Kazı Miktarı (t)	920 000
Taşıma mesafesi (m)	2000

DEKAPAJ		CEVHER
Yük. Kapasite	7926394	920640
Makina Yükl. Çalışma Saati	4000	4000
Kesa Hacmi	60	12
Makina Verimi	0.9	0.9
İşyeri Verimi	0.9	0.9
Kabarma Faktörü	1.4	1.4
Kepçe Sayısı (n=3-6)	4	2.4
Kamyon Dolum Faktörü	0.9	0.9
Nakliyat Mesafesi (m)	2000	2000
Kamyon Ort. Dolu Hızı (km/h)	50	50
Kamyon Ort. Boş Hızı (km/h)	70	70
Saatlik Kapasite	263.493975903	64.8533772652
Kamyon Yükl. Kapasitesi	1053975.90361	259413.509060
Kamyon Sayısı	7.52046984453	3.54892851699
Yedek Faktörü	15	15
Yedek Kamyon Sayısı	9	4



cycle time		DEKAPAJ	CEVHER
Kamyon Dolum Süresi (sn)		140	60
Boğaltma Süresi (sn)		20	20
Dolu Gidiş Süresi (sn)		144	144
Boş Dönüş Süresi (sn)		102.857142857	102.857142857
Manevra Süresi (sn)		20	20
Toplam Çevrim Zamanı (sn)		426.857142857	346.857142857

DEKAPAJ		CEVHER
Kepçe Dolum Süresi (sn)	15	10
Dolu Gidiş Süresi (sn)	10	7
Boş Dönüş Süresi (sn)	6	5
Boğaltma , Manevra Süresi (sn)	4	3
Toplam Çevrim Zamanı (sn)	35	25

Saatlik Kapasite (m ³ /h - t/h)	303.387755102	374.914285714
Ekshavatör Sayısı	2.46655302799	0.61390032007
Yedekli Ekshavatör Sayısı	3	1

Şekil 2. Yazılımdan makine-ekipman sayıları ve özellikleriyle ilgili arayüz.

Çizelge 4. Model çalışmada kullanılan değişkenler ve değerleri.

Parametre	Nitelik	Değer (%)
Makine verimi	İyi	90
	orta	80
	kötü	70
İşyeri verimi	İyi	90
	orta	80
	kötü	70
Dolum Faktörü	İyi	90
	orta	80
	kötü	70

4. EKONOMİK VE TEKNİK DEĞERLENDİRME

Makina ve işletmelerin yüksek verimlerde çalıştırılması hedefdir ancak madencilik uygulamalarında maksimumlarda çalışmak her zaman mümkün değildir. Özellikle kullanılan makina-ekipmanların yeni olması ve mükemmel işletme organizasyonunda bu gerçekleştirilebilir. Hedeflenen kapasite ve birim maliyetler için makinaları ve işletmeyi belirli standartlarda sürekliliğini sağlamak zorunlu olduğu için düşük verimlerde makinaların çalışmasına müade edilemez. Bunun için gerek işletme koşulları gerekse makinaları optimum değerlerde çalıştırmak birim maliyetleri sabit tutmak için gereklidir.

MAKİNA-EKİPMAN İLK YATIRIM

Makina-Ekipman Yatırımı					Makina-Ekipman Yatırımı				
	SAYI	BİRİM FİYATI (\$)	Maliyet (\$)	Ekonomik Ömür		SAYI	BİRİM FİYATI (\$)	Maliyet (\$)	Ekonomik Ömür
Dragline (Delepaj)	0	10000000	0	25	Dragline (Cevher)	0	10000000	0	25
DKE (Delepaj)	0	15000000	0	25	DKE (Cevher)	0	15000000	0	25
Ekskavatör (Delepaj)	8	5000000	15000000	15	Ekskavatör (Cevher)	1	1000000	1000000	15
Terskepe (Delepaj)	0	300000	0	10	Terskepe (Cevher)	0	300000	0	10
Loader (Delepaj)	0	300000	0	10	Loader (Cevher)	0	300000	0	10
Kamyon (delepaj)	9	1200000	10800000	7	Kamyon (Cevher)	4	500000	2000000	7
Band Konveyör	0	1000	0	10	Band konveyör (Cevher)	0	1000	0	10
Delik Delme Makinası	2	400000	800000	10	Delik Delme Makinası	1	400000	400000	10
Toplam Yatırım			26600000		Toplam Yatırım			3400000	

Yardımcı Makina Donanım				
	SAYI	BİRİM FİYATI (\$)	Maliyet (\$)	Ekonomik Ömür
Paletli Dozer	1	300000	300000	15
Greyder	1	300000	300000	15
Mazot Kamyonu	1	50000	50000	7
Sulama Kamyonu	1	50000	50000	7
Pick-Up	2	30000	60000	5
Drenaj Pompası	4	2500	10000	2
Toplam Yatırım			770000	

TOPLAM MAKİNA YATIRIMI: 30770000

Şekil 3. Makina-ekipman ilkyatırımlarını gösteren arayüz.

Çalışmada makina verimleri, işyeri verimi ve kepçe/kamyon dolun faktörü değişkenlerinden oluşturulacak kombinasyonlar için yatırım ve birim üretim maliyet değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 5. Yatırım tutarı ve birim maliyeti tablosu.

Makine verimi (%)	İşyeri verimi (%)	Dolum Faktörü (%)	YATIRIM TUTARI (\$)	Birim Maliyet (\$/ton)
90	90	90	30 770 000	14,15
90	90	80	32 470 000	14,70
90	90	70	38 670 000	15,74
90	80	90	32 870 000	14,96
90	80	80	39 070 000	15,99
90	80	70	41 970 000	17,06
90	70	90	39 070 000	15,99
90	70	80	41 970 000	17,06
90	70	70	48 670 000	18,12
80	90	90	32 870 000	14,96
80	90	80	39 070 000	14,96
80	90	70	41 970 000	17,06
80	80	90	39 070 000	14,96
80	80	80	40 770 000	16,54
80	80	70	48 670 000	18,12
80	70	90	41 970 000	17,06
80	70	80	48 670 000	18,12

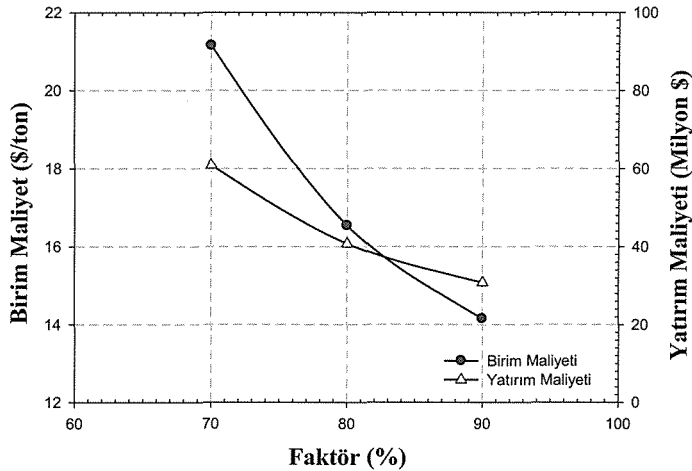
80	70	70	51 570 000	19,18
70	90	90	39 070 000	14,96
70	90	80	41 970 000	17,06
70	90	70	48 670 000	18,12
70	80	90	41 970 000	17,06
70	80	80	48 670 000	18,12
70	80	70	51 570 000	19,18
70	70	90	48 670 000	18,12
70	70	80	51 970 000	19,44
70	70	70	60 870 000	21,15

Çizelge 6. Birim maliyet ve ilkyatırım değişimleri tablosu.

Makine verimi (%)	İşyeri verimi (%)	Dolum Faktörü (%)	İlk Yatırım Tutarı (\$)	Birim Maliyet (\$/ton)	İlk Yatırım Tutarı Değişimi (%)	Birim Maliyet Değişimi (%)
90	90	90	30 770 000	14,15	-	-
80	80	80	40 770 000	16,54	32,49	16,89
70	70	70	60 870 000	21,15	97,82	49,46

Burada yapılan çalışmadan da görüldüğü gibi makine verimi, işyeri verimi ve dolum faktörü yaygın olarak işletmelerde karşılaşılan % 70 'lerden % 90'lara çıkarılabildiğinde 920 000 ton cevher ve 7 926 393 m³ dekapaj kapasiteli bir işletme için ilkyatırım miktarı % 97,82 oranında düşerken ve buna bağlı olarak birim maliyetlerde % 32,49 oranında azalmaktadır.

İşletme koşulları gerekse makinaları optimum değerlerde çalıştırmak birim maliyetleri sabit tutmak için gereklidir. Bu anlamda % 83 gibi verimlerde işletme ve makinaları çalıştırmının yapılan model çalışmada optimizasyon açısından ideal olacağı görülmektedir(Şekil 4.)



Şekil 4. Değişen faktörlerde oluşan yatırım ve birim maliyet grafiği.

5. SONUÇLAR

Madencilik yatırımlarında iş makinalarının ilkyatırım miktarları yüksek tutarlara ulaşmaktadır. Kapasiteyi artırmak özellikle son zamanlarda düşen cevher tenörüne bağlı olarak yüksek kapasitelerde üretimler yapabilmek için büyük kapasiteli iş makinalarına gereksinim duyulmaktadır. Kapasiteyi arttırmak yada yüksek kapasiteli üretim yapmak için çok sayıda makina almak yerine makine-ekipmanları optimum koşullarda verimli şekilde değerlendirerek ideal performanslarda üretim yapmak özellikle ülkemiz gibi sermaye darlığı olan ülkeler için önemlidir.

KAYNAKLAR

Başçetin A., (1999) Açık İşletmelerde Optimum Ekipman Seçimi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

C.Şensöğüt, (2007) I. Maden Makinaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 10-12 Mayıs, Kütahya.

Eskikaya Ş., (1986) İş Makinalarının Verimlilik Analizi, TKİ Genel Müdürlüğü, Teknoloji ve Uygulama Geliştirme projesi, Ankara.

Farias, J. H., Einkel, O., Richter, B. & Pelzer, W.(1993) New Conveying System. J-1 Norte for Chilean Copper Ore Opencast Mine. Bulk solids handling, Volume 13, Number 4.

Kahriman, A. (1993) Maden İşletme Projeleri Hazırlama ve Değerlendirme, Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, Sivas.

Kırmanlı C., Erçelebi S.G. (2009) An Expert System For Hydraulic Excavator and Truck Selection In Surface Mining. The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Volume 109, December, pp: 727-738.

Köse, H., vd. (2009) Açık İşletme Tekniği, 3. Baskı, D.E.Ü Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 256, İzmir.

Köse, H., Aksöz H.İ., Kahraman B.(2009) "Maden İşletme Ekonomisi", DEU Mühendislik Fakültesi Yayınları No:223, s.230

Lizotte, Y. (1988) Economic and Technical Relations Between Open-Pit Design and Equipment Selection, Mine Planning and Equipment Selection, Singhaj (Ed), Balkema, Rotterdam.

Mallı, T.(2011) Yatırım Teorileri Kullanılarak Yeraltı ve Yerüstü Maden İşletme Sınırının Belirlenmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Basılmamış.

Y. Çebi (1995) “Computer Aided Design of Open-Pits and Middle and Long Term Mine Planning”, , Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Sciences, PhD, June.

MOBILE METAL ION SOIL GEOCHEMISTRY

GEZİCİ METAL İYONU ZEMİN JEOKİMYASI

Alan MANN, *SGS Australia, 10 Reid Rd, Newburn, Western Australia, 6105*

Pierrette PRINCE, *SGS Minerals Services 1885 Leslie Street, Toronto Canada*

ABSTRACT

Ligand based soil extraction geochemistry is a high resolution, multi-element soil analysis technique for mineral exploration. The use of strong complexing ligands in the extraction procedure limits matrix element interference, reduces background analyte values (noise) and overcomes potential pH effects. Improvements in the spatial and amplitude (signal to noise) resolution of this technique compared to total digestion or more aggressive partial digestions is useful not only in areas with exotic cover, but in residual and weathered terrain where duricrust development and mechanical transport can cause dispersion of anomalies.

At the Green Tree Frog Prospect in Queensland, Australia superior amplitude contrast and more accurate delineation of sub-surface mineralization is observed for ligand based geochemistry compared to fire assay in terrain with exotic tertiary cover. In Guinea, West Africa ligand based soil extraction of gold has outlined five new economic zones since its introduction. Comparison of a range of weak and strong digestions and extractions from glacial till at Cross Lake, a VMS deposit in the Abitibi belt of Canada, provides very good evidence as to the value of strong ligands in the extraction.

ÖZET

Ligand (merkezi atoma bağlı atom, molekül veya iyon) tabanlı zemin özütleme (ekstraksiyon) jeokimyası, mineral araştırmaları için yüksek çözünürlüklü, çok elementli bir zemin analizi tekniğidir. Özütleme işleminde (prosedüründe) güçlü karmaşık ligandların kullanımı; matris element girişimini sınırlar, arka plan analit (analitik yönden incelenenin) değerlerini (gürültü veya paraziti) azaltır ve potansiyel PH etkilerinin üstesinden gelir. Bu tekniğin uzamsal ve genlik (sinyal - parazit) çözünürlüğündeki iyileştirmeler; yalnızca örtüsü havza dışından gelen (egzotik örtülü) alanlarda değil, yüzeyindeki sert kabuk veya tabaka (duricrust) gelişimi ve mekanik taşınmanın anomalilerde dağınıklığa neden olduğu artık ve ayrılmış arazilerde, toplam özümseme veya daha agresif olan kısmi özümsemeye kıyasla, daha yararlıdır.

Queensland (Avustralya), Green Tree Frog arama çalışmasında; egzotik tersiyer örtülü arazide, ligand tabanlı jeokimya uygulamasında, ateş analizine kıyasla, daha üstün genlik zıtlığı (kontrastı) ve daha doğru yeraltı mineralleşme sınırlandırılması gözlenmiştir. Gine'de (Batı Afrika); altının ligand tabanlı zemin özütlemesi, tanıtımından bu yana, beş yeni ekonomik zonu ana hatlarıyla ortaya çıkartmıştır. Cross Gölü buzul birikintisi (Kanada'da Abitibi kuşağında bir volkanik masif sülfat yatağı) ile ilgili bir dizi zayıf ve kuvvetli özümsemeler ve özütlemelerin karşılaştırılması, bu kuvvetli ligandların özütlemedeki değeri için çok iyi kanıtlar sağlamıştır.

1. INTRODUCTION

Increasingly, mineral exploration is being undertaken in areas with greater soil coverage and less geological exposure. The challenges of exploring effectively in such areas have in the last decade tended to rely heavily on geophysical and other remote sensing techniques. Whereas many new and innovative advances have been made with these techniques, it is the opinion of many exploration geologists that advances in geochemical techniques have by comparison been relatively limited over the same time frame. They are however, far from non-existent. For example, improvements to Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy (ICP-MS) in sensitivity, accuracy and reliability have seen application of this technique bring significant advancements to soil geochemical prospecting methods. Along with this we have seen a revitalization of partial or selective extraction techniques which are ideally suited to this instrumentation and enable it to fully utilize the inherent low detection limit capabilities.

This paper will explore one such technique – ligand-based soil extraction geochemistry, which has been commercially available for over a decade and used currently for mineral exploration around the world, in a range of terrain types, for a number of different commodities. One important reason why such techniques have come to the fore is that a great limiting factor – relatively high instrument detection limits – which prevailed when partial digestion geochemistry was first developed in the last half of the previous century, are no longer a factor. For most elements the lower limit of detection on ICP-MS after partial digestion of soils from most terrain types is now below natural background levels. The use of partial extractions reduces the amount of spectral background from unwanted or matrix-type analytes such as iron, silica, manganese and aluminum which cause many interferences or at best raise lower detection limits. More importantly, partial digestions and extractions appear to have the ability to discriminate in favour of the “active” ionic (source-related) signature of required commodity and pathfinder elements, relative to their “geochemical background” or mechanically transported signature, thereby improving both spatial and amplitude resolution of anomaly signals. This is the chemical equivalent of a geophysical technique which has improved resolution by filtering out unwanted “noise”. The methods of achieving improved resolution, the consequences of this, and some case histories are presented below.

2. METHODS

2.1 Partial Digestion and Extraction Techniques

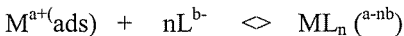
All wet chemical methods of dissolving a soil sample perform a partial digestion or partial extraction. Even very strong mineral acids do not entirely dissolve all soil components; the essential difference between methods is thus one of degree. The distinction between a partial digestion and partial extraction is a technically important one that needs to be made clear to avoid confusion and misrepresentation. A partial digestion is one in which part of the soil matrix is dissolved (as opposed to conventional or total digestion where the entire soil sample is dissolved). It can be either selective or non-selective. In the case of a selective partial digestion, it is the aim of the digesting solution to dissolve preferentially one of the soil phases (e.g. amorphous iron oxide or

organics), whereas a nonselective digest dissolves some of several or all matrix phases along with their contained or adsorbed elements.

By contrast a partial extraction attempts to dissolve or detach analytes from the soil matrix without dissolution of the matrix. It is however one of the primary aims of this geochemical method to achieve dissolution of particularly the adsorbed elements, many of them metals, without significantly dissolving the substrate to which they are attached. Thus bound material or metals occluded or included within the matrix will in general not be dissolved. In general the stronger the digestion, the greater the dissolved analyte concentrations and the lower the contrast. The converse is also true – up to a point. Whilst weaker digestions/extractions produce greater contrast there must be sufficient complexing strength to ensure reproducibility in the procedure. Distilled water for example will dissolve some elements from soils to provide the ultimate “weak leach”, but it is restricted to very soluble elements and is irreproducible analytically due to re-adsorption. Non-selective partial digestions, are generally based on mineral acids or mixtures thereof.

2.2 Ligand Based Soil Extractions

One way of achieving adsorbed metal dissolution whilst minimizing problems of re-adsorption is to have the extracting solution contain a strong ligand for each analyte that is capable of complexing with and detaching adsorbed ions and converting them to soluble species. A ligand is simply an inorganic or organic species that has strong complexing affinity for the analyte. Thus if the analyte is the metal species $Ma^{+}(\text{ads})$, and the ligand is represented by species Lb^{-} then the desorption or dissolution reaction can be written:



The dissolved species ML_n can have positive, zero or negative charge depending on the number of complexing anions, which is dependent on the coordination chemistry of the central cation. It is a requirement for effective soil extraction that each analyte M has an excess of its strong ligand L in the extraction solution. Some ligands can complex a number of metals but in general metal-ligand chemistry is very specific, and for multi-element extraction a range of ligands is required. Most metals have more than one possible complexing ligand. Figure 1 shows schematically the dissolution process for copper. Note that the number of adsorbed ions that are desorbed is determined by ligand strength and bonding energy status – partial extractions are operationally defined.

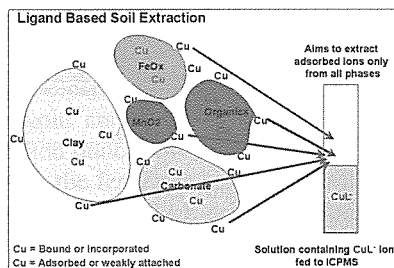


Figure 1.

3. RESULTS

3.1 Green Tree Frog Prospect, Queensland, Australia

In this first case history the results for Au from a ligand-based soil extraction and a total soil extraction (fire assay) are compared. The known trend of mineralisation, from a series of drill holes is shown on both diagrams in Figure 2.

This case history demonstrates several important features of ligand-based soil extractions. The mineralisation lies beneath 20m of tertiary cover, the Surtor Formation in Queensland, Australia. Firstly, both techniques show similar but not identical images. There is a relationship between them; the ligand-based extraction has not necessarily produced new anomalies but given better resolution. Secondly, although the absolute concentration of gold after ligand-based extraction is much lower, the amount of detail is much greater. This is because the fire assay has included a great deal of “bound” gold that has spread and displaced the anomaly. In essence this is due to the fact much of the dissolved gold has spent a great deal of time in the near surface and as a result has been mechanically dispersed from where it first was implanted, thus confusing the picture. By contrast the gold adsorbed onto soil particles and extracted into the ligand-based extraction solution is recent, not yet incorporated into soil forming processes and more closely related to source. For this reason partial soil digestions which dissolve a particular phase of the soil, if it contains both bound and as well as adsorbed analyte, will not be as well resolved as those containing only adsorbed ions from partial extraction. Another way to express this is to use the anomaly to background ratio, or response ratio. In the example above, the anomaly (in the north eastern corner) is twenty nine times background for the ligand-based soil extraction and less than ten times background for the fire assay. Soil digestion techniques such as aqua regia digestion will usually have a response slightly superior or equivalent to total digestion but inferior to partial extraction due to their inherent dissolution characteristics.

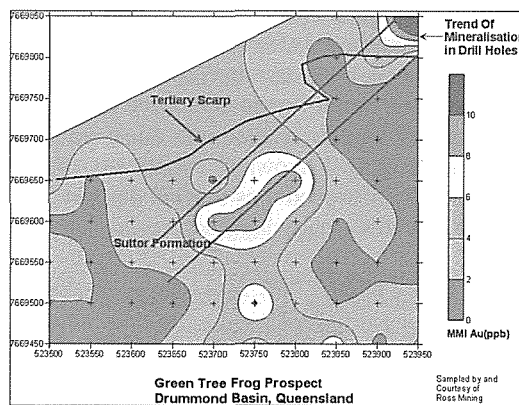


Figure 2(a).

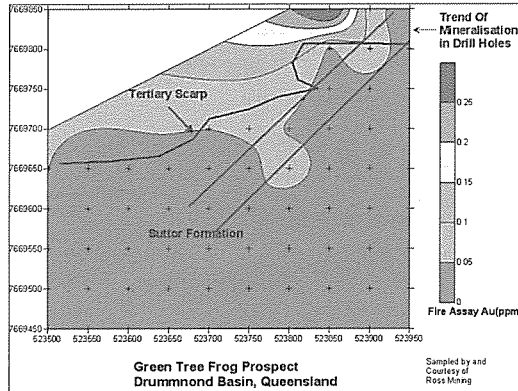


Figure 2(b).

The resolution above is also improved spatially as well as in amplitude (relative to background). Even where the tertiary cover is absent in the northeast corner of the survey area, the maximum response for the total digestion method is down-slope from both the partial extraction soil maximum and the trace of mineralisation – a sure sign of mechanical transport. Increased resolution is not just useful in covered terrain but is effective also where the regolith is residual or erosional. If the purpose of executing a soil survey is to define and optimise drilling locations, a 100m displacement (as in this case) can be the difference between success and failure.

3.2 LEFA Gold Corridor, Guinea, West Africa

The second case history, from Africa illustrates the usefulness of high resolution geochemistry derived from ligand-based soil extraction geochemistry in residual terrain. Lateritic terrain, particularly where the surface consists of pisolitic gravels, contains significant gold, but such gold is widely dispersed because of mechanical processes. Targeting mineralisation, often residing beneath an extensively weathered saprolite zone is difficult. In the Pharmacie area of the LEFA Corridor, conventional geochemistry defined a broad area with anomalous values but extensive drilling failed to locate a source. Following the introduction of a ligand-based soil extraction method, a “new” anomalous area was highlighted within the broad zone. Results for one section are shown in Figure 3. The first line of drilling subsequent to and based on the ligand-based geochemistry intersected mineralisation.

A survey using the same ligand-based extraction technique was used to cover both the area of the known Folokadi deposit and beyond its known boundaries (Figure 4). The known Folokadi deposit was clearly delineated. In addition a south western extension was also outlined. In this gold camp, which by March 2005 contained proved and probable reserves of 2.3 million ounces (40.5Mt @ 1.7g/t Au), ligand-based extraction geochemistry operating within the ferricrete (cuirasse) outlined five new economic gold zones. Significantly a large amount of RAB drilling to locate them was eliminated.

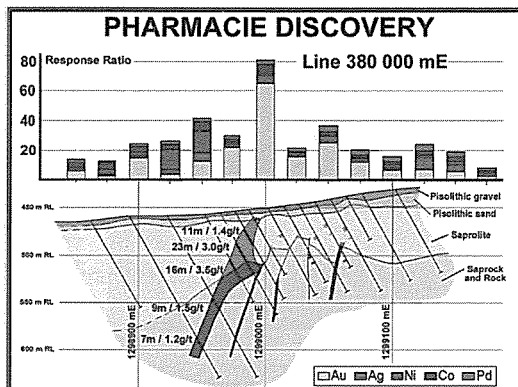


Figure 3.

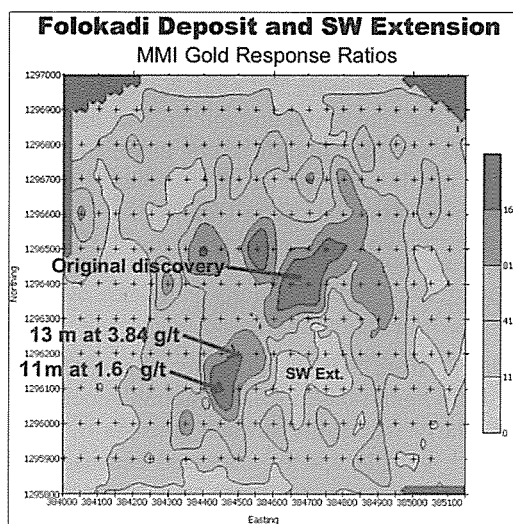


Figure 4.

3.3 Cross Lake, Abitibi, Canada

In 1999 and 2000 an industry sponsored CAMIRO study was undertaken the purpose of which was to compare the efficacy of different partial digestions and extractions at several mineralised sites in different geological and climatic settings. One of the sites chosen was at Cross Lake, which hosts Cu, Zn +/-Pb VMS-style mineralization located under 30-50m of exotic (till, glacial outwash gravel, sand and lacustrine clay) overburden in the Abitibi belt of Canada (Hamilton et al, 2001). Two lines of samples were taken in 1999, 40E and 6SE. On the former line the water table was approximately 2m below surface, on the latter less than 1.5m and sometimes artesian. Topographically the area is gently sloping, and forested with spruce, alder, fir and jack pine. Soil samples in 1999 for most techniques were taken from the B horizon whilst MMI samples were taken strictly from 10-25cm below the Ao horizon, which was used as the datum.

Figures 5(a) and 5(b) show the Zn values obtained from the samples on these two lines. Initially, some of the differences observed were ascribed to differences in sampling depth in the 1999 survey. Careful examination of the depth data however shows that for over 50% of sites, samples were taken from similar depths (i.e. the B horizon was close to 10-25cm below datum). Importantly, the crucial and anomalous samples over mineralization at 1425S on Line 40W and 225S on Line 6SE were taken at the same depth (10-25cm below datum) for all techniques. In Figures 5(a) and 5(b) the aqua regia extractions show overall higher concentrations of Zn (values are in ppm), but little or no contrast over the mineralization (i.e. background values are also high).

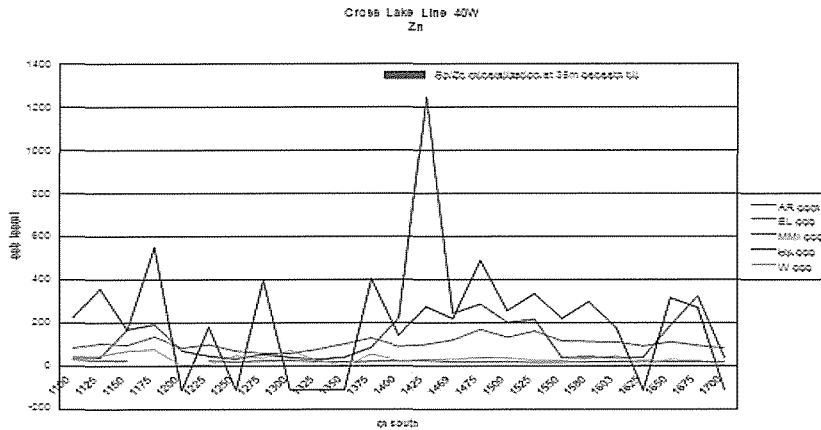


Figure 5(a).

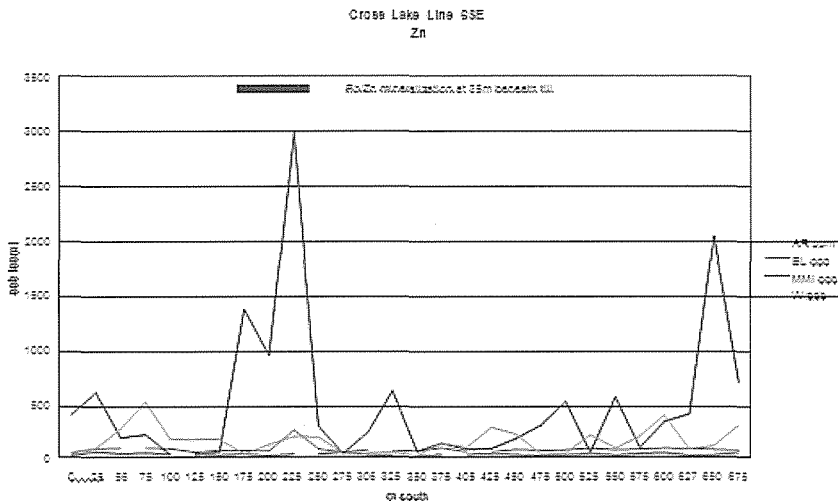


Figure 5(b).

Enzyme Leach, a weak peroxide based leach indicates a small peak over mineralization on line 6SE but none on line 40W. Water shows low extraction values for Zn. By contrast, MMI, the only strong ligand based extraction, shows significant contrast over mineralization on both lines (the subsidiary peak at the southern end of both lines was subsequently proved by drilling to be over similar (weakly mineralized) lithology to the VMS deposit). Re-sampling in 2000 with all samples at the same depth (10-25cm) at all sites produced similar (strong contrast) results for MMI and weaker but significant responses for Enzyme Leach and an ammonium acetate leach. These results suggest that a greater proportion of the Zn directly attributable to the deposit resides in an adsorbed form which has been made soluble by the strong ligand. Conversely much of the background Zn which is less directly linked to mineralization, and which has been re-worked by mechanical processes over time, resides internally within soil phases and is only released by strong digestion solutions.

4. CONCLUSIONS

The last decade has seen some changes to exploration geochemistry which relate more to improvements in resolution rather than radical changes in concepts and methodology. In some ways this is similar to the changes which have taken place in geophysics. Improvements in instrumentation, innovations in analysis and element suites available, and better software packages for data presentation have all contributed.

KAYNAKLAR

Mann, A.W. (2009) Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis 10, 17-26.

DELME PARAMETRELERİ VE MADENCİLİKTEKİ UYGULAMALARI

DRILL PARAMETERS AND ITS APPLICATIONS IN MINING

Yadigar V. MÜFTÜOĞLU, *Karaelmas Üniversitesi, Müh. Fak., Zonguldak*
Tuğrul ÜNLÜ ve Özgür YILMAZ, *Karaelmas Üniversitesi, Müh. Fak., Zonguldak*

ÖZET

Bu bildiride, madencilik sektöründe giderek kullanımı yaygınlaşan delme parametreleri ele alınmış ve delici türüne göre parametreler arası ilişkiler irdelenmiştir. Bu parametrelerden yararlanarak, delinen ortamda karşılaşılan kaya birimlerinin göreceli olarak sınıflandırılması ve bazı indeks özelliklerinin (dayanım, çatlak sıklığı, özgül enerji, vb.) kestirimi tartışılmıştır. Gerek yeraltı ve gerekse yerüstü madenciliğinde, planlamadan üretim aşamasına kadar uygulama potansiyeli olan bu yöntemin farklı araştırmacılar tarafından, döner ve darbeli deliciler üzerinde yapılan çeşitli amaçlara yönelik çalışmalar gözden geçirilmiştir. Madencilik sektöründe tipik sayılabilecek bazı uygulamalar sunulmuştur.

ABSTRACT

In this paper, the drill parameters which their uses have been increasing steadily were discussed and depending on the drill type, their inter-relationships were evaluated. Using these parameters, relative classification and prediction of some index properties (strength, fracture intensity, specific energy, etc.) of rock units encountered in the drilling environment were discussed. Application potential of this method both in underground and surface mining, from planning to production phases, the work with various purposes carried out by different researchers on rotary and percussive drills were reviewed. Some typical application examples in the mining sector were presented.

1. GİRİŞ

Delik delme sırasında, gerek kaya ve matkabın etkisiyle ve gerekse sondaj makinasının performansının izlenmesi sonucunda elde edilen parametrelerden madencilik sektöründe çok değişik amaçlarla yararlanılmaktadır. Madencilik sektöründe delik delme ve sondaj çalışmaları, aramadan işletme aşamalarına kadar tüm aşamalarda yaygın olarak başvurulan işlemler olduğu için delme parametrelerinin kullanımı çok büyük bir potansiyele sahiptir. Konuyu cazip kılan bir diğer önemli olgu da delme parametrelerinin derlenmesinde yararlanılan mikro işlemci esaslı veri kayıt sistemlerindeki hızlı teknolojik gelişmelerdir. Jeofizik yöntemlerin özellikle kuyu jeofiziği yöntemlerinin madencilikteki giderek artan uygulamalarına karşın, delme parametrelerinden kaya kütle özelliklerinin belirlenmesi maliyet, zaman ve işgücü açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Sondaj makinasının kullanımına ilişkin parametrelerin etkisi normalize edildiğinde, makine performansından derlenen verilerin delinen kayacın çeşitli özelliklerini yansıtacağı şüphesizdir. Delme sırasında kayıt edilen delme hızı, matkaba uygulanan baskı kuvveti, devir sayısı, moment vb. parametrelerin analizi ile delinen kayacın türü, litolojisi, dayanımı, içerdiği süreksizliklere ilişkin detay bilgilere kolayca ulaşmak mümkündür.

Günümüzde, gerek darbeli ve gerekse döner (rotary) sondaj makinaları için kayıt cihazları mevcut olup, ticari olarak değişik kuruluşlarca kullanıma sunulmuştur. Uygulamalarda, darbeli deliciler sığ derinlikler için yeterli olabilmekte, fakat daha derin sondajlar için döner deliciler gerekmektedir. Literatürde sondaj sırasında ölçüm (MWD-Monitoring/Measurement While Drilling), sondaj sırasında kayıt (LWD-Logging While Drilling) gibi değişik isimlerle karşımıza çıkan yöntemin uygulama alanı; açık işletmecilikten yeraltı işletmeciliğine, kömür madenciliğinden metal madenciliğine kadar farklı amaçları kapsamaktadır. Bunlar; kayaç dayanımının kestirimi, cevher yatağının sınırlarının belirlenmesi, delici performansının optimizasyonu, delicinin otomasyonu, matkaptaki aşınmanın izlenmesi, vb. gibi sıralanabilir. Sondaj sırasında elde edilen verilerin analizi ile söz konusu maden işletmesinin gerek planlama ve gerekse işletme aşamalarında karar mekanizmalarında yol gösterebilecek çok değerli bilimsel yaklaşımlar geliştirilebilir. Bu tür uygulamalara ilişkin somut örnek ve yaklaşımlar daha sonraki bölümlerde ele alınacaktır.

2. DELİCİLER VE DELME PARAMETRELERİ

Madencilikte kullanılan delicileri, delme sistemi açısından darbeli ve döner olmak üzere iki ana grupta toplamak olasıdır. Darbeli deliciler de kendi içinde darbe mekanizmasına göre üstten ve tabandan darbeli ve bunlar da kendi arasından tahrik sistemine göre basınçlı havalı ve hidrolik şeklinde alt gruplara ayrılmaktadır. Her bir delicinin kullanım alanı görece farklılıklar içermektedir. Örneğin açık işletmecilik açısından değerlendirildiğinde; orta ve geniş çaplı delme işlerinde döner, orta çaplı delik için tabandan darbeli ve küçük çaplı delikler için üstten darbeli delicilerin kullanıldığı görülmektedir. Doğal olarak kullanılan delme parametreleri de kullanılan delme sistemine göre farklılık arz edebilmektedir.

2.1. Delme Parametreleri

Delme parametreleri, delme işlemi sırasında sistem tarafından otomatik olarak ölçülen ve diğer parametrelerden türetilerek hesaplanan parametreler şeklinde iki ayrı grupta tanımlanabilir. Ölçülen delme parametrelerini de bağımlı ve bağımsız parametreler şeklinde ikiye ayırmak olasıdır. Bağımsız parametreler deliciyi kullanan operatörün kontrolünde olan dönüş hızı ve baskı kuvveti gibi parametrelerden oluşurken, bağımlı parametreler de ilerleme hızı, dönüş momenti, titreşim gibi parametrelerden oluşmaktadır. Hesaplanan delme parametrelerine örnek olarak özgül enerji ve patlatılabilirlik indeksi gibi kaya kütlesi dayanımının göstergesi olabilecek parametreler verilebilir.

2.1.1. Bağımsız Parametreler

Derinlik: Delme parametrelerinin tümü derinlik bazlı olarak kaydedildikleri için derinliğin doğru bir şekilde ölçümü oldukça önemlidir. Günümüzde kullanılan sistemlerde bu sorun tümüyle çözümlenmiştir.

Zaman: Kayıt edilen verilerin tarih ve zamanını gerçek bazlı ve gerekli duyarlılıkta olması tüm delme parametrelerinin birlikte irdelenmesi açısından bir zorunluluktur.

Dönüş Hızı: Matkabın dakikadaki devir sayısını ifade etmekte olup, özellikle ilerleme hızı üzerinde etkilidir.

Baskı Kuvveti: İlerlemenin gerçekleşmesi için matkaba uygulanan baskı kuvveti olup, bu parametredeki herhangi bir değişiklik durumunda delme hızı da değişecektir.

2.1.2. Bağımlı Parametreler

Delme Hızı: Delinen kaya kütlesinin jeomekanik ve jeoteknik özelliklerine bağımlı olarak matkabın kayaç içindeki ilerleme hızıdır. Farklı kaya birimlerinin litolojik olarak ayrılması ve delme sırasında sınırlarının belirlenmesi açısından önemli bir parametredir. Baskı kuvveti, dönüş hızı, hava basıncı, matkabın kullanım (aşınma) durumu ve tasarım özellikleri delme hızı üzerinde oldukça etkilidir. Değerlendirme kolaylığı açısından delme işlemi sırasında tüm bu parametrelerin mümkün olduğunca sabit tutulması, dolayısıyla delme hızı üzerindeki olası etkilerinin normalize edilmesi önemli bir husustur. Bir diğer önemli konu da yalnızca delme hızı için değil tüm delme parametreleri için; delme işleminin gerçekleştirileceği jeolojik ortamı ve kaya birimlerini yeterince temsil eden aynı sahadan alınmış karot örneklerinden yararlanılarak, delme parametrelerinde görülen anomalilerin irdelenerek açıklığa kavuşturulmasıdır. Buna ilişkin tipik bir örnek, bir kalker taşocağında darbeli sondaj makinası ile 15m'lik gevşetme deliklerinin delinmesi sırasında belirlenen iki belirgin zon ve basamaktaki çatlaklı yapıdır (Müftüoğlu, 1987). Scoble vd. (1989), Kanada'daki bir kömür açık işletmesinde delme hızında gözlemlenen değişimlerle kömür ve çevre kayaç ayırımının başarıyla yapılabileceğini göstermişlerdir. Aynı zamanda Schunnesson (1997) ve Yue vd. (2004) delme hızının çeşitli kayaç özelliklerinin kestirilmesinde oldukça başarılı olduğu konusunda birleşmektedirler. Kahraman vd. (2003), darbeli deliciler üzerinde yaptıkları çalışmalarda; sekiz ayrı kayaç türü için delme hızı ile özgül

enerji, dolayısıyla çekme dayanımı ve tek eksenli basınç dayanımı arasında önemli ilişkiler geliştirmiştir. Kahraman (1999), daha önce döner ve darbeli sondaj makinaları için yaptığı çalışmalarda çoklu regresyon yönteminden yararlanarak delme hızı ile bazı delme parametreleri ve indeks özellikleri arasında güçlü ilişkilere dikkat çekmektedir.

Dönüş Momenti: Matkaba uygulanan dönüş kuvveti olup, matkap yarıçapı ve matkap üzerindeki baskı kuvveti ile ilişkilidir. Delme hızı kadar popüler olmasa bile kayacın dayanımının kestiriminde delme hızı ile birlikte önemli bir parametredir. Schunnesson (1998) yeraltında kullanılan darbeli delici üzerinde yaptığı çalışmada dönüş momenti ve delme hızından yararlanarak delinen kayaçların karakterize edilebileceğini göstermiştir. Araştırmacı, delme parametrelerinin normalizasyonuna da dikkat çekmektedir.

Titreşim: Delme işlemi sırasında kayaç ve matkabin etkileşimi sonucunda oluşan; tür ve düzeyi delme sistemi (döner/darbeli), matkabin türü ve kayaç özelliklerine göre değişen bir parametredir. Örneğin darbeli delicilerde, darbe enerjisinin ancak bir kısmı kayanın yenilmesinde kullanılır, geriye kalan kısmı titreşim şeklinde tijler boyunca geriye yansır. Delinen kayacın dayanımı arttıkça, geriye yansıyan titreşim enerjisi miktarı da artar. Buna karşın daha düşük dayanımlı veya killi birimlerde ise plastik davranış özelliğinden dolayı darbenin önemli bir kısmı sönümlenir, dolayısıyla daha düşük titreşim değerleri elde edilir. Titreşim logu delme hızı ile birlikte kayaç tanımlama ve dayanımın kestirimi açısından önemli bir parametredir.

Hava/Su Basıncı: Delme işlemi sırasında delik tabanındaki kırıntıların temizlenmesi açısından önemlidir. Hava basıncı delinen ortamdaki eklemler, çatlak zonları ve çatlaklar içindeki dolgu vb. özelliklere göre değişir. Su veya çamur kullanılan derin sondajlarda ise, özellikle geçirgenliğin belirlenmesinde önemli bir işleve sahiptir. Geçirgenliği yüksek olan zonlarda, örneğin kumlu, çakıllı birimlerde, sondaj sıvısının bağlı olduğu pompa göstergesindeki değerlerde, sondaj sıvısı kaybı nedeniyle önemli düşüşler görülür. Bu nedenle sondaj sıvısı, basınç logu yüksek geçirgenliğe sahip zonların ve içi boş açık çatlakların belirlenmesinde yardımcı olabilir.

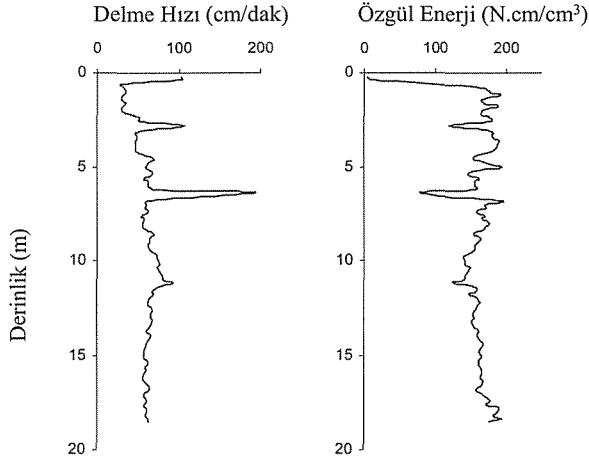
2.1.3. Hesaplanan Parametreler

Özgül (Spesifik) Enerji: Teale (1964) tarafından kazılan veya delinen birim hacim kaya için tüketilen enerji miktarı olarak tanımlanmıştır. Döner delme için kullanılan enerji miktarı aşağıda verilen 1 nolu eşitlikle tanımlanmıştır.

$$E_s = \left(\frac{F}{A} \right) + \left(\frac{2\pi}{A} \right) + \left(\frac{N \cdot T}{P_r} \right) \quad [1]$$

- E_s = Özgül enerji (N.cm/cm³)
 F = Matkaba uygulanan baskı kuvveti (N)
 A = Delik kesit alanı (cm²)
 N = Matkap devir sayısı (rpm)
 T = Dönüş momenti (N.cm)
 P_r = Delme hızı (cm/dakika)

Mozaffari (2007) Avrupa'nın en büyük bakır açık işletmesi olan Aitik ocağında, gevşetme deliklerinin açılmasında kullanılan döner deliciler üzerinde delme parametrelerini irdeleyerek patlatma tasarımı ve optimizasyonunu araştırmış olup, önemli bulgulara ulaşmıştır. Delme hızı ve özgül enerji arasındaki direkt ilişki ilginç bir örnektir (Şekil 1).



Şekil 1. Delme hızı ve özgül enerji arasındaki uyumluluk (Mozaffari, 2007).

Darbeleri deliciler için geliştirilmiş özgül enerji yaklaşımları doğal olarak bazı farklılıkları içermektedir. Bu konuda oldukça kapsamlı çalışmaların yürütüldüğü Amerikan Madencilik Araştırma Bürolarında (USBM) delme hızının kestirimine yönelik birçok görgül eşitlik geliştirilmiştir. Tandanad ve Unger (1975) delme hızı ve özgül şarj arasındaki ilişkiyi 2 nolu eşitlikteki gibi tanımlamıştır.

$$P_r = \frac{E_p}{E_s \cdot A \cdot K} \quad [2]$$

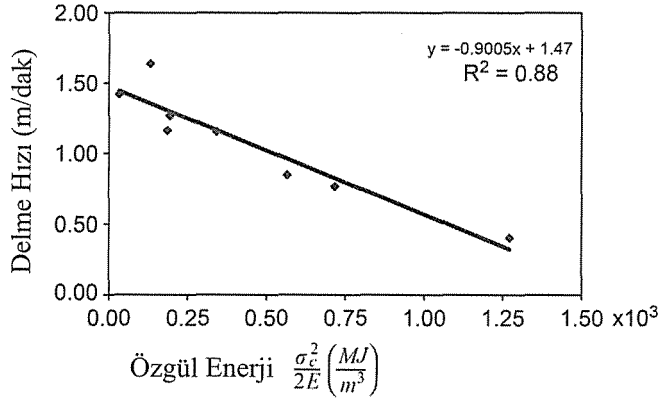
- P_r = Delme hızı (inç/dak)
 E_p = Delici makinanın gücü (ft-lb/dak)
 A = Delik kesit alanı (inç²)
 E_s = Özgül enerji (inç-lb/inç³)
 K = Delik çapına bağlı ölçek faktörü (1.583-0.389 D)
 D = Delik çapı (inç)

Schmidt (1973) ise arazide yapılmış çalışmalardan elde edilen veri tabanından hareketle farklı çaplardaki delme hızlarının kestirimine yönelik 3 nolu eşitlikte ifade edilen ilişkiyi geliştirmiştir.

$$P_r = \frac{48 \cdot E_w \cdot T_r}{\pi \cdot E_s \cdot D^2} \quad [3]$$

- P_r = Delme hızı (inç/dak)
 E_w = İş miktarı (darbe sayısı x darbe enerjisi, ft-lb/dak)
 T_r = Enerji transfer oranı (ort = 0.7)
 E_s = Özgül enerji (inç-lb/in³)
 D = Delik çapı (inç)

Her iki eşitliğin kullanımında ilave olarak Protodyakonov Sayısının türetilmiş bir şekli olan Kayaç Dayanım Katsayısından (CRS) yararlanmayı gerekli kılmaktadır (Clark, 1982). Delme hızı ile özgül enerji arasındaki ilişkiye ilişkin tipik bir örnek olarak, ülkemizde bir taş ocağı ve üç otoyol inşaatında kullanılan darbeli deliciler üzerinde yapılan çalışmada saptanan ilişki Şekil 2’de sunulmuştur (Kahraman vd., 2003).



Şekil 2. Delme hızı ve özgül enerji arasındaki ilişki (Kahraman vd., 2003).

Kayaç Kalite İndeksi: Leighton vd. (1982) tarafından geliştirilen bu indeks baskı kuvveti ve delme hızından saptanmakta olup, eşitlik 4’de ifade edilmiştir (Leighton vd., 1982).

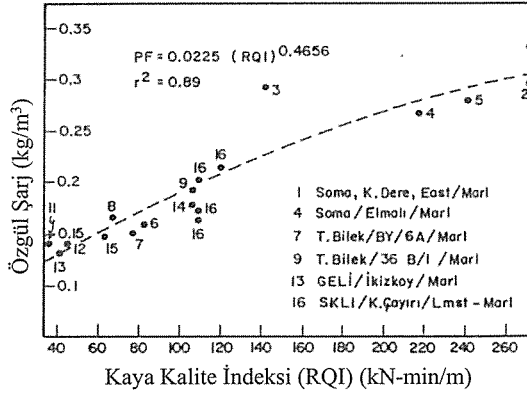
$$RQI = \frac{P \cdot t}{H} \quad [4]$$

- RQI = Kayaç Kalite İndeksi
 P = Baskı kuvveti
 t = Bir deliğin delinme süresi
 H = Delik uzunluğunu göstermektedir.

Araştırmacılar, döner delicilerle açılan geniş çaplı (229 mm) gevşetme deliklerinin ve ANFO patlayıcının kullanıldığı bir açık işletmede yaptıkları çalışmada, özgül şarj ve RQI arasında çok belirgin bir ilişki saptamıştır. Bell ve Brawner (1987) ise bu indeksi özgül şarjın kestirimine yönelik olarak çok sayıda açık işletmede gerçekleştirdikleri çalışmada kullanarak yine çok belirgin ilişkiler saptamıştır.

Müftüoğlu vd. (1991), TKİ’nin linyit açık işletmesindeki delme patlatma uygulamalarını araştırmaya yönelik yürüttükleri kapsamlı bir araştırma projesi

kapsamında RQI ile özgül şarj arasında oldukça belirgin bir ilişki elde etmiştir. ANFO'nun yoğun olarak kullanıldığı bu işletmelerde delik çaplarının 152-229 mm, özgül şarjın 0.13-0.333 kg/m³ arasında olduğu bu uygulamalar için saptanan ilişki Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Özgül şarj ve kaya kalite indeksi arasındaki ilişki (Müftüoğlu vd., 1991).

Patlayabilirlik İndeksi: Kaya kütleinin parçalanmaya karşı gösterdiği direnci tanımlamak amacıyla Lilly (1986) tarafından geliştirilmiş bir parametre olup, tanımına ilişkin önerilen eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$BI = 0.5(RMD + JPS + JPO + RDI + S) \quad [5]$$

BI = Patlayabilirlik indeksi

RMD = Kaya kütle tanımı

Kırılğan kaya kütlesi için 10

Masif kaya kütlesi için 20

Tümüyle masif kaya kütlesi için 50 değeri baz alınır.

JPS = Eklem düzlemi aralığı (Eklemler arası mesafe)

Sık dağılım (<0.1m) için 10

Orta sık dağılım (0.1-1.0 m) için 20

Geniş dağılım (>1.0 m) için 50 değeri uygulanır.

JPO = Eklem düzlemi konumu

Yatay için 10

Ayna dışına doğru eğim için 20

Doğrultunun aynaya dik konumu için 30

Ayna içine doğru eğim için 50

RDI = Kayaç yoğunluk etkisi

RDI = 25 (d)-50,

d=kayacın yoğunluğu (t/m³)

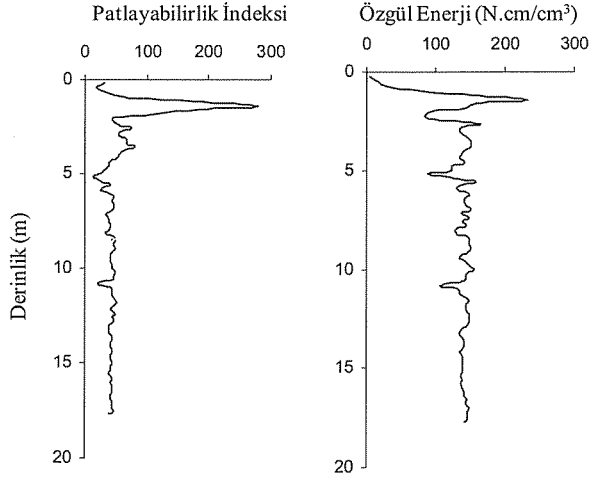
Eğer d ≤ 2 ise RDI =1 uygulanır.

S = Kayacın Dayanımı

S = 0.05 (UCS)

UCS = Kayacın tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

Patlayabilirlik indeksi kullanımda olan ticari kayıt sistemlerinde, yazılım tarafından otomatik olarak hesaplanmakta olup, özgül enerji ile dikkat çeken uyumu Şekil 4’de sunulmuştur (Mozaffari, 2007).



Şekil 4. Patlayabilirlik indeksi ile özgül enerjinin uyumu (Mozaffari, 2007).

3. MEVCUT ÇALIŞMALAR

Konuya ilişkin mevcut çalışmaların bir kısmına, delme parametreleri irdelenirken yukarıda değinilmiştir. Mevcut çalışmaları kapsamlı bir şekilde değerlendiren çok sayıda yayın mevcut olduğu için, burada tipik sayılabilecek bazı çalışma ve uygulamalara değinilecektir (Müftüoğlu vd., 1989; Yue vd., 2004).

Delme parametrelerinden jeolojik ve jeomekanik özelliklerin kestirimi uygulamalarının, uzun yıllar petrol ve doğalgaz sondajlarında kullanımını takiben, 1970’lerden itibaren madencilik sektörüne yansdığı görülmektedir.

Scoble ve Peck (1987) delme parametreleri için geliştirilen otomatik veri kayıt sistemini tanıttıkları bu çalışmada, sistemin açık işletmecilikte kullanım potansiyelini örneklerle irdelemiştir. Scoble vd. (1989) Kanada’da bir kömür açık işletmesinde yürüttükleri çalışmalar sonucunda, delme hızı logunu, kömür ve çevre kayalarlarının ayırımında başarıyla kullanmış olup, özellikle kayaç dayanımındaki değişimlerin ilerleme hızı ve dönüş momentinde kolaylıkla izlenebildiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca özgül enerjinin de kayacın dayanımının kestirimi açısından önemli bir parametre olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Peck (1989) yine Kanada’da döner delicilerin kullanıldığı bir kömür açık işletmesinde yaptığı çalışmada kayacın dayanımındaki değişimlere en duyarlı parametre olarak özgül enerjiye dikkat çekmekte ve sistemin maden mühendisliğinde uygulanma potansiyelini kapsamlı bir şekilde ele almaktadır.

Inyang ve Pitt (1990) dokuz farklı kayaç türü üzerinde darbeli delici ile yaptıkları araştırmada, tek eksenli basınç ve dolaylı çekme dayanımlarının delme

parametrelerinden kestirimini incelemiştir. Pollitt vd. (1991), bir kömür açık işletmesinde döner deliciler üzerinde yaptığı çalışmalarda, delme parametreleri ile neutron ve gamma logu gibi kaya jeofiziği loglarından derlenen verileri karot loglarıyla da karşılaştırarak irdelemiş ve kömür damarının konumunun ve kalınlığının oldukça hassas bir şekilde saptanabileceğini göstermiştir. Hendricks vd. (1992) AquilaTM kayıt sistemini kullanarak, bir kömür açık işletmesinde kömür ve çamurtaşı ayrımının başarıyla yapılabildiğini ve sistemin yararlarını vurgulamıştır.

Schunnesson (1997, 1998) ve Yue vd. (2004) kayaç özelliklerinin belirlenmesi açısından en etkin parametrenin delme hızı olduğu görüşünde birleşmektedirler. Schunnesson İsveç'te bakır ve demir ocaklarında, yeraltında kullanılan darbeli deliciler üzerinde yürüttüğü çalışmalarda, delme hızı ve dönüş momentinin normalize edilerek kullanılması durumunda kayaç dayanımındaki değişimleri yansıtabileceğine dikkat çekmektedir.

Vyne (1999) Strata LoggerTM isimli delme parametreleri kayıt sisteminin donanım özellikleri ve veri transferine ilişkin sorunlara değinerek, GPS (Global Positioning Satellites) sistemin de devreye alınmasıyla sistemin getireceği yararları dikkat çekmektedir. Liu ve Karen (2001) Amerika'daki bir demir açık işletmesinde döner deliciler üzerinde yürüttüğü çalışmada delme parametrelerinin kendi aralarındaki ilişkilerini irdelemiştir. Smith (2002) Avustralya'daki altın ve bakır açık işletmelerinde yürüttüğü çalışmada titreşim logunun kaya kütlelerinin karakterizasyonunda kullanılabilirliğini araştırmış ve homojen ortamda daha başarılı sonuçlara ulaşmıştır.

Yin ve Liu (2001), delme parametrelerini döner deliciler üzerinde, Minnesota'da bulunan büyük bir takonit açık ocağında patlatma tasarımına yönelik olarak araştırmıştır. Araştırmalarında kaya kalite indeksi ile özgül şarj ilişkisi irdelenmiştir.

Segui ve Higgins (2002), Avustralya'da bazı açık işletmelerde gerçekleştirdikleri ölçümlerde delme parametrelerinin yerinde kalibrasyonu ve uygun bir şekilde değerlendirilmesi durumunda, patlatma tasarımında çok yararlı bir araç olabileceği sonucuna varmıştır. Araştırmacılar Avustralya'da demir ve bakır açık işletmesinde yapılan patlatma işlerinde sistemin nasıl yararlı olabileceğini örneklerle açıklamıştır. Segui (2002) delme parametrelerinden patlatma tasarımında nasıl etkin bir şekilde kullanılabileceğini irdelemiştir. Klasik patlatma tasarımı yerine asimetrik patlatma olarak tanımladığı tasarımda delme verilerinden yararlanarak, kaya kütlelerindeki değişimlere uygun olarak, uygun dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, patlayıcı tipi ve özgül şarjın doğru uygulanmasının yararlarını örneklerle açıklamıştır.

Yue vd. (2004), Hong Kong'da ayrılmış volkanik kayaçlar üzerinde darbeli delicilerle yaptıkları çalışmada, delme hızından yararlanarak belirgin zonlara ayırmanın başarıyla gerçekleştirilebileceğini göstermiştir.

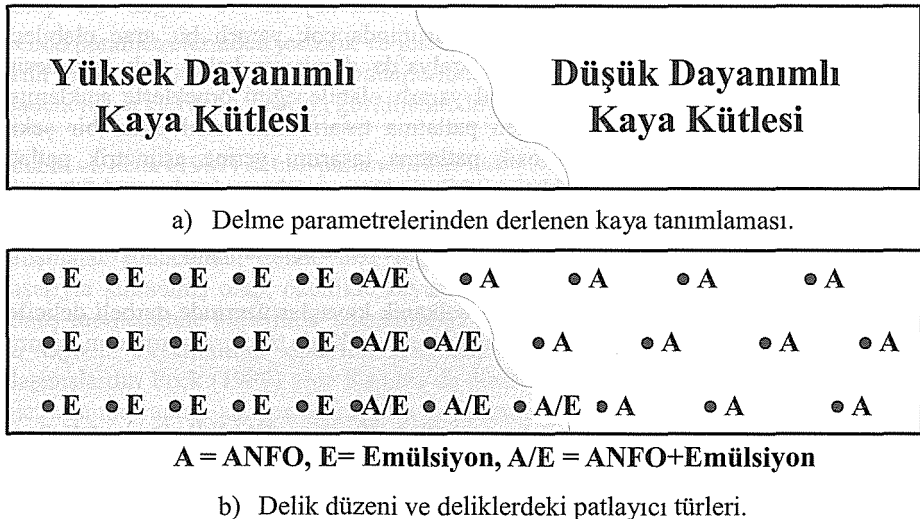
Gonzales (2007), bir kömür açık işletmesinde kullanılan elektrikli döner delicilerden elde edilen delme parametrelerini kuyu jeofiziği logları ile destekleyerek kayaç sınıflaması ve kömürün tanımlanması üzerine yoğunlaşmıştır. Dönüş momenti, delme hızı ve gamma (yoğunluk) logu değerlerini değişik analiz yöntemleri ile irdeleyen araştırmacı çok çarpıcı sonuçlara ulaşmıştır. Beattie (2009) bir takonit açık ocağında

delme patlatma işlerinde kullanılan elektrikli delicide kayıt edilen delme parametrelerini yapay sinir ağları (Neural Networks) yöntemiyle değerlendirmiştir. Mevcut jeolojik yapı içinde yapay sinir ağları yönteminin kayaç türü sınıflamasında yeterince başarılı olamadığı sonucuna ulaşılmıştır. Utt vd. (2002) yeraltı kömür ocaklarında tavanı oluşturan kaya birimlerinin göreceli olarak dayanım sınıflamasını amaçlayan prototip bir delme kayıt sistemini tanıtip, yapay sinir ağları yöntemi yardımıyla delme hızı ve özgül enerji gibi parametrelerde kayaç dayanım sınıflamasına ilişkin laboratuvar düzeyinde gerçekleştirilen çalışmaları tanıtmıştır.

Delme parametrelerinin yeraltına yönelik uygulaması konusunda en kapsamlı araştırmalardan birini gerçekleştiren Schunnesson (1998), İsveç'te biri yeraltı demir işletmesi, diğeri demiryolu tüneli ve sonuncusu Zn-Pb-Cu-Ag sülfid içeren yeraltı işletmesi olmak üzere üç ayrı sahada delme parametrelerini sistematik bir yaklaşımla değerlendirmiştir. Normalize edilmiş delme parametrelerinden yararlanarak çatlak ve cevherli zonları boyutlarıyla tespit etmiştir. Schunnesson (1996) İsveç'te granitik bir kayaç içinde açılmış bir demiryolu tüneline kaya kalite tanımının (RQD) kestiriminde ve çatlak zonlarının belirlenmesinde delme parametrelerinin kullanımını irdelemiş ve delme hızı ile dönüş momentinin en etkili parametreler olduğu vurgulamıştır.

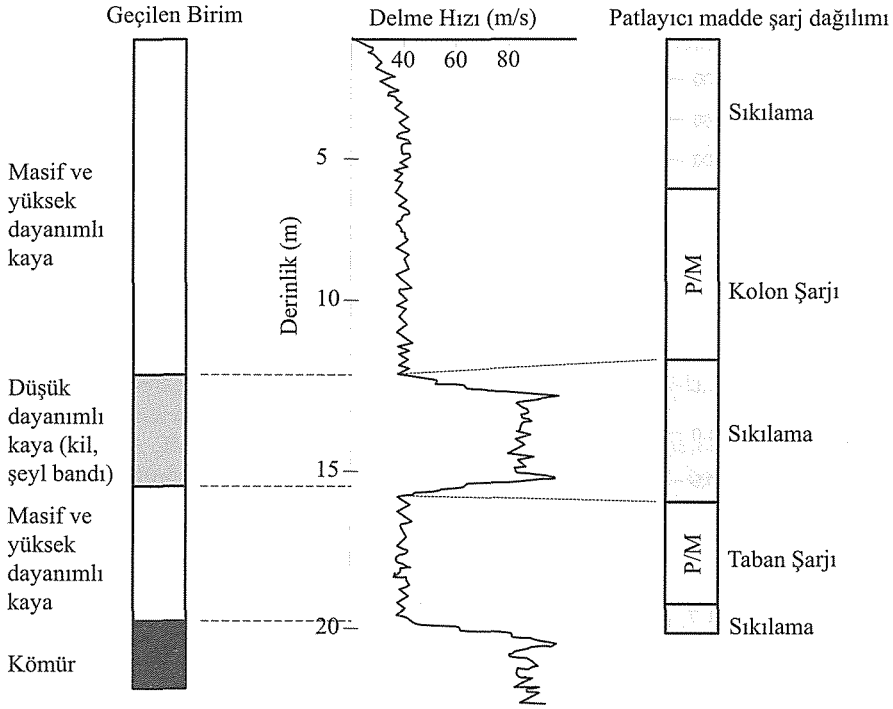
4. UYGULAMADAN ÖRNEKLER

Daha önceki bölümlerde bazı araştırmacıların madencilik sektöründe farklı konulardaki çalışma ve uygulamalarına değinilmiş olduğundan; burada tipik sayılabilecek bazı uygulamalara yer verilmiştir. Segui (2002) patlatma yapılan basamağı oluşturan kaya kütlelerinin homojen kabul edilerek, tasarlanan delik düzeni, patlayıcı tipi ve şarj miktarının önemli ölçüde heterojen bir yapı (farklı litoloji, dayanım vb.) sergileyen ortamlarda, klasik patlatma tasarımı yerine asimetrik patlatma uygulamasını önermiştir. Şekil 5'de değiştirilerek şematize edilmiş bu uygulama gösterilmiştir.



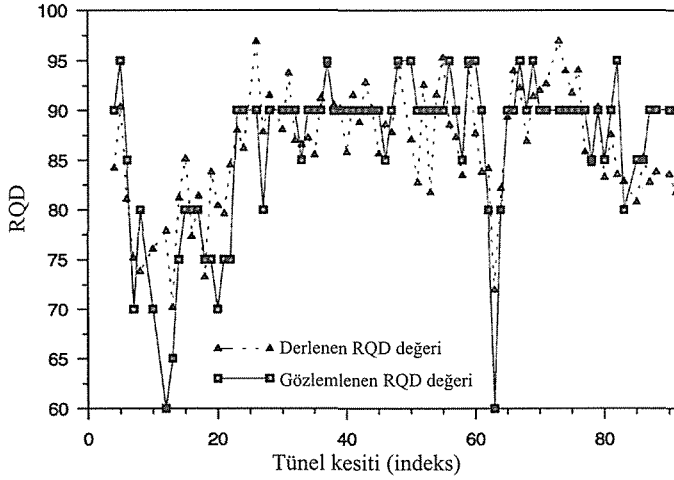
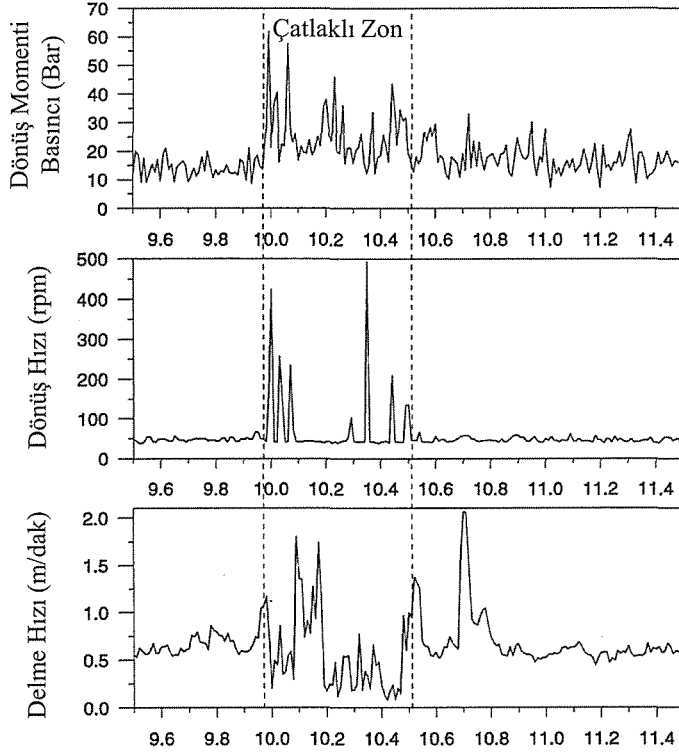
Şekil 5. Asimetrik patlatma uygulaması (Segui, 2002'den değiştirilerek).

Yine açık işletmelerde yapılan delme-patlatma işlerindeki patlayıcı madde şarjının, ortamı oluşturan kaya birimlerinin jeomekanik özellikleri ve bunlardaki değişimlere uyum sağlayabilecek şekilde miktar ve konumu saptanabilir. Böylece patlayıcı maddenin enerjisinden en üst düzeyde kırma ve parçalanma amacıyla yararlanılabilir. Buna ilişkin kuramsal bir örnek Şekil 6'da şematize edilmiştir.



Şekil 6. Patlayıcı maddenin delme hızından yararlanılarak delik içindeki dağılımının belirlenmesi.

Yeraltına ilişkin uygulamalarda delme parametrelerinin tavan koşullarının yerinde hızlı ve etkin bir şekilde tespiti tahkimat tasarımı (ör: saplama uzunluğunun belirlenmesi) ve olası iş kazaları açısından son derece yararlı bir amaca hizmet edebilir (Utt vd., 2002). İsveç'te yeraltında kullanılan deliciler üzerinde farklı amaçlara yönelik kapsamlı araştırmalar yürüten Schunnesson (1996, 1998) çatlak zonlarını ve kayaç kalite tanımını (RQD) delme parametreleri ile başarıyla ilişkilendirmiştir. Darbeli delicilerde kayıt edilen delme hızı, devir sayısı ve dönüş momenti açısından gözlenen anomali ile çatlaklı zonların örtüşmesi Şekil 7'de ve delme parametrelerinden türetilen RQD ile gözlenen RQD ilişkisi Şekil 8'de sunulmuştur.



5. SONUÇLAR

Delme parametreleri, yeraltında veya yerüstünde delinen deliklerde daha önceki bölümlerde de açıklandığı üzere madenciliğin tüm aşamalarında kaya kütlelerinin çok çeşitli özelliklerinin kestiriminde veya göreceli olarak sınıflandırılmasında yararlanılabilecek önemli bir araçtır. Bu parametrelerin analizi ile kaya kütleindeki değişimler ivedilikle belirlenerek planlamadan üretim aşamasına kadar birçok faaliyet daha akılcı ve etkin bir şekilde tasarlanarak yürütülebilir. Böylece madencilikteki risk faktörü önemli düzeyde azaltılabilir.

KAYNAKLAR

- Beattie, N.C.M.** (2009) *Monitoring-While- Drilling for Open-Pit Mining in a Hard Rock Environment: An Investigation of Pattern Recognition Techniques Applied Rock Identification*, M.Sc. Thesis, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada.
- Bell, G.L. and Brawner, C.O.** (1987) An investigation of rock quality index, *Mining Science and Technology*, Vol.5, pp. 71-82.
- Clark, G.B.** (1982) Principles of rock drilling and bit wear, Part 1, *Colorado School of Mines Quarterly*, Vol. 77, pp. 1-113.
- Hendricks, C. Peck, J. and Scoble, M.** (1992) An automated approach to blast optimization through performance monitoring of blast hole drills an mining shovels, 4th *High Tech. Seminar of Blasting*, Nashville, Tennessee, June.
- Inyang, H.I. and Pitt, J.M.** (1990) Standardization of a percussive drill for measurement of the compressive strength of rock, *Proceedings of Rock Mechanics Contributions and Challenges*, Colorado School of Mines, Golden, pp. 489-496.
- Kahraman, S.** (1999) Rotary and percussive drilling prediction using regression analysis, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, Vol.36, pp. 981-989.
- Kahraman, S., Bilgin, N. and Feridunoglu, C.** (2003) Dominant rock properties affecting the penetration rate of percussive drills, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, Vol.40, pp. 711-723.
- Leighton, J.C., Brawner, C.O. and Stewart, D.** (1982) Development of a correlation between rotary drill performance and controlled blasting powder factors, *CIM Bulletin*, Vol.75, No. 844, pp. 67-73.
- Lilly, P.** (1986) An empirical method of assessing rock mass blastability, *Large Open Pit Mining Conf.*, Newman (The AusIMM), pp. 89-92.
- Liu, H. and Karen, Y. K.** (2001) Analysis and interpretation of monitored rotary blast hole drill data, *International Journal of Mining Reclamation and Environment*, Vol.15, No. 3, pp. 177-203.
- Martin, G.** (2007) *Application of Pattern Recognition Techniques to Monitoring - While- Drilling on a Rotary Electric Blasthole Drill at an Open Pit Coal Mine*, M.Sc. Thesis, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada.
- Mozaffari, S.** (2007) *Measurement While Drilling System in Aitik Mine*, Master's Thesis, Luea University of Technology, 30 p.
- Müftüoğlu, Y.V.** (1987) Delme parametrelerinin otomatik kayıt yöntemleri ve uygulamaları, *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 10. Kongresi*, Ankara, s. 253-270.

- Müftüoğlu, Y.V., Carter, M.A., Scoble, M.J. and Peck, J.** (1989) Application of MWD techniques to mine design *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 11. Kongresi*, Ankara, pp. 563-582.
- Müftüoğlu, Y.V., Paşamehmetoğlu, A.G. and Karpuz, C.** (1991) Correlation of powder factor with physical rock properties and rotary drill performance in Turkish surface coal mines. *7th International Congress on Rock Mechanics*, Aachen, Germany, pp. 1049-1051.
- Peck, J.** (1989) *Performance Monitoring of Rotary Blasthole Drills*, Doctoral Thesis, McGill University, Montreal, Canada.
- Pollitt, M.D., Peck, J. and Scoble, M.J.** (1991) Lithological interpretation based on monitored drilling performance parameters, *CIM Bulletin*, Vol. 84, No. 951, pp. 25-29.
- Segui, J. B.** (2002) Asymmetric blasting: a rock mass depended blast design method, *Fragblast*, Vol. 6, No. 3-4, pp. 333-344.
- Segui, J. B. and Higgins, M.** (2002) Blast design using measurement while drilling parameters, *Fragblast*, Vol. 6, No. 3, pp. 287-299.
- Schmidt, R.L.** (1973) Drillability studies, *US Bureau of mines Report Investigation*, 7984.
- Schunnesson, H.** (1996) RQD predictions based on drill performance parameters, *Tunneling and Underground Space Technology*, Vol. 11, No. 3, pp. 345-35.
- Schunnesson, H. and Kirsten H.** (1997) Drill monitoring for geological mine planning in the Viscaria copper mine, Sweden. *CIM Bulletin*. Vol. 90, No. 1013, pp. 83-89.
- Schunnesson, H.** (1998) Rock characterization using percussive drilling, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, Vol. 11, No. 6, pp. 711-725.
- Scoble, M.J., Peck, J. and C. Hendricks.** (1989) Correlation between rotary drill performance parameters and borehole geophysical logging, *Mining Science and Technology*, Vol. 8, pp. 301-312.
- Scoble, M.J. and Peck, J.** (1987) Technique for ground characterization using automated production drill monitoring, *Int. J. Surface Mining*, Vol. 1, pp. 41-54.
- Smith, B.** (2002) Improvements in blast fragmentation using measurement while drilling parameters, *Fragblast*, Vol. 6, No. 3-4, pp. 301-310.
- Tandanad, S. and Unger, H.F.** (1975) Drillability determination - a drillability index for percussion drills, *US Bureau of Mines Report Investigation*, 8073.
- Teale, R.** (1964) The concept of specific energy in rock drilling, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, Vol. 2, pp. 57-73.
- Utt, W.K., Miller, G.G., Howie, W.L. and Woodward C.C.** (2002) Drill monitor with strata strength classification in near-real time, *NIOSH Report of Investigations*, No. 2002-141, 14 p.
- Vynne, J. F.** (1999) Drill monitoring developments and utilization of the drill data, *Proceedings of Minnblast99*, Duluth, Minnesota, pp. 185-198.
- Yin, K. and Liu, H.** (2001) Using information extracted from drill data to improve blasting design and fragmentation, *Fragblast*, Vol. 5, No. 3, pp. 157-179.
- Yue, Z.Q., Lee, C.F., Law, K.T. and Tham, L.G.** (2004) Automatic monitoring of rotary-percussive drilling for ground characterization—illustrated by a case example in Hong Kong, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, Vol.41, pp. 573-612.

ZİNCİRLİ KESME MAKİNELERİNİN PERFORMANS TAHMİNİ İÇİN GÖRGÜL BİR MODEL

AN EMPIRICAL MODEL FOR PREDICTING PERFORMANCE OF CHAIN SAW MACHINES

Hanifi ÇOPUR, Cemal BALCI, Nuh BİLGİN, Deniz TUMAÇ, Emre AVUNDUK
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak-İstanbul

Şuayp DEMİREL ve Akif ŞİMŞEK
Demmak Demireller Makina San. ve Tic. A.Ş., İzcehisar-Afyon

ÖZET

Bu çalışmada, Tübitak (Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu) tarafından desteklenen bir projenin bazı sonuçları sunulmaktadır. Zincirli kesme makinelerinin kullanıldığı çeşitli doğal taş ocakları ziyaret edilerek blok taş numuneleri alınmış ve bu ocaklarda makinelerin performansları ölçülmüştür. Birim hacim veya ağırlıktaki kayacı kesmek için gerekli enerji olan spesifik enerji değerlerini belirlemek amacıyla blok numuneler üzerinde laboratuarda standart bir kama tipi keski kullanarak etkileşimsiz kesme koşullarında bir seri doğrusal kesme deneyleri yapılmıştır. Zincirli kesme makinelerinin alansal net kazı hızlarının tahmini için spesifik enerji değeri kullanılarak görgül bir model geliştirilmiştir. Deneysel çalışmaların ve arazide yapılan ölçümlerin sonuçları, geliştirilen görgül model yardımı ile alansal net kazı hızlarının güvenilir bir şekilde önceden tahmin edilebileceğini göstermiştir.

ABSTRACT

In this study, some results of a project supported by Tubitak (The Scientific and Technological Research Council of Turkey) are presented. Quarries using chain saw machines were visited to collect natural stone samples and record their cutting performances. A series of tests were performed with a linear cutting test rig using a standard chisel cutting tool in unrelieved cutting mode to determine specific energy values, which is defined as the amount of energy required to excavate unit volume or mass of stone. An empirical model using specific energy as the predictor parameter was developed for predicting the areal net cutting rate of chain saw machines. Results of the experimental studies and field measurements indicated that the areal net cutting rate of chain saw machines could be reliably predicted by the empirical model developed.

1. GİRİŞ

Zincirli kesme makineleri, düşük veya orta derecede aşındırıcı olan yumuşak ve orta sert doğal taşların, hem açık ocaklarda hem de yeraltı ocaklarında düşey veya yatay kesim yaparak blok olarak çıkarılmasında ve sayalama amacı ile kullanılmaktadırlar. Genellikle elmas boncuklu tel kesme makineleri ile birlikte kullanılırlar. Orta ölçekte üretim yapan bir doğal taş ocağına sadece bir adet zincirli kesme makinesi ilave edilerek, ocağın genel verimi %20 arttırılabilmektedir, (Copur vd, 2006).

Zincirli kesme makinelerinin bazı önemli avantajları vardır (Mancini vd, 2001; Primavori, 2006; Çopur vd, 2007a, Sarıışık vd, 2009). Özellikle yüksek basamaklarda elmas boncuklu tel kesme makineleri ile birlikte kullanıldıklarında, tel geçirmek için gereken delik sayısını azaltarak zamandan ve işçilikten tasarruf sağlar. Diğer bir değişle, delik çakıştırma problemini ortadan kaldırır. Yeni bir basamağa yatay veya düşey olarak kolaylıkla giriş yapabildikleri ve üçgen parça kesme işlemini ortadan kaldırdıkları için üretim ve zaman kayıplarını azaltırlar. Oldukça düzgün yüzeyler oluşturdıkları için mükemmel çalışma ortamı oluştururlar ve doğrudan satılabilir ürün çıkarılabilir. Blok verimliliğini arttırırlar ve daha az toz ve atık oluştururlar. Bu makinelerin en önemli dezavantajı, çatlaklı ve çok sert-çok aşındırıcı formasyonlarda kullanılamayışlarıdır.

Zincirli kesme makinelerinin kazı performanslarının, ocağın fizibilite aşamasında bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Bir zincirli kesme makinesinin performansı ocağın ve doğal taşın jeolojik ve jeoteknik özelliklerine, kullanılan makinenin özelliklerine ve ocağın işletme parametrelerine bağlıdır (Copur vd, 2007b). Bu parametrelerin bazılarının kazı performansına etkileri incelenmiş olmasına rağmen, zincirli kesme makinelerinin performanslarının tahminine yönelik oldukça sınırlı çalışma yapılmıştır.

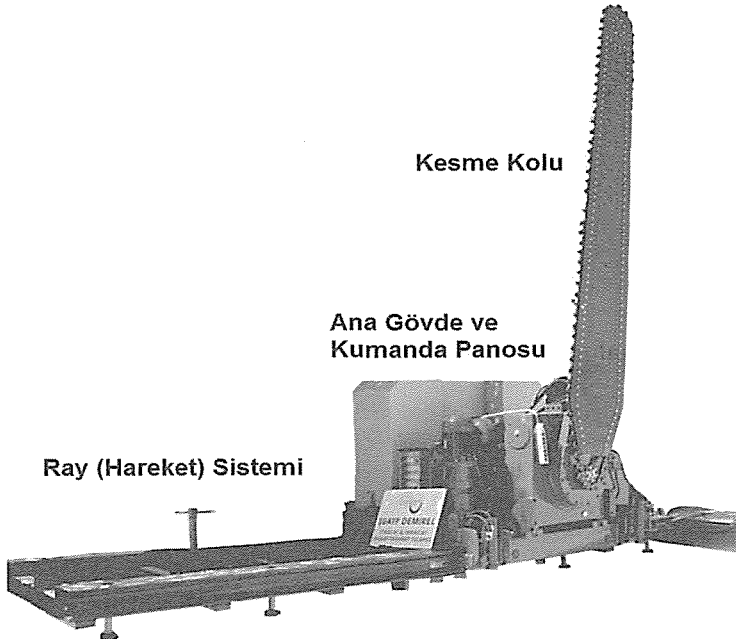
Mancini vd (1992, 1994) zincirli kesme işlemini, kayaçların Knoop sertlik değerlerinin jeostatistiksel olarak değişimine bağlı olarak simüle etmiş ve zincire (kola) etkileyen kuvvetleri tahmin etmeye yarayan bir model geliştirmişlerdir. Deketh vd (1998), zincirli kesme makinelerine benzeyen kanal kazı makinelerinin (trencher) kazı hızlarını ve keski tüketimlerini tahmin etmeye yönelik deneysel çalışmalar yaparak bir uzman sistem algoritması önermişlerdir. Copur vd (2008a, 2010) ve Copur (2010) zincirli kesme makinelerinin alansal net kazı hızlarının tahmini ve optimizasyonu için laboratuvar kesme deneylerine dayanan deterministik bir model geliştirmiştir. Copur vd (2011) yaptıkları laboratuvar ve arazi çalışmaları sonucunda iki değişik görgül model önermişlerdir; modellerden biri zincirli kesme indeksi (kayanın basınç dayanımı, makine ağırlığı ve kolun faydalı kesme uzunluğu parametrelerinin bir fonksiyonu olarak) diğeri ise etkileşimsiz kesme deneyleri ile bulunan spesifik enerjiye bağlıdır.

Bu çalışmada Tübitak tarafından desteklenen bir projenin bazı sonuçları özetlenmektedir (Çopur vd, 2008b). Çeşitli doğal taş ocaklarından alınan blok mermer numuneleri üzerinde kazılabilirliği belirlemek ve zincir ile kesme işlemini simüle etmek amacıyla laboratuvarda bir seri tam boyutlu doğrusal kesme deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmada özellikle standart kama tipi bir keski ile yapılan etkileşimsiz (yardımsız) kesme deneylerinin sonuçlarına dayanarak geliştirilen ampirik (görgül) olarak zincirli kesme makinelerinin alansal net kazı hızlarının tahmininde kullanılan modelden söz edilecektir (Copur vd, 2011). Modelde, birim hacimdeki veya ağırlıktaki kayayı kesmek

için gereken enerji olarak tanımlanan spesifik enerji değeri, tahmin parametresi olarak kullanılmaktadır. Geliştirilen modelin doğruluğu arazide yapılan ölçüm ve gözlemlerle irdelenmiştir.

2. ZİNCİRLİ KESME MAKİNELERİ

Zincirli kesme makineleri doğal taş endüstrisinde kullanımı, kömür kazısında kullanılan potkapaçlarda yapılan bazı tasarım değişikliklerinden sonra yaklaşık 50 yıl önce başlamıştır (Karaca, 2007). Bu makineler genellikle elmas boncuklu tel kesme makineleri ile birlikte kullanılmakta, nadiren de yalnız başlarına blok kesiminde dikey veya yatay kesimlerde kullanılabilirler. Önceleri elektro-hidrolik tahrik ünitesi ile imal edilen bu makineler, son zamanlarda elektrik tahrik üniteli olarak imal edilmekteler (Sarışık vd, 2009). Elektrik tahrikli zincirli kesme makinelerinde hidrolik tahrikli makinelere kıyasla daha az arıza ve bakım ihtiyacı oluşmaktadır, bu da vardiyadaki kesim süresini arttırmakta ve dolayısı ile maliyetleri düşürmektedir. Sistem kesme kolu (bıçak), ray sistemi ve ana gövde-kumanda panosu olmak üzere üç ana ünitelerden oluşmaktadır (Şekil 1). Ana gövde ray üzerinde hareket ederken kol ve üzerindeki kama tipi keskiner yardımıyla kesme işlemi gerçekleştirilir. Kol uzunlukları 7 m'ye kadar olabilmektedir. Kolun kesme dilim kalınlığı üretici firmaya bağlı olarak 42 mm (en yaygın) veya 38 mm olabilmektedir.



Şekil 1. Zincirli kesme makinesinin ana üniteleri (Demmak, 2011).

Bu makinelerin zincir düzenleri, kol üzerinde kullanılan keskiner, kesme profilleri ve ilgili kesme parametreleri daha önce yapılan bazı yayınlarda özetlenmiştir (Çopur vd, 2006, 2007a,b, 2008a; 2009; Copur, 2010); bu nedenle burada söz edilmeyecektir.

3. DOĞRUSAL KESME DENEYLERİ

Bu deneyde, bir kaya bloğu gerçek bir keski ile kesilir ve keskiye etkiyen kuvvetler üç boyutlu olarak ölçülür. Deneylerden elde edilen sonuçlar, kazıcı makine seçimi ve tasarımı, keski seçimi ve tasarımı, optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi, keski düzeni tasarımı, deterministik olarak performans (üretim/kazı/kesme hızı) tahmini-optimizasyonu ve maliyet tahmini amaçlarına yönelik olarak fizibilite/planlama aşamalarında kullanılabilir. Bu amaçlara yönelik kendini kanıtlamış bir yöntemdir.

Bu çalışmada kullanılan deney sistemi ile ilgili detaylı bilgi (deney ekipmanı, sistemin çalışması, deneysel yöntem, vs) başka kaynaklarda verilmiştir (Çopur vd, 2006, 2007a,b, 2008a, 2009; Balcı, 2004; Balcı ve Bilgin, 2007); bu nedenle burada söz edilmeyecektir.

Doğrusal kesme deneyleri sonucu bir keskiye etkiyen kuvvetler (normal, kesme ve yanal) elde edilir ve kesilen pasa miktarı bulunur. Bu değerler kullanılarak, birim hacimdeki veya ağırlıktaki kayayı kesmek için gereken enerji olarak tanımlanan spesifik enerji değeri Eşitlik [1]'deki gibi hesaplanabilir (Pomeroy, 1963; Roxborough, 1973):

$$SE = FC/Q \quad [1]$$

Burada, SE spesifik enerji (MJ/m^3), FC keskiye etkiyen kesme kuvveti (kN) ve Q ise birim kesme uzunluğunda elde edilen pasa hacmi (m^3/km) olarak tanımlanır. Herhangi bir kazı makinesinin net kazı hızı Eşitlik [2] ile hesap edilebilir (Rostami vd, 1994):

$$NCR = kP_{cutting}/SE_{opt} \quad [2]$$

Burada, NCR net (sadece kazı yapılan zaman içindeki) kazı hızı (m^3/h), $P_{cutting}$ kazı makinesinin kesme gücü (kW), SE_{opt} optimum spesifik enerji (MJ/m^3) ve k ise kazı makinesinin tipine bağlı olan keski ile kayaç arasındaki güç iletim katsayısıdır.

Bu çalışmada bağımsız değişkenler doğal taş çeşidi, bej mermer (mikritik kireçtaşı), beyaz mermer (rekristalize kireçtaşı), traverten (B), traverten (P), örtü tabakası (P) ve Isparta bej mermeri ve kesme derinliğidir (0,5 ile 4 mm arasında). Bağımlı değişkenler ise şunlardır: ortalama keski kuvvetleri (normal ve kesme) ve spesifik enerji (kırını ağırlığı, kesme uzunluğu ve kesme kuvvetinin fonksiyonu olarak). Deneylerdeki sabit parametreler şöyle tarif edilebilir: keski tipi (standart kama tipi keski), kesme düzeni (etkileşimsiz-yardımsız- kesme), numune tabakalanma yönü (numune alınan ve ölçüm yapılan ocaktaki kesim yönü ile aynı), kesme hızı (~ 40 cm/sn), veri toplama hızı (1000 Hz), kesme açısı (-5°), temizleme açısı (5°). Her bir deney en az 3 kez tekrarlanmıştır.

Her iki traverten numunesi de 10 mm'ye kadar değişen boyutlarda gözenekler içermektedir (traverten (B) numunesi %16-18 ve traverten (P) numunesi %7-8 oranında). Beyaz mermer numunesinde tane boyutu 0.5 ile 2 mm arasında değişmesine rağmen, bej mermerlerin tane boyutları 0.1 mm'nin altındadır. Traverten (B) numunesi hariç hiç bir numunede tabakalanma yoktur; traverten (B) numunesi tabakalanmaya

paralel yönde kesilmiştir. Örtü tabakası (P) ise traverten (P) numunesinin bulunduğu sahadaki örtü tabakasıdır.

Deneylerde kullanılan keski tungsten karbürden yapılmıştır. Keskinin genişliği 12,7 mm'dir ve kollu galeri açma makinelerinin (roadheader) performans tahminleri için kullanılan standart bir kama tipi keskidir.

4. DENEYSEL SONUÇLAR

Keski kuvvetleri ve spesifik enerjinin kesme derinliği ile değişimi, etkileşimsiz kesme koşullarında değişik doğal taşlar için Şekil 2'de verilmiştir. Görüldüğü gibi, artan kesme derinliğinde keski kuvvetleri de beklendiği gibi artmaktadır. Artan kesme derinliği ile spesifik enerji ise azalmaktadır.

Kesme deneyleri sonucu bulunan spesifik enerji (SE) değerleri ile kesme derinliği (d) arasındaki ilişki genellikle Eşitlik [3]'deki gibidir:

$$SE = A \cdot e^{(-Bd)} \quad [3]$$

Burada, A ve B katsayıları kayaç türüne bağlı olan deneysel katsayılar ve e doğal logaritma tabanıdır. Söz konusu numuneler için elde edilen spesifik enerji ile efektif kesme derinliği ilişkileri Çizelge 1'de verilmiştir.

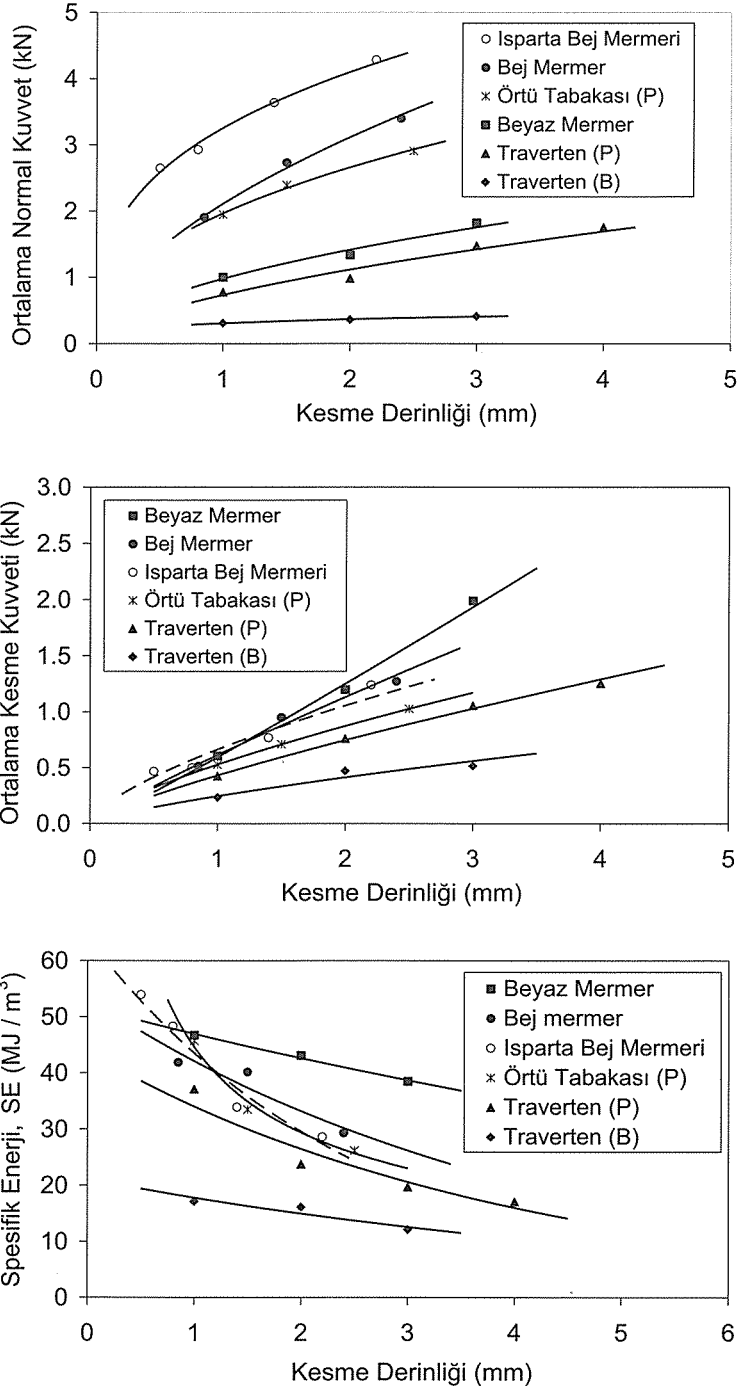
5. ALANSAL NET KAZI HIZININ TAHMİNİ İÇİN ÖNERİLEN MODEL

Bu modelde zincirli kesme makinelerinin alansal net kazı hızlarının tahmini için Eşitlik [4] önerilmektedir (Copur vd, 2011):

$$ANCR = \frac{NCR}{T} \quad [4]$$

Burada, ANCR alansal net kazı hızı (m²/h), NCR Eşitlik [2]'den hesaplanan (hacimsel) net kazı hızı (m³/h) ve T ise kesme kolunun kalınlığı veya zincir genişliği (m) olarak tanımlanır (üretici firmaya bağlı olarak ya 42 mm ya da 38 mm olabilmektedir).

Arazide yapılan ölçümler sonucunda, 3,4 m maksimum kol uzunluğundaki zincirli kesme makinelerinde sadece kesme için harcanan güç ($P_{cutting}$) değerinin 11,4 kW ve 3,4 m maksimum kol uzunluğundaki zincirli kesme makinelerinde ise 15,6 kW olduğu ortaya konmuştur (Copur vd, 2011). Maksimum kol uzunluğunun bu iki değer arasında olduğu durumlarda doğrusal oranlama uygulanarak bir değer bulunabilir.



Şekil 2. Etkileşimsiz kesme modunda keski kuvvetleri ve spesifik enerjinin kesme derinliği ile değişimi (Copur vd, 2011).

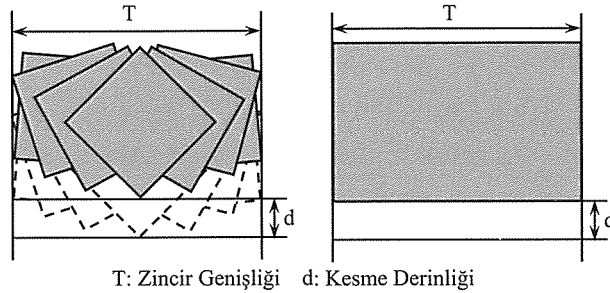
Çizelge 1. Spesifik enerji ile efektif kesme derinliği arasındaki ilişkiler
(Copur vd, 2011).

Doğal Taş	SE (MJ/m ³) ^(a) ile d (mm) Arasındaki İlişki
Bej Mermer	$SE = 53,394e^{-0,238d}$
Traverten (B)	$SE = 21,174e^{-0,174d}$
Traverten (P)	$SE = 43,743e^{-0,251d}$
Örtü Tabakası (P)	$SE = 61,667e^{-0,354d}$
Isparta Bej Mermeri	$SE = 64,056e^{-0,387d}$

d = Efektif kesme derinliği, SE = Spesifik enerji.

^(a) MJ/m³ birimi 3,6'ya bölünerek kWh/m³'e dönüştürülebilir.

Arazide yapılan ölçümler ve gözlemler, zincirli kesme makinelerinin verimsiz olarak çalıştırıldığı, bunun da başlıca sebebinin üretici firmaların operatörlere verdiği kullanım talimatları olduğu, kesimler arasındaki köprülerin kırılması yerine hat derinleştirme yapıldığı görülmüştür. Hat derinleştirmede iri kırıntı oluşturmak yerine kayac makaslama modunda kesilerek çok ufak parçalar halinde kesilir. Bu nedenle, Eşitlik [2]'de, optimum kesme koşulları için belirlenen SE_{opt} değeri yerine etkileşimsiz kesme koşulların için bulunan SE değerinin kullanılabileceği (optimum olmamasına rağmen) sonucuna varılabilir. Buna göre bir zincirli kesme makinesinin kesme profilinin Şekil 3'deki gibi olacağı kabul edilebilir. Bu durum, zor ve yapımı çok zaman alan bir seri etkileşimli kesme deneyleri yerine, net kazı hızı tahmininde veya kazılabilirlik analizlerinde kısa zamanda sonuç veren basitleştirilmiş etkileşimsiz kesme deneylerinin kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 3. Kesme profilinin etkileşimsiz kesmeye indirgenmesi.

Laboratuvarda yapılan doğrusal kesme deneyleri sonucunda, bir zincirli kesme makinesinin tüm kesimleri etkileşimli deneyler ile simüle edildiğinde bulunan toplam spesifik enerji değerinin, aynı zincir genişliği için etkileşimsiz kesme deneyinden elde edilen spesifik enerjinin 1,3 katı kadar yüksek olduğu görülmüştür (Copur, 2010).

paralel yönde kesilmiştir. Örtü tabakası (P) ise traverten (P) numunesinin bulunduğu sahadaki örtü tabakasıdır.

Deneylerde kullanılan keski tungsten karbürden yapılmıştır. Keskinin genişliği 12,7 mm'dir ve kollu galeri açma makinelerinin (roadheader) performans tahminleri için kullanılan standart bir kama tipi keskidir.

4. DENEYSEL SONUÇLAR

Keski kuvvetleri ve spesifik enerjinin kesme derinliği ile değişimi, etkileşimsiz kesme koşullarında değişik doğal taşlar için Şekil 2'de verilmiştir. Görüldüğü gibi, artan kesme derinliğinde keski kuvvetleri de beklendiği gibi artmaktadır. Artan kesme derinliği ile spesifik enerji ise azalmaktadır.

Kesme deneyleri sonucu bulunan spesifik enerji (SE) değerleri ile kesme derinliği (d) arasındaki ilişki genellikle Eşitlik [3]'deki gibidir:

$$SE = A \cdot e^{(-B \cdot d)} \quad [3]$$

Burada, A ve B katsayıları kayaç türüne bağlı olan deneysel katsayılar ve e doğal logaritma tabanıdır. Söz konusu numuneler için elde edilen spesifik enerji ile efektif kesme derinliği ilişkileri Çizelge 1'de verilmiştir.

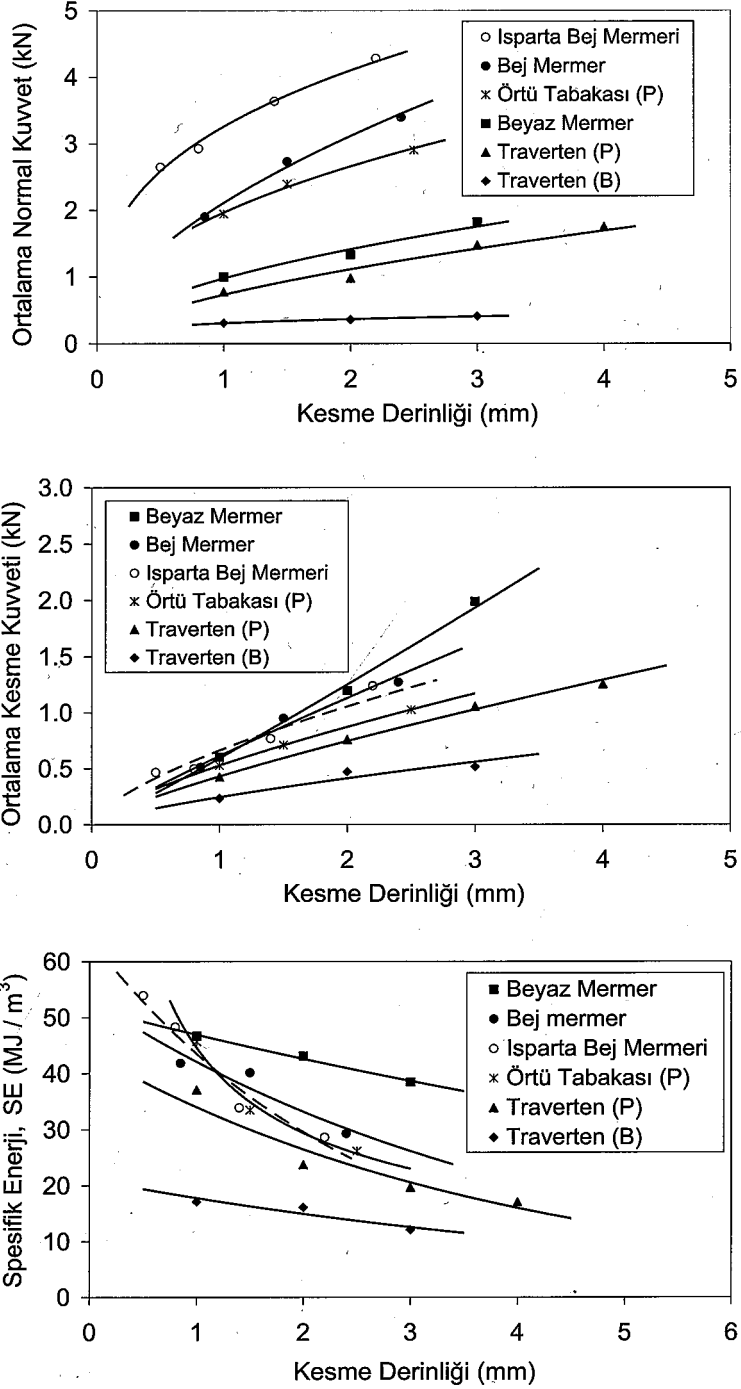
5. ALANSAL NET KAZI HIZININ TAHMİNİ İÇİN ÖNERİLEN MODEL

Bu modelde zincirli kesme makinelerinin alansal net kazı hızlarının tahmini için Eşitlik [4] önerilmektedir (Copur vd, 2011):

$$ANCR = \frac{NCR}{T} \quad [4]$$

Burada, ANCR alansal net kazı hızı (m²/h), NCR Eşitlik [2]'den hesaplanan (hacimsel) net kazı hızı (m³/h) ve T ise kesme kolunun kalınlığı veya zincir genişliği (m) olarak tanımlanır (üretici firmaya bağlı olarak ya 42 mm ya da 38 mm olabilmektedir).

Arazide yapılan ölçümler sonucunda, 3,4 m maksimum kol uzunluğundaki zincirli kesme makinelerinde sadece kesme için harcanan güç ($P_{cutting}$) değerinin 11,4 kW ve 3,4 m maksimum kol uzunluğundaki zincirli kesme makinelerinde ise 15,6 kW olduğu ortaya konmuştur (Copur vd, 2011). Maksimum kol uzunluğunun bu iki değer arasında olduğu durumlarda doğrusal oranlama uygulanarak bir değer bulunabilir.



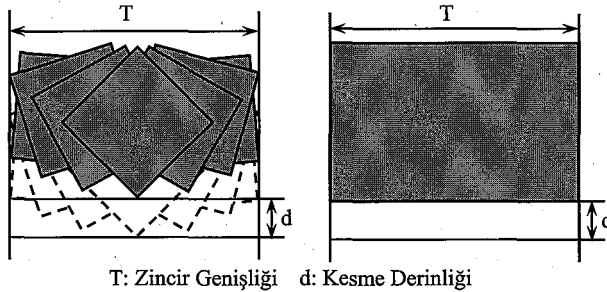
Şekil 2. Etkileşimsiz kesme modunda keski kuvvetleri ve spesifik enerjinin kesme derinliği ile değişimi (Copur vd, 2011).

Çizelge 1. Spesifik enerji ile efektif kesme derinliği arasındaki ilişkiler
(Copur vd, 2011).

Doğal Taş	SE (MJ/m ³) ^(a) ile d (mm) Arasındaki İlişki
Bej Mermer	$SE = 53,394e^{-0,238d}$
Traverten (B)	$SE = 21,174e^{-0,174d}$
Traverten (P)	$SE = 43,743e^{-0,251d}$
Örtü Tabakası (P)	$SE = 61,667e^{-0,354d}$
Isparta Bej Mermeri	$SE = 64,056e^{-0,387d}$

d = Efektif kesme derinliği, SE = Spesifik enerji.
(^a) MJ/m³ birimi 3,6'ya bölünerek kWh/m³'e dönüştürülebilir.

Arazide yapılan ölçümler ve gözlemler, zincirli kesme makinelerinin verimsiz olarak çalıştırıldığı, bunun da başlıca sebebinin üretici firmaların operatörlere verdiği kullanım talimatları olduğu, keskiler arasındaki köprülerin kırılması yerine hat derinleştirme yapıldığı görülmüştür. Hat derinleştirmede iri kırıntı oluşturmak yerine kayaç makaslama modunda kesilerek çok ufak parçalar halinde kesilir. Bu nedenle, Eşitlik [2]'de, optimum kesme koşulları için belirlenen SE_{opt} değeri yerine etkileşimsiz kesme koşulların için bulunan SE değerinin kullanılabileceği (optimum olmamasına rağmen) sonucuna varılabilir. Buna göre bir zincirli kesme makinesinin kesme profilinin Şekil 3'deki gibi olacağı kabul edilebilir. Bu durum, zor ve yapımı çok zaman alan bir seri etkileşimli kesme deneyleri yerine, net kazı hızı tahmininde veya kazılabilirlik analizlerinde kısa zamanda sonuç veren basitleştirilmiş etkileşimsiz kesme deneylerinin kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 3. Kesme profilinin etkileşimsiz kesmeye indirgenmesi.

Laboratuvarda yapılan doğrusal kesme deneyleri sonucunda, bir zincirli kesme makinesinin tüm keskileri etkileşimli deneyler ile simüle edildiğinde bulunan toplam spesifik enerji değerinin, aynı zincir genişliği için etkileşimsiz kesme deneyinden elde edilen spesifik enerjinin 1,3 katı kadar yüksek olduğu görülmüştür (Copur, 2010).

Ayrıca arazide ve laboratuarda yapılan çalışmalar sonucunda, Eşitlik [2]'deki k katsayısının zincirli kesme makineleri için 0,3 olduğu ortaya konmuştur (Copur, 2010; Copur vd, 2011).

Buna göre, Eşitlik [4]'de Eşitlik [2] yerine konulduğunda ve yukarıda söz edilen durumlar göz önüne alındığında Eşitlik [5] elde edilir (Copur vd, 2011):

$$ANCR = \frac{NCR}{T} = \frac{k \frac{P_{cutting}}{SE_{opt}}}{T} = \frac{0,3 \frac{P_{cutting}}{1,3SE}}{T} \quad [5]$$

6. ÖNERİLEN MODELİN DOĞRULAMASI VE TARTIŞMA

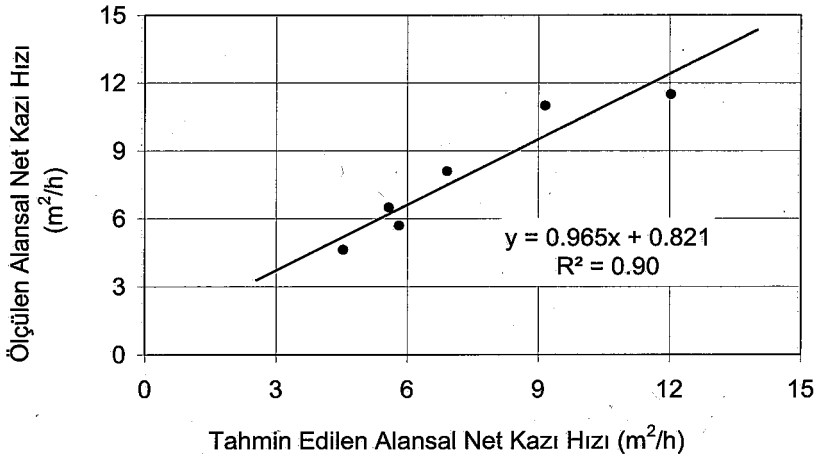
Doğrusal kesme deneylerine dayanan ve Eşitlik [5]'de verilen model ile yapılan alansal net kazı hızı tahminleri ve arazide ölçülen net kazı hızları Çizelge 2'de özetlenmiştir. Ölçülen ve tahmin edilen alansal net kazı hızları arasındaki ilişki Şekil 4'de verilmiştir. Student's t hipotez testi ile %95 güvenirlilik sınırlarında yapılan istatistiksel analiz, modelden tahmin edilen ve arazide ölçülen alansal net kazı hızları arasında önemli bir fark olmadığını ortaya koymuştur. Bu nedenle, önerilen modelin istatistiksel olarak anlamlı ve güvenilir olduğu söylenebilir.

Çizelge 2. Tahmin edilen ve ölçülen alansal net kazı hızları (Copur vd, 2011).

Doğal Taş	H_{maks} (m)	T (m)	d (mm)	$P_{cutting}$ (kW)	SE (kWh/m ³)	Ölçülen ANCR (m ² /h)	Tahmin ANCR (m ² /h)
Bej Mermer	3,4	0,042	0,30	11,4	13,81	4,63	4,54
Traverten (B)	3,4	0,042	0,70	11,4	5,21	11,50	12,03
Traverten (P) ^(a)	3,4	0,038	0,48	11,4	10,77	5,70	5,82
Traverten (P) ^(a)	7,4	0,042	0,64	15,6	10,35	11,00	9,16
Örtü Tabakası (P)	7,4	0,038	0,63	15,6	13,71	8,10	6,91
Isparta Bej Mermeri	7,4	0,042	0,38	15,6	15,36	6,50 ^(b)	5,58

H_{maks} = Maksimum kol uzunluğu, T = Kol kalınlığı (zincir genişliği), d = Arazide ölçülen efektif kesme derinliği, $P_{cutting}$ = Kesme için harcanan güç, SE = Spesifik enerji (etkileşimsiz, Çizelge 1'e göre hesaplanır), ANCR = Alansal net kazı hızı.

^(a) Farklı zincirli kesme makineleri ile kesilen aynı doğal taş. ^(b) Demirel ve Şimşek (2009) referansından alınmıştır.



Şekil 4. Tahmin edilen ve ölçülen alansal net kazı hızları arasındaki ilişki.

Modelin kullanımında akla ilk gelen soru, modelde hangi efektif kesme derinliğinin kullanılacağıdır. Çizelge 2’de verilen tahminlerin hesabında arazide gerçekleşen efektif kesme derinlikleri kullanılmıştır. Ancak, bir fizibilite aşamasında karar vericilerin elinde böyle bir değer yoktur. Arazi incelemeleri ve gözlemleri sonucunda, çoğu zincirli kesme makinesinde efektif kesme derinliklerinin 0,3 mm (~0,5 mm/sn araba ilerleme hızı) ile 0,7 mm (~1 mm/sn araba ilerleme hızı) arasında değiştiği görülmüştür. Çizelge 1’de verilen spesifik enerji ile efektif kesme derinliği arasındaki ilişkiler kullanılarak yapılan incelemeler göstermiştir ki, mm’nin ondalıkları düzeyindeki kesme derinlikleri spesifik enerjiyi, dolayısı ile alansal net kazı hızını önemli ölçüde etkilememektedir. Bu nedenle, modelin kullanımında herhangi bir doğal taş için alansal net kazı hızı, 0,3 mm ile 0,7 mm aralığında (ortalama 0,5 mm) hesaplanabilir. Burada alansal net kazı hızını asıl belirleyici olan faktör deneylerle bulunan ve Eşitlik [3]’de verilen A ve B katsayılarıdır. Mancini vd (1992, 1994) benzer şekilde, zincirli kesme makinelerinin performansını Knoop sertliğine göre hesaplarken, Knoop değerlerini ortalama 0,5 mm batma derinliğine göre bulmuşlardır.

Burada aynı zamanda, önerilen modelde zincirli kesme makinelerinin maksimum güçte (veya amper değerinde) kullanıldığının kabul edildiği, kol uzunluğunun bir tahmin parametresi olarak kullanılmadığı ve modelin daha hassas sonuç vermesi için veri sayısının artırılması gerektiği göz önünde bulundurulmalıdır.

7. SONUÇLAR

Doğrusal kesme deneylerinden elde edilen spesifik enerji değerine bağlı olarak alansal net kazı hızı tahmini için bir model geliştirilmiştir. Yapılan istatistiksel analiz, modelden tahmin edilen ve arazide ölçülen alansal net kazı hızları arasında önemli bir fark olmadığını, önerilen modelin istatistiksel olarak anlamlı ve güvenilir olduğu ortaya koymuştur. Doğrusal kesme deneyleri yapılarak bir zincirli kesme makinesindeki keski setlerinin etkileşimsiz kesme deneyleri ile simüle edilebileceği gösterilmiştir.

8. KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Yazarlar, 105M017 nolu projeye verdiği destek için Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Sayın Yetkililerine, ayrıca, Set Makine Ltd. Şti. sahibi Sayın Adnan Saraçoğlu'na ve Başaranlar Mermer A.Ş. sahibi Sayın Ahmet Serter'e bu projedeki değerli katkılarından dolayı teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Balci, C.** (2004) *Mekanize Kazı Makinelerinin Seçiminde Küçük Boyutlu Kazı ile Tam Boyutlu Kazı Deneylerinin Karşılaştırılması*. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 269 sayfa.
- Balci, C. and Bilgin, N.** (2007) Correlative study of linear small and full-scale rock cutting tests to select mechanized excavation machines. *Int J Rock Mech Min Sci*, Vol. 44; 3: 468-476.
- Copur, H.** (2010) Linear stone cutting tests with chisel tools for identification of cutting principles and predicting performance of chain saw machines. *Int J Rock Mech & Min Sci*, Vol. 47, Issue: 1, pp. 104-120.
- Copur, H., Balci, C., Bilgin, N. and Tumac, D.** (2008a) Laboratory cutting tests for performance prediction of chain saw machines. *Proc. The 21st World Mining Congress and Expo 2008*, Poland, 7-12 Sept., pp. 97-107.
- Copur, H., Balci, C., Bilgin, N., Tumac, D. and Duzyol, I.** (2007a) Full-scale linear cutting tests towards performance prediction of chain saw machines. *The 20th International Mining Congress and Exhibition of Turkey*, Eds. C. Karpuz, M.A. Hindistan and E. Tercan. June 6 to 8, Ankara, Turkey, pp. 161-169.
- Copur, H., Balci, C., Bilgin, N., Tumac, D., Feridunoglu, C., Dincer, T. and Serter, A.** (2006) Cutting performance of chain saw machines in quarries and laboratory. *Proc. 15th Int. Symp. on Mine Planning and Equipment Selection*, Torino-Italy, Sep.20-22. Eds: M. Cardu, R. Ciccu, E. Lovera and E. Michelotti. pp. 1324-1329.
- Copur, H., Balci, C., Tumac, D. and Bilgin, N.** (2011) Field and laboratory studies on natural stones leading to empirical performance prediction of chain saw machines. *Int J Rock Mech & Min Sci*, Vol. 48, Issue: 2, pp. 269-282.
- Copur, H., Balci, C., Tumac, D., Bilgin, N. and Avunduk, E.** (2010) Field and laboratory studies on performance of chain saw machines. *Proc. European Rock Mechanics Symposium (EUROCK 2010)*, June 15-18, Lausanne, pp. 823-826.
- Copur, H., Balci, C., Bilgin, N., Tumac, D., Düzyol, İ. ve Kekeç, N.** (2007b) Doğal taş madencilğinde kullanılan zincirli kesme makinelerinin performansı. *Türkiye 1. Maden Makinaları Sempozyumu*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Dumlupınar Üniv., Kütahya, Editör: C. Şensöğüt. 10-12 Mayıs. ss. 37-46.

- Çopur, H., Balcı, C., Tumaç, D. ve Bilgin, N.** (2009) Zincirli kesme makinelerinin performans tahminine yönelik yapılan köşe kesme deneyleri ve yorumu. *Türkiye 2. Maden Makinaları Sempozyumu*, 04-06 Kasım, ss. 79-91.
- Çopur, H., Bilgin, N., Balcı, C. ve Tumaç, D.** (2008b) *Doğal Taş Madenciliğinde Kullanılan Zincirli Kesme Makinelerinin Kazı Performanslarının Optimizasyonu*. TÜBİTAK Proje No: 105M017. İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü.
- Deketh, H.J.R., Grima, M.A., Hergarden, I.M., Giezen, M. and Verhoef, P.N.W.** (1998) Towards the prediction of rock excavation machine performance. *Bull Eng Geol Env*;57:3-15.
- Demirel, Ş. ve Şimsek, A.** (2009) *Firma İçi Rapor*. Demmak Demireller Makina Sanayi Ticaret A.Ş., İscehisar, Afyon.
- Demmak, Demireller Makina Sanayi Ticaret A.Ş.** (2011) <http://www.demmak.com/>
- Karaca, Z.** (2007) Mermer ocaklarında kullanılan köllu kesme makinaları. *Türkiye 1. Maden Makinaları Sempozyumu*, Editör: C. Şensöğüt. 10-12 Mayıs. ss. 3-11.
- Mancini, R., Cardu, M., Fornaro, M. and Toma, C.M.** (2001) The current status of marble chain cutting. In: *Singhal RK, Singh BP, Eds. Proc. 9th Int.Symp.on Mine Planning and Equipment Selection*, New Delhi, 19-21 November. pp. 151-158.
- Mancini, R., Cardu, M., Fornaro, M., Linares, M. and Peila, D.** (1992) Analysis and simulation of stone cutting with microtools. In: *Proceedings of the III Geoeng Congress*, Turin, 1-2 December, pp. 227-236.
- Mancini, R., Linares, M., Cardu, M., Fornaro, M. and Bobbio, M.** (1994) Simulation of the operation of a rock chain cutter on statistical models of inhomogenous rocks. In: *Pasamehmetoglu G, et al. editors. Proc. 9th Int. Symp. on Mine Planning and Equipment Selection*; AA Balkema, pp. 461-468.
- Pomeroy, C.D.** (1963) Breakage of coal by wedge action-factors affecting breakage by any given shape of tool. *Colliery Guardian*; Nov. 21:642-48; Nov. 28: 672-677.
- Primavori, P.** (2006) Uses for the chain saw. *Marmo Mach Int*;53:80-102.
- Rostami, J., Ozdemir, L. and Neil, D.M.** (1994) Performance prediction: A key issue in mechanical hard rock mining. *Mining Engineering*; 11:1263-1267.
- Roxborough, F.F.** (1973) Cutting rock with picks. *The Mining Engineer*, June:445-452.
- Saruşık, A., Demirel, Ş., Şimşek, A. ve Saruşık, G.** (2009) Köllu zincirli kesicilerin traverten ocaklarında blok üretimi verimlilik analizi. *Türkiye 2. Maden Makinaları Sempozyumu*, 04-06 Kasım, Editör: Bilir, M.E. ve Ekmekçi, B., ss. 131-144.

EKİPMAN SEÇİMİNDE FARKLI ÇOK NİTELİKLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNİN KULLANIMI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

DIFFERENT MULTI ATTRIBUTE DECISION MAKING METHODS USAGE AND EVALUATION IN EQUIPMENT SELECTION

Mahmut YAVUZ, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir*

ÖZET

Bu çalışmada, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), Yager Yöntemi ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi olarak bilinen Karar Verme yöntemleri kullanılarak açık ocak için yükleyici (loder) seçimi yapılmıştır. Her bir yöntem için ayrı ayrı ekipman seçimi probleminin en uygun çözümü araştırılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, üç farklı yöntemin uygulanmasından elde edilecek avantaj ve dezavantajlar değerlendirilmiştir.

ABSTRACT

In this study, the loader selection was made for an open pit mine by using decision making methods such as Analytic Hierarchy Process (AHP), Yager's Method and Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). The most appropriate solution of the equipment selection problem was investigated for each method and the results obtained were compared with each other. As a result, the advantages and disadvantages in the application of three different methods were evaluated.

1. GİRİŞ

Karar Verme diğer mühendislik dallarında olduğu gibi Maden Mühendisliğinde de tasarım ve proje uygulamalarının en önemli aşamalarından bir tanesidir. Bütün Maden Mühendisleri günlük madencilik faaliyetleri sırasında önemli kararlar verirler. Üretim yöntemi seçimi, ekipman seçimi, tesis yeri seçimi, ocakta kullanılacak sarf ve servis malzemesi seçimi, farklı ocak tasarımlarından en uygun olanının seçimi ve hatta personel seçimi Maden Mühendislerinin verdiği bu önemli kararlara örnek gösterilebilir. Burada sözü edilen ya da edilmeyen kararların tamamı Maden Mühendislerinin bilgi, yetenek, tecrübe ve içgüdüleri ile verdikleri kararlardır. Ancak, bu kararların yanlış verilmesi durumunda çoğu zaman işletmeler gerek emniyet ve gerekse ekonomik açıdan çok ciddi sıkıntılar ile karşı karşıya kalabilirler. Bu nedenle, bütün karar vericiler gibi Maden Mühendisleri de uygun bir Karar Verme yöntemi kullanarak en doğru kararları vermek için çalışmalıdırlar.

Madencilik alanında yapılan çalışmalar incelendiğinde çeşitli Karar Verme tekniklerinin farklı problem tiplerinde kullanıldığı görülmektedir. Bulanık Çok Nitelikli Karar Verme tekniklerinden Yager yöntemi yeraltı üretim yöntemi seçimi (Karadogan vd., 2001; Bitarafan ve Ataei, 2004; Alpay ve Yavuz, 2009), ekipman seçimi (Kesimal ve Bascetin, 2002; Acaroglu vd., 2006) ve tesis yeri seçimi (Yavuz, 2008) problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi ile delik delme yatırım analizi, tahkimat tasarımı, tünel tasarımı, tesis yeri seçimi ve risk analizi üzerine çalışmalar yapılmıştır (Kazakidis vd., 2004; Ataei, 2005; Yavuz ve Ankara, 2006; Alpay ve Yavuz, 2007; Yavuz vd., 2008; Yavuz ve Alpay, 2008). Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) yöntemi kullanılarak yeraltı üretim yöntemi ve ekipman seçim problemi çözülmüştür (Yavuz ve Alpay, 2008; Yavuz, 2009). Bu tekniklerin yanında Elevli ve Demirci (2004) PROMETHEE tekniğini kullanarak bir yeraltı krom ocağında nakliyat sistemi seçimini yapmışlardır. Bu çalışmada, AHS, Yager ve TOPSIS yöntemi olarak bilinen Karar Verme yöntemleri kullanılarak açık ocak için lastik tekerlekli yükleyici seçimi yapılmıştır. Probleminin en uygun çözümü üç yöntem için ayrı ayrı araştırılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. ÇOK NİTELİKLİ KARAR VERME

Karar Verme problemleri içerisinde birden fazla amaç veya nitelik olması durumunda Çok Nitelikli Karar Verme (ÇNKV) problemleri söz konusu olur. Orijinali Multipli Criteria Decision Making (MCDM) olan tanım dilimize Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) olarak çevrilmiştir. ÇÖKV, Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV) ve ÇNKV olmak üzere iki alt başlıkta incelenmektedir. ÇAKV, Karar Verme probleminin matematiksel olarak yazılabildiği türdür. ÇNKV ise problemin matematiksel olarak yazılamadığı, genellikle bir grup seçenek arasından kişinin önemseydiği ölçütlere göre hedefe en uygun olanının belirlenmeye çalışıldığı problem türü olarak tanımlanmaktadır (Sipahioğlu, 2005). ÇNKV problemlerinin çözümleri için literatürde farklı birçok yöntem bulunmaktadır. Parametrelerinin belirli olduğu ve kapalı kısıtlı sonlu seçenekli olarak tanımlanan Karar Verme problemlerinin çözümünde ÇNKV yöntemleri uygulanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan üç farklı ÇNKV yöntemi aşağıdaki bölümlerde kısaca açıklanmıştır.

2.1 Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemi

AHS, Thomas L. Saaty tarafından (1977) geliştirilmiş çok ölçütlü bir Karar Verme tekniğidir. Seçeneklerin açıkça bilindiği ancak karar vermede etkisi olan koşulların (kısıtların) matematiksel olarak ifade edilemediği Karar Verme problemlerinde uygulanır. Bu tür problemlere sonlu seçenekli kapalı kısıtlı problemler denilmektedir. Burada amaç, belirlenen ölçütlere göre istenen hedefe en uygun seçeneği belirlemektir. Bir başka deyişle belirlenen ölçütleri en fazla sağlayan seçenek belirlenmeye çalışılır (Sipahioğlu, 2005). AHS yöntemi insanoğlunda doğuştan var olan grupları ayırmaya yönelik beyinsel faaliyet sürecini taklit etmektedir. AHS'nin özündeki kavram parçalama ve sentezdir. Problemi kendi içinde küçük parçalara ayırdıktan sonra, karşılaştırılan iki elementin, aralarındaki önemi ve bu önemin ne kadar olduğu yargısını belirleyen bir sistemdir. Bu sistem insan algılamasında kavram oluşumunda, örneklerin sınıflandırılmasında ve mantıksal muhakemede önemli rol oynamaktadır.

AHS ile Karar Verme süreci 5 adımdan oluşur (Sipahioğlu, 2005):

1. Adım – Karar Probleminin Tanımlanıp Hiyerarşik Yapının Oluşturulması: Bu adım sürecin en önemli aşamasıdır. Çünkü karar probleminin ne olduğu, hangi ölçütlere göre değerlendirme yapılacağı ve seçenekler bu aşamada belirlenir. Karmaşık problemlerde karar problemini, seçenekleri ve ölçütleri doğru tanımlamak için disiplinlerarası bir yaklaşım gerekir. Özellikle ölçütlerin doğru olarak belirlenmesi hayati önemdedir. Çünkü verilecek karar, seçeneklerin belirlenen ölçütleri karşılama düzeylerine göre yapılacağından, eksik ya da yanlış bir tanımlama sonucu karar vericinin amacına yeterince hizmet edemeyen, yanlış bir kararın verilmesi olasılığı vardır.

2. Adım – İkili Karşılaştırma Matrislerinin (A) Oluşturulması: Karar probleminin ortaya konmasından sonra yapılacak işlem, öncelikle ölçütlerin ikili karşılaştırmalarla birbirlerine göre önem derecelerini belirlemek, daha sonra da her ölçüt için bütün seçeneklerin ikili karşılaştırmalarla birbirlerine göre önem derecelerini ortaya çıkarmaktır. Yöntemi geliştiren Saaty tarafından önerilen ölçek ile ikili karşılaştırmalar yapılmaktadır ve bu ölçek aşağıda Çizelge 1 ile verilmiştir. İkili karşılaştırma matrisi elemanları arasında $a_{ij} = 1/a_{ji}$ ilişkisi vardır.

3. Adım – Görelî Önem Vektörünün (GÖV) Hesaplanması: İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasından sonraki adım, ilgili matristeki her bir öğenin diğer öğelere göre önemini gösteren GÖV'nün bulunmasıdır. Bunun için değişik yöntemler önerilmektedir. Güvenilir sonuçlar veren 3 yöntem bulunmaktadır. Bunlar; Aritmetik ortalama ile görelî önem hesabı, Geometrik ortalama ile görelî önem hesabı ve Matris karesi ile görelî önem hesabıdır. Bu üç yöntem yaklaşık olarak aynı sonuçları vermektedir. Ancak geometrik ortalama ve matris karesi ile görelî hesabı daha hassas yöntemlerdir.

4. Adım – Tutarlılık Testi: Görelî önem derecelerinin hesaplanmış olması, önemlerin doğru olarak bulunduğu anlamına gelmemektedir. Çünkü özellikle büyük boyutlu problemlerde karşılaştırmalar sırasında karar verici istemeden yanlış değerlendirme yapmış olabilir veya bazı ölçütlerde yanlış davranmış olabilir.

Çizelge 1. AHS ikili karşılaştırmalar ölçeği (Saaty, 2000).

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önem	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunuyor.
3	Birinin diğerine göre orta derecede daha önemli	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine orta derecede tercih ettiriyor.
5	Kuvvetli düzeyde önem	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli bir şekilde tercih ettiriyor.
7	Çok kuvvetli düzeyde önem	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih ediliyor ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülüyor.
9	Aşırı düzeyde önem	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük bir güvenilirliğe sahip.
2, 4, 6, 8	Ortalama değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasına düşen değerler.

Oysa doğru karar verebilmek için değerlerin hatasız bulunmuş olması gerekir. Sayısal ölçütlerin söz konusu olduğu ikili karşılaştırma matrislerinde karar vericiye ait bir yargı olmadığı için yanlılık veya istemeden yanlış derecelendirme gibi hataların oluşması mümkün değildir. Bu yüzden bu tür matrisleri için tutarlılık testi yapmaya gerek yoktur. Ama sayısal olmayan ölçütlerin söz konusu olduğu matrisler için değerlendirme hataları olabilir ve mutlaka matrisin tutarlı olup olmadığının kontrol edilmesi, eğer tutarlı değilse değerlendirmede kullanılan puanların gözden geçirilerek matris tutarlı hale gelinceye kadar üzerinde çalışılması gerekir. İkili karşılaştırma matrisinin tutarlılığı, matrisin en büyük özdeğeri hesaplanarak gerçekleştirilir. Bir ikili karşılaştırma matrisinin tutarlı olabilmesi için gerek ve yeter şart, bu matrisin en büyük özdeğerinin matris boyutuna eşit olmasıdır. Matrisin en büyük özdeğeri " λ_{max} " ve matris boyutu " n " ile gösterildiğinde koşul, $\lambda_{max}=n$ olarak gösterilir. Tutarlı bir ikili karşılaştırma matrisinin en büyük özdeğeri n 'e eşit olmalıdır. Tutarlılık durumunda $\lambda_{max}=n$ eşitliği geçerli olduğundan, söz konusu eşitlikten sapma derecesi Tutarlılık Göstergesi (TG) olarak adlandırılır. Bu gösterge, aynı büyüklükte fakat elemanları tamamen rassal olarak seçilmiş çok sayıda matrsten hareketle elde edilmiş ortalama gösterge değeri olan rassallık göstergesine oranlanarak, ilgili karşılaştırma matrisi için Tutarlılık Oranı (TO) hesaplanır. Bu oranın 0.1 veya daha düşük olması halinde, matris tutarlı kabul edilir. Aksi halde karşılaştırmalar incelenerek yeniden değerlendirilmeli ve tutarlılık düzeyi artırılmaya çalışılmalıdır.

$$\lambda_{maks} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \times w_j}{w_i} \right] \quad [1]$$

burada, λ_{maks} : Matrisin en büyük özdeğeri, n : Matrisin boyutu, a_{ij} : İkili karşılaştırma matrisinin (i,j) değeri, w_j : Göreli önem vektörünün j . elemanı ve w_i : Göreli önem vektörünün i . elemanı olarak ifade edilmektedir.

$$TG = \frac{\lambda_{maks} - n}{n - 1} \quad [2]$$

$$TO = \frac{TG}{RG} \leq 0.1 \quad [3]$$

burada RG (Rassallık Göstergesi), elemanları tamamen rassal olarak seçilmiş çok sayıda matristen hareketle elde edilen ortalama gösterge değeridir. Yapılan kapsamlı bir saha çalışması sonucu 1–15 boyutlarındaki matrisler için RG değerleri Çizelge 2’de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 2. 1–15 Boyutundaki matrisler için Rassallık Göstergeleri (Saaty, 2000).

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RG	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

5. Adım – Bileşik Görelî Önemler Vektörünün Bulunması ve Karar: Bütün düzeyler için oluşturulan ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılığı sağlandıktan sonra elde edilen görelî önemler vektörleri Bütünleşik Matris olarak adlandırılacak bir matriste toplanır. Sonuçta en büyük görelî önem vektörü değerine sahip seçenек en uygun karar olarak seçilir.

2.2 Yager Yöntemi

Yager yöntemi, Bellman ve Zadeh’in (1970) maksimum/minimum yaklaşımını ve Saaty’nin AHS yöntemini kullanan çok nitelikli bulanık bir Karar Verme yöntemidir. Bulanık kümeler yardımıyla verilen karar tüm ölçütlerin kesişiminde aranmaktadır. Bu amaçla hesaplamalarda kullanılan bağıntılar;

$$\mu_D(A) = \min[\mu_{C_1}(A), \mu_{C_2}(A), \dots, \mu_{C_n}(A)] \quad [4]$$

burada bütün $A_i \in A$ içindir ve en iyi karar;

$$\mu_D(A^*) = \max_A \mu_D(A) \quad [5]$$

olarak verilmektedir. Burada, “ A^* ” en iyi karar ve “ μ ” ise her bir ölçüt için üyelik derecesi olarak tanımlanmaktadır.

Yöntemin diğerlerinden ana farkı üssel bir ölçekle ölçütlerin öneminin değerlendirilmesidir. Bu üssel ölçekler dilsel ifadelerle dayanmaktadır. Ölçütlerin ağırlıklarının üssel olarak sunulmasının nedeni minimum kuralı nedeniyle önemi yüksek olan ölçütün daha büyük üssel ifadeye sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Aksine, daha az önemli bir ölçüt ise daha küçük ağırlık değerine sahip olmaktadır. Bu ifadenin matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir;

$$\mu_D(A) = \min \{ [\mu_{C_1}(A)]^{\alpha_1}, [\mu_{C_2}(A)]^{\alpha_2}, \dots, [\mu_{C_n}(A)]^{\alpha_n} \} \quad [6]$$

bu bağtında “ α ” değeri ölçütlerin ağırlık değeri ifade etmekte olup hepsi sıfırdan büyük ve pozitif birer sayıdır.

Yager yönteminde AHS yönteminde olduğu gibi ölçütlerin önem derecelerinin belirlenmesinde ikili karşılaştırma matrislerinin özvektörlerinden yararlanılmaktadır.

2.3 TOPSIS Yöntemi

TOPSIS ilk olarak Hwang ve Yoon (1981) tarafından önerilmiştir. Tekniğin kullanımıyla tercih edilen seçeneğin pozitif-ideal çözüme en kısa, negatif-ideal çözüme ise en uzak mesafede bulunması hedeflenmektedir. TOPSIS tekniği “ m ” tane seçeneği “ n ” tane ölçüt ile değerlendiren bir ÇNKV yöntemidir. TOPSIS yöntemi 6 adımdan oluşan bir çözüm sürecini içerir.

Adım 1: Karar Matrisinin (A) Oluşturulması: Karar matrisinin satırlarında üstünlükleri sıralanmak istenen karar noktaları, sütunlarında ise Karar Vermede kullanılacak değerlendirme faktörleri yer alır. A matrisi karar verici tarafından oluşturulan başlangıç matrisidir. Karar matrisi aşağıda eşitlik 7 ile verildiği gibi gösterilmektedir.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad [7]$$

A_{ij} matrisinde “ m ” karar noktası sayısını, “ n ” değerlendirme faktörü sayısını verir.

Adım 2: Normalleştirilmiş Karar Matrisinin (R) Oluşturulması: Normalleştirilmiş Karar Matrisi, A matrisinin elemanlarından yararlanarak ve aşağıdaki eşitlik 8 kullanılarak hesaplanır. R matrisi aşağıdaki gibi elde edilir:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad [8]$$

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad [9]$$

Adım 3: Ağırlıklı Normalleştirilmiş Karar Matrisinin (V) Oluşturulması: Öncelikle değerlendirme faktörlerine ilişkin ağırlık değerleri (w_i) belirlenir ($\sum_{i=1}^n w_i = 1$). Daha sonra R matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili w_i değeri ile çarpılarak V matrisi oluşturulur. V matrisi aşağıda gösterilmiştir:

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad [10]$$

Adım 4: İdeal (A^*) ve Negatif İdeal (A^-) Çözümlerin Oluşturulması: TOPSIS yöntemi, her bir değerlendirme faktörünün monoton artan veya azalan bir eğilime sahip olduğunu varsaymaktadır. İdeal çözüm kümesinin oluşturulabilmesi için V matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin yani sütun değerlerinin en büyükleri (ilgili değerlendirme faktörü minimizasyon yönlü ise en küçüğü) seçilir. İdeal çözüm kümesi aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$A^* = \left\{ (\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J') \right\} \quad [11]$$

11 numaralı eşitlikten hesaplanacak küme $A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$ şeklinde gösterilebilir. Negatif ideal çözüm kümesi ise, V matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin yani sütun değerlerinin en küçükleri (ilgili değerlendirme faktörü maksimizasyon yönlü ise en büyüğü) seçilerek oluşturulur. Negatif ideal çözüm kümesi aşağıdaki eşitlik yardımı ile bulunmaktadır.

$$A^- = \left\{ (\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J') \right\} \quad [12]$$

12 numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanacak küme $A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$ şeklinde gösterilebilir. Her iki formülde de J fayda (maksimizasyon), J' ise kayıp (minimizasyon) değerini göstermektedir. Gerek ideal gerekse negatif ideal çözüm kümesi, değerlendirme faktörü sayısı yani " m " elemandan oluşmaktadır.

Adım 5: Ayırım Ölçülerinin Hesaplanması: TOPSIS yönteminde her bir karar noktasına ilişkin değerlendirme faktör değerinin İdeal ve negatif ideal çözüm kümesinden sapmalarının bulunabilmesi için Euclidian Uzaklık Yaklaşımından yararlanılmaktadır. Buradan elde edilen karar noktalarına ilişkin sapma değerleri ise İdeal Ayırım (S_i^*) ve Negatif İdeal Ayırım (S_i^-) Ölçüsü olarak adlandırılmaktadır. S_i^* ölçüsünün hesaplanması eşitlik 13, S_i^- ölçüsünün hesaplanması ise eşitlik 14 ile gösterilmiştir.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad [13]$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad [14]$$

Burada hesaplanacak S_i^* ve S_i^- sayısı doğal olarak karar noktası sayısı kadar olacaktır.

Adım 6 : İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması: Her bir karar noktasının ideal çözüme göreli yakınlığının (C_i^*) hesaplanmasında ideal ve negatif ideal ayırım ölçülerinden yararlanılır. Burada kullanılan ölçüt, negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içindeki payıdır. İdeal çözüme göreli yakınlık değerinin hesaplanması aşağıda eşitlik 15 ile verilmiştir.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad [15]$$

Burada C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığında değer alır ve $C_i^* = 1$ ilgili karar noktasının ideal çözüme, $C_i^* = 0$ ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını göstermektedir.

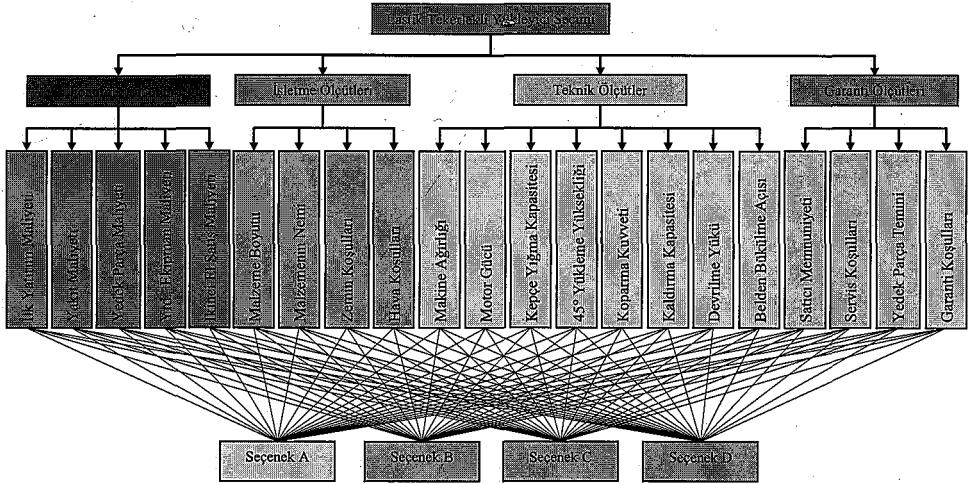
3. ÇOK NİTELİKLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE LASTİK TEKERLEKLİ YÜKLEYİCİ SEÇİMİ

Bu çalışmada, Türkiye Kömür İşletmeleri'nin daha önceki yıllarda satın almak için ihaleye çıktığı lastik tekerlekli yükleyici için hazırladığı teknik şartnameden faydalanılmıştır. İhale şartnamesinde istenilen ve karar alma sürecinde yer alan ölçütler aşağıda kısaca açıklanmış ve maddeler halinde listelenmiştir. İşletmeye alınacak ekipman deniz seviyesinden 1000 m yükseklikte çalıştırılacak olup maksimum ve minimum hava şartları -25°C ile $+40^\circ\text{C}$ arasındadır. Makinanın çalışması istenen alanda gevşetilmiş toprak yoğunluğu 1.8 ton/m^3 ve gevşetilmiş kömürün yoğunluğu ise 1.10 ton/m^3 tür. Aşağıda satın alınacak lastik tekerlekli yükleyiciden istenen teknik özellikler listelenmiştir.

- ✓ Ağır hizmet tipinde dizel motorlu olmalı, net motor gücü minimum 650 HP olmalı.
- ✓ Motor su soğutmalı, ilk hareket elektrik tahrikli olmalı.
- ✓ Su, hava ve yağı filtreleri ağır hizmet tipinde olmalı ve değiştirilebilmeli.
- ✓ Operatör kabini Rops tipi olmalı ve her türlü iklim koşullarına uymalı.
- ✓ Makine gece çalışmaya uygun aydınlatma sistemine sahip olmalı.
- ✓ Lastikler L-5 sınıfı dubleks olmalı, aşınma ve kesilmeye dayanıklı olmalı.
- ✓ Belden kırma özelliğine sahip olmalı.
- ✓ Merkezi yağlama sistemi bulunmalı.
- ✓ Yağ basıncı, sıcaklık gibi önemli göstergeler sesli ve ışık ikazlı olmalı.
- ✓ Lastiklerde kesilme ve aşınmaya karşı koruma zinciri fiyatı ayrıca belirtilmeli.

- ✓ Yükleyicide geri manevra halinde sesli ikaz olmalı.
- ✓ Kaya tip-düz kepçe ile V kazma dişli fiyatları ayrıca belirtilmeli.
- ✓ Makinanın arkasında çeki pimi bulunmalı.
- ✓ Çalışma ağırlığı 80–90 ton olmalı.
- ✓ Kepçe kapasitesi 12 y³ ya da daha fazla olmalı.
- ✓ En az 4 m yükseklikten ve 45° açıdan kepçe kovasını boşaltabilmeli.
- ✓ Kırılma yükü en az 60 ton ya da daha fazla olmalı.
- ✓ Kaldırma kapasitesi 17.5 ton ya da fazla olmalı.
- ✓ Tam dolu halde yüklü kepçe ağırlığı 45 ton veya daha fazla olmalı.
- ✓ Belden bükülebilme açısı 30° ya da daha fazla olmalı.
- ✓ Makinada tork dönüştürücü ve tam otomatik vites olmalı ve 4 tekerden çekiş sağlamalıdır.

Yukarıda teknik şartname detayları verilen lastik tekerlekli yükleyici probleminin hiyerarşik yapısı aşağıda Şekil 1 ile verildiği gibi oluşturulmuştur. Dört seviyeli bir hiyerarşik yapıya sahip olan bu problem için birinci seviyede hedef, ikinci seviyede ana ölçütler, üçüncü seviyede alt ölçütler ve son seviye olan dördüncü seviyede seçenekler verilmiştir.



Şekil 1. Problemin hiyerarşik yapısı.

Yukarıda Şekil 1 ile verilen dört düzeyli hiyerarşide, Ekonomi ana ölçütünün alt ölçütleri (C_1); İlk yatırım maliyeti (C_{11}), Yakıt maliyeti (C_{12}), Yedek parça maliyeti (C_{13}), Yardımcı ekipman maliyeti (C_{14}) ve İkinci el satış maliyetidir (C_{15}); İşletme ana ölçütünün alt ölçütleri (C_2); Malzeme boyutu (C_{21}), Malzemenin nemi (C_{22}), Zemin koşulları (C_{23}) ve Hava koşullarıdır (C_{24}); Teknik ana ölçütünün alt ölçütleri (C_3); Makine ağırlığı (C_{31}), Motor gücü (C_{32}), Kepçe yığılma kapasitesi (C_{33}), 45° yükleme yüksekliği (C_{34}), Koparma kuvveti (C_{35}), Kaldırma kapasitesi (C_{36}), Devrilme yükü (C_{37}) ve Belden bükülme açısıdır (C_{38}); Garanti ana ölçütünün alt ölçütleri ise (C_4); Satıcı memnuniyeti (C_{41}), Servis koşulları (C_{42}), Yedek parça temini (C_{43}) ve Garanti koşulları (C_{44}) olarak sembolize edilmiştir.

Aşağıda Çizelge 3 ile lastik tekerlekli yükleyici seçimi problemi için var olan dört farklı seçeneğin yirmi bir ölçüt karşısında aldıkları değerler verilmiştir. Bu ölçütlerden bazıları sayısal olarak ifade edilebilen ölçütler olmasına rağmen bazıları ise sadece sözel olarak ifade edilmektedir.

Çizelge 3. Dört farklı seçeneğin ölçütler karşısında aldıkları değerler.

ÖLÇÜTLER	SEÇENEKLER			
	A	B	C	D
İlk yatırım maliyeti (C_{11})	801710	788670	810250	825350
Yakıt maliyeti (C_{12})	Çok İyi	İyi	Kötü	Orta
Yedek parça maliyeti (C_{13})	Çok İyi	Orta	Kötü	İyi
Yardımcı ekipman maliyeti (C_{14})	İyi	Orta	Çok İyi	Kötü
İkinci el satış maliyeti (C_{15})	Kötü	Orta	İyi	Çok İyi
Malzeme boyutu (C_{21})	Orta	Kötü	Çok İyi	İyi
Malzemenin nemi (C_{22})	Orta	Çok İyi	Kötü	İyi
Zemin koşulları (C_{23})	Kötü	İyi	Çok İyi	Orta
Hava koşulları (C_{24})	Kötü	Orta	Çok İyi	İyi
Makine ağırlığı (C_{31})	89.8	88.2	89.5	90.3
Motor gücü (C_{32})	825	690	725	650
Kepçe yığma kapasitesi (C_{33})	13.5	14	12	12
45° yükleme yüksekliği (C_{34})	4.6	4.8	4.5	4.6
Koparma kuvveti (C_{35})	60800	76200	65500	60500
Kaldırma kapasitesi (C_{36})	21750	20500	19300	19800
Devrilme yükü (C_{37})	61550	51250	45500	48600
Belden bükülme açısı (C_{38})	40°	35°	40°	38°
Satıcı memnuniyeti (C_{41})	Çok İyi	İyi	Orta	Kötü
Servis koşulları (C_{42})	İyi	Orta	Kötü	Çok İyi
Yedek parça temini (C_{43})	Çok İyi	Kötü	İyi	Orta
Garanti koşulları (C_{44})	İyi	Çok İyi	Orta	Kötü

3.1 AHS Yöntemi ile Lastik Tekerlekli Yükleyici Seçimi

Bu problem için her bir seviyede ayrı ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve toplam 26 adet ikili karşılaştırma matrisi ile sonuca ulaşılmıştır. Bu matrisler ile yapılan hesaplamalara örnek olarak; ana ölçütlerin ikili karşılaştırma matrisi, ekonomi ana ölçütünün alt ölçütlerinin ikili karşılaştırma matrisi, ilk yatırım maliyeti alt ölçütünün seçenekleri ile ikili karşılaştırma matrisi ile karar matrisi aşağıda sırayla Çizelge 4, 5, 6 ve 7 ile verilmiştir

Çizelge 4. Ana ölçütler için ikili karşılaştırma matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4	Ağırlıklar
C_1	1	3	2	4	0.471
C_2	1/3	1	1/2	3	0.179
C_3	1/2	1/4	1	2	0.253
C_4	1/4	1/3	1/2	1	0.096
$\lambda_{max}=4.123$, $CI=0.041$ ve $CR=0.046 \leq 0.1$, OK.					

Çizelge 5. Ekonomi ana ölçütünün alt ölçütleri için ikili karşılaştırma matrisi

	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	Ağırlıklar
C_{11}	1	2	3	3	6	2.551
C_{12}	1/2	1	2	2	7	1.695
C_{13}	1/3	1/2	1	1	8	1.059
C_{14}	1/3	1/2	1	1	8	1.059
C_{15}	1/6	1/7	1/8	1/8	1	0.206
$\lambda_{max}=5.250, CI=0.062$ ve $CR=0.056 \leq 0.1, OK.$						

Çizelge 6. Ekonomi ana ölçütünün ilk yatırım maliyeti alt ölçütü için seçeneklerin ikili karşılaştırıldığı matris

	A	B	C	D	Ağırlıklar
A	1	1/3	2	3	0.233
B	3	1	4	5	0.545
C	1/2	1/4	1	2	0.138
D	1/3	1/5	1/2	1	0.084
$\lambda_{max}=4.051, CI=0.017$ ve $CR=0.019 \leq 0.1, OK.$					

Çizelge 7. AHS için karar matrisi.

	C_1	C_2	C_3	C_4	Ana ölçüt ağırlıkları	Toplam ağırlıklar
A	0.345	0.207	0.765	0.340	0.471	0.301
B	0.344	0.412	0.507	0.304	0.179	0.280
C	0.189	0.919	0.422	0.177	0.253	0.235
D	0.154	0.514	0.337	0.179	0.096	0.184

Çizelge 7 incelendiğinde Seçenek A'nın 0.301 ile en büyük bileşik görelî önem değerine sahip olduğu görülmekte olup bu seçeneğin tercih edilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Karar verici/vericilerin tercihlerinde bir değişiklik olmadığı takdirde belirlenen ölçütlere göre en uygun seçenek A olup diğer seçenekler sırası ile B, C ve D olarak belirlenmiştir.

3.2 Yager Yöntemi ile Lastik Tekerlekli Yükleyici Seçimi

Yager yöntemi ile problemin çözümünde öncelikle her bir ana ölçütün ve bu ölçütlerin alt ölçütlerinin ağırlık değerleri AHS yöntemi ile aynı şekilde hesaplanmaktadır. Daha sonra ana ölçütlerin ağırlık değerleri ile her bir alt ölçütün ağırlıkları ayrı ayrı çarpılarak 21 alt ölçüt için bileşik ağırlık değerleri hesaplanır. Her bir alt ölçüt için bileşik ağırlık değerleri aşağıda Çizelge 8 ile verilmiştir.

Bu alt ölçütlerin ağırlıklarının toplamı 1'dir. Her bir alt ölçütün hesaplanan bu ağırlık değerleri her bir ölçütün üyelik fonksiyonları olarak alınmaktadır. Ölçütler için üssel ağırlık değerleri sırasıyla: $\alpha_{12}=0.183$, $\alpha_{12}=0.122$, $\alpha_{13}=0.076$, $\alpha_{14}=0.076$, $\alpha_{15}=0.015$, $\alpha_{21}=0.021$, $\alpha_{22}=0.010$, $\alpha_{23}=0.056$, $\alpha_{24}=0.092$, $\alpha_{31}=0.063$, $\alpha_{32}=0.080$, $\alpha_{33}=0.027$,

$\alpha_{34}=0.012$, $\alpha_{35}=0.016$, $\alpha_{36}=0.016$, $\alpha_{37}=0.027$, $\alpha_{38}=0.012$, $\alpha_{41}=0.011$, $\alpha_{42}=0.021$, $\alpha_{43}=0.021$ ve $\alpha_{44}=0.043$ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 8. Her bir alt ölçütün ağırlıklarının hesaplanması.

Ana Ölçütler	Alt Ölçütler	Ağırlıklar		
		Alt ölçüt	Ana ölçüt	Bileşik
Ekonomik	İlk yatırım maliyeti (C_{11})	0.388	0.471	0.183
	Yakıt maliyeti (C_{12})	0.258		0.122
	Yedek parça maliyeti (C_{13})	0.161		0.076
	Yardımcı ekipman maliyeti (C_{14})	0.161		0.076
	İkinci el satış maliyeti (C_{15})	0.031		0.015
İşletme	Malzeme boyutu (C_{21})	0.116	0.179	0.021
	Malzemenin nemi (C_{22})	0.058		0.010
	Zemin koşulları (C_{23})	0.314		0.056
	Hava koşulları (C_{24})	0.512		0.092
Teknik	Makine ağırlığı (C_{31})	0.249	0.253	0.063
	Motor gücü (C_{32})	0.316		0.080
	Kepçe yığma kapasitesi (C_{33})	0.105		0.027
	45° yükleme yüksekliği (C_{34})	0.047		0.012
	Koparma kuvveti (C_{35})	0.065		0.016
	Kaldırma kapasitesi (C_{36})	0.065		0.016
	Devrilme yükü (C_{37})	0.105		0.027
	Belden bükülme açısı (C_{38})	0.047		0.012
Garanti	Satıcı memnuniyeti (C_{41})	0.117	0.096	0.011
	Servis koşulları (C_{42})	0.218		0.021
	Yedek parça temini (C_{43})	0.218		0.021
	Garanti koşulları (C_{44})	0.448		0.043

Uzman görüşlerinden elde edilen her bir ölçütün alt ağırlık değerleri ise karar matrisi halinde aşağıda Çizelge 9 ile verilmiştir. Burada, her bir ölçüt için seçeneklerin aldığı ağırlık değerleri 0–1 arasında sayılardan seçilmiştir.

Çizelge 9. Yager yöntemi için karar matrisi.

	Uzman Görüşleri				Genel Ağırlık Değerleri			
	A	B	C	D	A	B	C	D
C_{11}	0.4	0.2	0.6	0.8	0.846	0.745	0.911	0.960
C_{12}	0.2	0.4	0.8	0.6	0.822	0.846	0.960	0.911
C_{13}	0.2	0.6	0.8	0.4	0.885	0.911	0.960	0.846
C_{14}	0.4	0.6	0.2	0.8	0.933	0.911	0.745	0.960
C_{15}	0.8	0.6	0.4	0.2	0.997	0.911	0.846	0.745
C_{21}	0.4	0.2	0.8	0.6	0.981	0.745	0.960	0.911
C_{22}	0.4	0.6	0.2	0.8	0.991	0.911	0.745	0.960
C_{23}	0.2	0.6	0.8	0.4	0.914	0.911	0.960	0.846
C_{24}	0.2	0.4	0.8	0.6	0.863	0.846	0.960	0.911
C_{31}	0.4	0.8	0.6	0.15	0.944	0.960	0.911	0.707

C_{32}	0.2	0.6	0.4	0.8	0.879	0.911	0.846	0.960
C_{33}	0.4	0.2	0.6	0.6	0.976	0.745	0.911	0.911
C_{34}	0.4	0.2	0.6	0.4	0.989	0.745	0.911	0.846
C_{35}	0.6	0.2	0.4	0.8	0.992	0.745	0.846	0.960
C_{36}	0.2	0.4	0.8	0.6	0.974	0.846	0.960	0.911
C_{37}	0.2	0.4	0.8	0.6	0.958	0.846	0.960	0.911
C_{38}	0.2	0.6	0.1	0.4	0.981	0.911	0.656	0.846
C_{41}	0.2	0.4	0.6	0.8	0.982	0.846	0.911	0.960
C_{42}	0.4	0.6	0.8	0.2	0.981	0.911	0.960	0.745
IC_{43}	0.2	0.8	0.4	0.6	0.967	0.960	0.846	0.911
C_{44}	0.4	0.2	0.6	0.8	0.961	0.745	0.911	0.960
EN KÜÇÜK DEĞERLER					0.822	0.745	0.656	0.707

Her ölçüt için seçeneklerin üyelik dereceleri ve ölçütlerin ağırlıkları kullanılarak Eşitlik 4 yardımı ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

$$\mu_D(\text{Seçenek A}) = \min\{0.40^{0.183}, 0.20^{0.122}, 0.20^{0.076}, 0.40^{0.076}, 0.80^{0.015}, 0.40^{0.021}, 0.40^{0.010}, 0.20^{0.056}, 0.20^{0.092}, 0.40^{0.063}, 0.20^{0.080}, 0.40^{0.027}, 0.40^{0.012}, 0.60^{0.016}, 0.20^{0.016}, 0.20^{0.027}, 0.20^{0.012}, 0.20^{0.011}, 0.40^{0.021}, 0.20^{0.021}, 0.40^{0.043}\} = 0.822$$

$$\mu_D(\text{Seçenek B}) = \min\{0.20^{0.183}, 0.40^{0.122}, 0.60^{0.076}, 0.60^{0.076}, 0.60^{0.015}, 0.20^{0.021}, 0.60^{0.010}, 0.60^{0.056}, 0.40^{0.092}, 0.80^{0.063}, 0.60^{0.080}, 0.20^{0.027}, 0.20^{0.012}, 0.20^{0.016}, 0.40^{0.016}, 0.40^{0.027}, 0.60^{0.012}, 0.40^{0.011}, 0.60^{0.021}, 0.80^{0.021}, 0.20^{0.043}\} = 0.745$$

$$\mu_D(\text{Seçenek C}) = \min\{0.60^{0.183}, 0.80^{0.122}, 0.80^{0.076}, 0.20^{0.076}, 0.40^{0.015}, 0.80^{0.021}, 0.20^{0.010}, 0.80^{0.056}, 0.80^{0.092}, 0.60^{0.063}, 0.40^{0.080}, 0.60^{0.027}, 0.60^{0.012}, 0.40^{0.016}, 0.80^{0.016}, 0.80^{0.027}, 0.10^{0.012}, 0.60^{0.011}, 0.80^{0.021}, 0.40^{0.021}, 0.60^{0.043}\} = 0.656$$

$$\mu_D(\text{Seçenek D}) = \min\{0.80^{0.183}, 0.60^{0.122}, 0.40^{0.076}, 0.80^{0.076}, 0.20^{0.015}, 0.60^{0.021}, 0.80^{0.010}, 0.40^{0.056}, 0.60^{0.092}, 0.15^{0.063}, 0.80^{0.080}, 0.60^{0.027}, 0.40^{0.012}, 0.80^{0.016}, 0.60^{0.016}, 0.60^{0.027}, 0.40^{0.012}, 0.80^{0.011}, 0.20^{0.021}, 0.60^{0.021}, 0.80^{0.043}\} = 0.707$$

Bellman-Zadeh'in max-min kuralı kullanılarak aşağıdaki şekilde bir karar yapısına ulaşılmaktadır.

$$\mu_D(A) = \{ \text{Seçenek A} / 0.822, \text{Seçenek B} / 0.745, \text{Seçenek C} / 0.656, \text{Seçenek D} / 0.707 \}$$

en uygun çözüm ise

$$\mu_D(A^*) = \max\{\mu_D(\text{Seçenek A})\} = 0.822 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Sonuç olarak, "Seçenek A" en büyük üyelik fonksiyonuna sahip olduğu için mevcut lastik tekerlekli yükleyiciler arasında en uygun olanı olarak bulunmuştur.

3.3 TOPSIS Yöntemi ile Lastik Tekerlekli Yükleyici Seçimi

Problemin TOPSIS yöntemi ile çözümünde de Şekil 1 ile verilen hiyerarşik yapı ve Çizelge 3 ile verilen bilgiler kullanılmıştır. Bu çizelgede verilen sayısal ifadeler direk

olarak karar matrisi içerisine alınırken dilsel ifadeler ise “Çok İyi” karşılığında “4”, “İyi” karşılığında “3”, “Orta” karşılığında “2” ve “Kötü” karşılığında ise “1” değerleri ile karar matrisi içerisine eklenmiştir. Problem için oluşturulan karar matrisi aşağıda Çizelge 10 ile verilmiştir. Daha sonra eşitlik 8 ile verilen bağıntı kullanılarak Çizelge 11 ile Normalleştirilmiş karar matrisi oluşturulmuştur.

Çizelge 10. TOPSIS yöntemi için karar matrisi.

	Seçenekler			
	A	B	C	D
C_{11}	801710	788670	810250	825350
C_{12}	4	3	1	2
C_{13}	4	2	1	3
C_{14}	3	2	4	1
C_{15}	1	2	3	4
C_{21}	2	1	4	3
C_{22}	2	4	1	3
C_{23}	1	3	4	2
C_{24}	1	2	4	3
C_{31}	89.8	88.2	89.5	90.3
C_{32}	825	690	725	650
C_{33}	13.5	14.0	12.0	12.0
C_{34}	4.6	4.8	4.5	4.6
C_{35}	60800	76200	65500	60500
C_{36}	21750	20500	19300	19800
C_{37}	61550	51250	45500	48600
C_{38}	40	35	40	38
C_{41}	4	3	2	1
C_{42}	3	2	1	4
C_{43}	4	1	3	2
C_{44}	3	4	2	1

TOPSIS yöntemi ile Karar Verme için bir sonraki adım ölçütlerin karar vericilerce verilen ağırlıklarının belirlenmesi ve ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisinin oluşturulmasıdır. Bu çalışmada daha önce AHS ve Yager yöntemlerinde kullanılan ölçütlerin ağırlıkları [$W=(0.183, 0.122, 0.076, 0.076, 0.015, 0.021, 0.010, 0.056, 0.092, 0.063, 0.080, 0.027, 0.012, 0.016, 0.016, 0.027, 0.012, 0.011, 0.021, 0.021, 0.043)$] alınmış ve aşağıda Çizelge 12 ile verilen ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi oluşturulmuştur.

Bu matris üzerinde en büyük ve en küçük değerler öncelikle işaretlenerek İdeal (A^*) ve Negatif İdeal (A^-) çözümler aşağıda verildiği gibi bulunmuştur. Fayda tabanlı ölçütlerde en büyük, maliyet tabanlı ölçütlerde ise en küçükleme işlemleri uygulanmıştır.

$$A^* = (0.0936, 0.0888, 0.0555, 0.0555, 0.0108, 0.0151, 0.0076, 0.0410, 0.0670, 0.0319, 0.0456, 0.0145, 0.0062, 0.0094, 0.0087, 0.0158, 0.0062, 0.0082, 0.0153, 0.0153, 0.0315)$$

$A^- = (0.0895, 0.0222, 0.0139, 0.0139, 0.0027, 0.0038, 0.0019, 0.0103, 0.0168, 0.0311, 0.0359, 0.0124, 0.0058, 0.0075, 0.0078, 0.0117, 0.0055, 0.0021, 0.0038, 0.0038, 0.0079)$

Çizelge 11. Normalleştirilmiş karar matrisi.

	Seçenekler			
	A	B	C	D
C_{11}	0.4970	0.4889	0.5023	0.5116
C_{12}	0.7303	0.5477	0.1826	0.3651
C_{13}	0.7303	0.3651	0.1826	0.5477
C_{14}	0.5477	0.3651	0.7303	0.1826
C_{15}	0.1826	0.3651	0.5477	0.7303
C_{21}	0.3651	0.1826	0.7303	0.5477
C_{22}	0.3651	0.7303	0.1826	0.5477
C_{23}	0.1826	0.5477	0.7303	0.3651
C_{24}	0.1826	0.3651	0.7303	0.5477
C_{31}	0.5019	0.4930	0.5003	0.5047
C_{32}	0.5686	0.4756	0.4997	0.4480
C_{33}	0.5230	0.5424	0.4649	0.4649
C_{34}	0.4972	0.5188	0.4864	0.4972
C_{35}	0.4602	0.5768	0.4958	0.4579
C_{36}	0.5342	0.5035	0.4740	0.4863
C_{37}	0.5910	0.4921	0.4369	0.4666
C_{38}	0.5221	0.4569	0.5221	0.4960
C_{41}	0.7303	0.5477	0.3651	0.1826
C_{42}	0.5477	0.3651	0.1826	0.7303
C_{43}	0.7303	0.1826	0.5477	0.3651
C_{44}	0.5477	0.7303	0.3651	0.1826

Çizelge 12. Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi.

	Seçenekler			
	A	B	C	D
C_{11}	0.0909	0.0895	0.0919	0.0936*
C_{12}	0.0888*	0.0666	0.0222	0.0444
C_{13}	0.0555*	0.0277	0.0139	0.0416
C_{14}	0.0416	0.0277	0.0555*	0.0139
C_{15}	0.0027	0.0054	0.0081	0.0108*
C_{21}	0.0076	0.0038	0.0151*	0.0114
C_{22}	0.0038	0.0076*	0.0019	0.0057
C_{23}	0.0103	0.0308	0.0410*	0.0205
C_{24}	0.0168	0.0335	0.0670*	0.0503
C_{31}	0.0317	0.0311	0.0316	0.0319*
C_{32}	0.0456*	0.0381	0.0400	0.0359
C_{33}	0.0140	0.0145*	0.0124	0.0124

C_{34}	0.0059	0.0062*	0.0058	0.0059
C_{35}	0.0075	0.0094*	0.0081	0.0075
C_{36}	0.0087*	0.0082	0.0078	0.0080
C_{37}	0.0158*	0.0131	0.0117	0.0125
C_{38}	0.0062*	0.0055	0.0062*	0.0059
C_{41}	0.0082*	0.0062	0.0041	0.0021
C_{42}	0.0115	0.0076	0.0038	0.0153*
C_{43}	0.0153*	0.0038	0.0115	0.0076
C_{44}	0.0236	0.0315*	0.0157	0.0079

Bir sonraki aşama olan ayırım ölçütleri eşitlik 13 ve 14 ile verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$S_i^* = (0.0624, 0.0608, 0.0817, 0.0734)$$

$$S_i^- = (0.0869, 0.0609, 0.0743, 0.0529)$$

İdeal çözüme göreli yakınlık değerleri ise eşitlik 15 kullanılarak aşağıda verilmiştir.

$$C_i^* = (0.5820, 0.5004, 0.4763, 0.4188)$$

TOPSIS yöntemi ile problem çözüldüğünde pozitif ideal çözüme en yakın ve aynı zamanda negatif ideal çözüme ise en uzak seçenek olarak "Seçenek A" görülmektedir. Seçenekler için genel tercih sıralaması ise A, B, C ve D olarak gerçekleşmiştir.

4. YÖNTEMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada üç farklı ÇNKV yöntemi ile lastik tekerlekli yükleyici problemi için en uygun çözüm araştırılmıştır. AHS, Yager ve TOPSIS yöntemlerinin uygulanmasıyla elde edilen en uygun çözümler ve tercih sıralamaları aşağıda Çizelge 13 ile verilmiştir.

Çizelge 13. Üç farklı yöntemle bulunan sonuçlar ve tercih sıralamaları

Ölçütler	Ağırlıklar		
	AHS	Yager	TOPSIS
A	0.301	0.822	0.5820
B	0.280	0.745	0.5004
C	0.235	0.656	0.4763
D	0.184	0.707	0.4188
Sıralama	A-B-C-D	A-B-D-C	A-B-C-D

Çizelge 13 incelendiğinde her üç Karar Verme yönteminde de Seçenek A'nın en uygun çözüm olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Bunun yanında Seçenek B ise her üç yöntem içinde ikinci tercih konumundadır. AHS ve TOPSIS yöntemlerinde üçüncü ve dördüncü sıralamalar C ve D ile olurken Yager yönteminde bu sıralama D ve C olarak hesaplanmıştır.

Aslında herhangi bir Karar Verme yöntemi kullanılıp tutarlı ve geçerli bir değerlendirme yapıldığında en uygun karar konusunda çok ciddi değişimlerin gerçekleşmediği bu çalışmanın uygulamasında görülmektedir. Dolayısıyla, seçilecek Karar Verme yöntemi için öncelikle kullanım kolaylığı ön plana çıkmaktadır. Aslında karar verirken en az iki farklı yöntem kullanarak verilen kararın doğruluğunun sınanmasını sağlamak karar vericileri daha doğru sonuçlara götürmektedir. Bunun yanında, Karar Verme yöntemleri ile bulunan sonuçlar üzerinde Duyarlılık Analizleri yaparak ölçütlerin ağırlıklarındaki değişimlerin nihai karar üzerindeki etkilerinin incelenmesiyle verilecek olan kararın doğruluğunun sınanması da sağlanmış olmaktadır.

Her üç yöntem değerlendirildiğinde ise, AHS yöntemi mevcut yöntemler içerisinde en fazla bilinen yöntem olup bu yöntemin en büyük dezavantajı çok sayıda ikili karşılaştırma matrisi oluşturup bu matrisler üzerinde çok sayıda işlem yapılmasıdır. Karar vericiler için çoğu zaman ikili karşılaştırmalar sıkıntı verici işlem olarak görüldüğünden bu durum AHS yönteminin olumsuz bir yönü olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanında, önemli bir husus da yöntemin doğru uygulanma sorunudur. Madencilik alanında yapılan bazı yayınlar incelendiğinde, hem AHS hem de Yager yöntemi uygulamalarında hiyerarşik yapıda tek bir ölçüt seviyesi oluşturularak çok sayıda ölçütün birbiriyle ikili karşılaştırmalarının yapıldığı görülmektedir. Oysaki yöntemin doğası gereği 7'den fazla ölçütün ikili karşılaştırmalarının yapılmaması önerilmektedir (Saaty ve Özdemir, 2003). Bu çalışmada olduğu gibi, ölçüt sayısının 7'den fazla olduğu durumda ana ve alt ölçütler kullanılarak problemin parçalara ayrılması durumunda daha doğru sonuçlara ulaşılmaktadır.

Yager yöntemi ise ölçütlerin ağırlıklarını hesaplama aşamasına kadar AHS yöntemi ile birebir aynı işlemlerden oluşmaktadır. Bu yöntemde de ölçüt sayısının fazla olması durumunda grupta yapılarak ölçüt ağırlıklarının hesaplanması son derece önemli bir husustur. Yöntemin AHS'den farkı tek bir karar matrisi ile sonuca gidilmesi olarak görülmektedir. AHS yöntemine göre daha az işlem içeren bulanık bir yöntem olarak madencilik problemlerinde kullanıldığı görülmektedir.

TOPSIS yöntemi ise son dönemde madencilik problemlerine uygulanan bir yöntemdir. Ölçüt ağırlıkları bulunduktan ve hesaplama yöntemi karar verici tarafından anlaşıldıktan sonra gerek AHS ve gerekse Yager yöntemlerine göre daha kolay uygulanabilir bir yöntemdir. Zira yöntem içerisinde sıkıcı bir hal alan ikili karşılaştırmalar bulunmamaktadır. Hem sayısal hem de sayısal olmayan ölçütlerin probleme kolay bir şekilde dâhil edilmesi yöntemin bir diğer avantajı olarak karşımıza çıkmaktadır.

5. SONUÇLAR

Günümüz koşullarında gitgide daha karmaşık bir hale gelen madencilik faaliyetleri içerisinde Karar Verme son derece önemli bir husus haline gelmiştir. Üretim yöntemi seçiminden ekipman seçimine kadar birçok önemli karar veren Maden Mühendislerinin bu kararlar için Karar Verme yöntemlerinden faydalanması daha doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır. Bu sayede Maden Mühendislerinin madencilik süreçlerinde daha etkin rol oynaması söz konusu olacaktır.

Bu çalışmada üç farklı Karar Verme yöntemi kullanılarak Lastik Tekerlekli Yükleyici seçimi problemi için en uygun çözüm aranmıştır. AHS, Yager ve TOPSIS yöntemlerinin kullanıldığı analizde her üç yöntemde de “Seçenek A” en uygun, “Seçenek B” ise en iyi ikinci seçenek olarak bulunmuştur.

İnsan beyninin sınırları incelendiğinde, normal koşullar altında insanların 7 ± 2 adet ölçüttü sağlıklı bir şekilde birbiri ile kıyaslayıp değerlendirebileceğinden, bu çalışmada toplam 21 adet ölçüt Karar Verme süreci içerisinde 4 ana grup altında toplanmıştır. Bu sayede, problem küçük parçalara bölünerek tutarlı ve geçerli bir şekilde değerlendirme yapılması sağlanmıştır.

Bu çalışmadaki uygulamadan da görüldüğü gibi AHS, Yager ve TOPSIS yöntemlerinin madencilikteki farklı Karar Verme problemlerinin çözüm süreçlerinde kullanılması Maden Mühendislerinin daha doğru kararlar vermesini sağlayacaktır.

6. TEŞEKKÜR

Yazar, Maden Yüksek Mühendisi Soner ÖĞRETMEN’e ve TKİ yöneticilerine bu çalışmadaki verilerin sağlanması konusunda gösterdikleri olumlu yaklaşımdan dolayı teşekkür etmektedir.

KAYNAKLAR

- Acaroglu, O. Feridunoglu, C. and Tumac, D. (2006) Selection of roadheaders by fuzzy multiple attribute decision making method. *Mining Technology (Trans. Inst. Min. Metall. A)*, Vol. 115, pp. A91–A98.
- Alpay, S. and Yavuz, M. (2007) A decision support system for underground mining method selection. *Lecture Notes Artificial Intelligence*, Vol. 4570, pp. 334–343.
- Alpay, S. and Yavuz, M. (2009) Underground mining method selection by decision making tools. *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 24, pp. 173–184.
- Ataei, M. (2005) Multicriteria selection for alumina-cement plant location in East-Azerbaijan province of Iran. *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, Vol. 105, pp. 507–514.
- Bellman, R.E. and Zadeh, L.A. (1970) Decision Making in a Fuzzy Environment, *Management Science*, Vol. 17, pp. 141–164.
- Bitarafan, M.R. and Ataei, M. (2004) Mining method selection by multiple criteria decision making tools. *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, Vol. 104, pp. 493–498.
- Elevli, B. and Demirci A. (2004) Case Study: Multicriteria choice of ore transport system for an underground mine: Application of PROMETHEE methods. *The*

Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 104, pp. 251–256

- Hwang, C.L. and Yoon, K.** (1981) *Multi Attiribute Decision Making: Methods and Applications. a state-of-the- art survey*, Springer-Verlag, Berlin. Germany, 259 p.
- Karadogan, A. Bascetin, A. Kahrman, A. and Gorgun, S.** (2001) A New Approach in Selection of Underground Mining Method. *International Conference-Modern Management of Mine Producing, Geology and Environment Protection*, Varna-Bulgaria, pp. 171–183.
- Kazakidis, V.N. Mayer, Z. and Scoble, M.J.** (2004) Decision making using the analytic hierarchy process in mining engineering. *Mining Technology (Trans. Inst. Min. Metall. A)*, Vol. 113, pp. A30–A42.
- Kesimal, A. and Bascetin A.** (2002) Application of Fuzzy Multiple Attribute Decision Making in Mining Operations. *Mineral Resources Engineering*, Vol. 11, pp. 59–72.
- Saaty, T.L.** (1977) A scaling method for priorities in hierarchial structures. *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 15, pp. 234–281.
- Saaty, T.L.** (2000) *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*, RWS Publications, Pittsburgh, USA, 2000, 478 p.
- Saaty, T. L. and Özdemir M.S.** (2003) Why the magic number seven plus or minus two. *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 38, pp. 233–244.
- Sipahioğlu, A.** (2005) Karar Analizi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümü yayımlanmamış ders notları.
- Yavuz, M.** (2008) Selection of plant location in the natural stone industry using the fuzzy multiple attribute decision making method. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, Vol. 108, pp. 641–649.
- Yavuz, M.** (2009) TOPSIS Tekniği Kullanarak Hidrolik Yerkazar Seçimi ve Duyarlılık Çözümlemesi. *Türkiye Uluslararası 21. Madencilik Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, Antalya, s. 195–202.
- Yavuz, M. and Alpay, S.** (2008) Underground Mining Technique Selection by Multicriterion Optimization Methods. *Journal of Mining Science*, Vol. 44, pp. 391–401.
- Yavuz, M. ve Ankara, H.** (2006) Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve Madencilikteki Uygulamaları. *Türkiye 15. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, Zonguldak, s. 101–108.

Yavuz, M. İphar, M. and Önce, G. (2008) The Optimum Support Design Selection by Using AHP Method for the Main Haulage Road in WLC Tuncbilek Colliery. *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 23, pp. 111–119.

JEOTERMAL ARAŞTIRMALARDA SONDAJ TEKNOLOJİSİNİN SEÇİMİ ve SEKTÖRÜN GELİŞİMİ

CHOICE OF DRILLING TECHNOLOGY AND SECTOR DEVELOPMENT IN GEOTHERMAL EXPLORATIONS

Bülent TOKA, MTA Genel Müdürlüğü - Sondaj Dairesi, Ankara

ÖZET

Yerkürenin derinliklerinde depolanmış ısısından faydalanmaya yönelik çalışmalar, sondaj teknolojisinin gelişmesine ve yatırımların artmasına neden olmaktadır. Özellikle jeotermal sistemin doğal karmaşık yapısı ve bulunduğu derinlik, sondaj makine ve delme teknolojisini seçiminin önemini artırmaktadır. Jeotermal sondajlara uygun seçilen makine tipi ve sondaj tekniği, ekonomiklik sağlarken çalışma sırasında ve sonrasında ortaya çıkabilecek olumsuz etkileri de en aza indirmektedir. Bu çalışmada jeotermal sistemlere göre, seçilecek makine tipleri, sondaj teknolojileri ve sektörün gelişimi hakkında bilgi verilmektedir.

ABSTRACT

The efforts of benefiting from the heat stored in the depths of the earth have led to the development of the drilling technology and an increase in the investments. Due to the natural complex structure of the geothermal system and the depth in which it is located the choice of the right drilling machinery and drilling technology is very important. The right choice of machinery and drilling technology at geothermal drilling sites not only leads to optimized work but also minimizes any negative effects during and after the work. This study gives information about machinery and drilling technology choices according to geothermal systems and provides information about the development of the sector.

1. GİRİŞ

Gelişmekte olan toplumların ekonomik ve siyasal gelişimi ile birlikte enerjiye olan ihtiyaçları hızla artarken, ülke yönetimleri de toplumun enerji gereksinimlerini karşılamaya yönelik alternatif ve yerel enerji kaynaklarını arama ve geliştirmeye yönelik çalışmalarını ve yatırımlarını artırmaktadırlar. Ülkemizde de yerli ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında gösterilen jeotermal enerjiden faydalanmaya yönelik araştırma ve geliştirme çalışmalarına yapılan yatırım da (özellikle özel sektör tarafından) son on yılda büyük bir artış göstermektedir.

Kısaca yerisısı olarak tarif edilen jeotermal enerji, yerkürenin içine depolanan ısı olup yerkürenin tükenmez enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Yeryüzünden açılan sondajlar vasıtasıyla yeraltında depolanan bu ısı bir akışkan ile yüzeye taşınmaktadır. Yeraltından üretilen bu akışkan, içerdiği ısı miktarına ve kimyasal içeriğine göre de elektrik üretiminden sağlık ve turizm sektörüne kadar değişik amaçlar için kullanılmaktadır.

Ülkemizde bugüne kadar 3000 metreye yaklaşan derinliğe kadar hidrotermal sahalarından enerji üretimine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Önümüzdeki 10 yıl içerisinde 5000 metreden daha derinlerde bulunan kızgın kuru kaya, kızgın ıslak kaya veya kızgın çatlaklı kaya anlamına gelen insan yapımı geliştirilmiş jeotermal sistemlerden (enhanced geothermal systems-EGS) enerji üretimine yönelik araştırma çalışmalarına başlanması da kaçınılmaz olarak görülmektedir.

Jeotermal sistemlerin (hidrotermal, EGS gibi) farklı derinliklerde olması ve çok karmaşık jeolojik yapısı, sondaj tekniği ve makine tipi seçimini etkilemektedir. Bu çalışmada, jeotermal sistemlere göre seçilecek jeotermal sondaj tekniği ve makine seçim yöntemi ve önemi anlatılmaktadır.

2. JEOTERMAL SİSTEMLER

Jeotermal sistemlerin yapısı, sondaj makine ve tekniğinin seçiminde büyük önem taşımaktadır. Jeotermal sistemler 4 ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar; Hidrotermal sistemler, geliştirilmiş jeotermal sistemler (enhanced geothermal systems - EGS), jeo-basınçlı jeotermal sistemler ve yüksek sıcaklıklı magmatik sokulumlardır.

1900'lü yılların başından itibaren dünyanın birçok ülkesinde jeotermal sistemlerden faydalanmada en yaygın olarak hidrotermal sistemler kullanılmaktadır. Hidrotermal sistemler, meteorik suların besleme alanı, ısı kaynağı, rezervuar ve ısıyı taşıyan akışkan gibi 4 ana öğeden oluşmaktadır. Isı kaynağı yüksek sıcaklıklı (>600 °C) ve yüzeye yakın kısımlara ulaşabilen (5-10 km) magmatik sokulumlar olabileceği gibi, düşük sıcaklıklı sistemlerde derinlikle birlikte artan normal jeotermik gradyan (ortalama 2,5-3 °C/100 m) olabilmektedir. Jeotermal sıvı ise çoğu durumda meteorik sudur ve rezervuarda sıcaklık ve basınca bağlı olarak buhar veya sıvı halde bulunmaktadır. Isıyı taşıyan akışkanın devir-daim ettiği çatlaklı (permeable) kayalarlardan oluşan rezervuardan üretimi sondajlar vasıtasıyla olmaktadır. Rezervuarların üzerinde genellikle geçirimsiz tabakalar bulunmaktadır. Bu sistemden enerji üretimine yönelik sondaj çalışmaları dünyada 4000 metreye kadar ulaşmıştır.

İnsan veya mühendislik yapımı jeotermal sistem olarak da adlandırılan EGS'ler derin (>5000 m) sıcak kristal kayalardan ısı üretimini içermektedir. Kızgın kuru kaya, kızgın ıslak kaya veya kızgın çatlaklı kaya anlamına gelen EGS'lerden ısı enerjisi üretimi 21. yüzyılın önemli bir enerji kaynağı olarak gösterilmektedir. Bu sistemde iki kuyu (enjeksiyon ve üretim kuyusu) suni olarak hidrolik çatlatma sistemi (rezervuara yüksek basınçta su basımı) ile yaratılan çatlaklar boyunca birbirine bağlanmaktadır. Isı üretimi enjeksiyon kuyusundan basılan suyun rezervuarda ısınarak üretim kuyusuna ulaşmasıyla yapılmakta ve uygulanan akışkan basıncı çatlak yüzeylerini açık tutmaktadır.

Diğer iki jeotermal sistemden (jeo-basınçlı jeotermal sistem ve yüksek sıcaklıklı magmatik sokulular) bugüne kadar sondaj ve üretime yönelik yeteri kadar teknolojik bir çalışma yapılmamıştır. Geo-basınçlı jeotermal sistemlerde hidrostatik basınçtan daha yüksek basınç altında olan geçirimli kayaların içinde depolanmış olan akışkan içerisinde doğal gaz da (metan) bulunmaktadır. Diğer jeotermal sistem de ise sondajlarla ulaşılabilir derinlikte ($\approx$ 7000 m), 700-1200 °C arasında erimiş halde bulunan magmatik kayalardır.

3. SONDAJ ÜNİTELERİ

Kuyubaşı, çimento ünitesi, aydınlatma üniteleri, muhafaza boruları ve tanklar gibi sondaj için gerekli yardımcı ekipmanlarını göz önüne almadığımızda sondaj ünitesi 3 ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar sondaj platformu ve güç ünitesi, takım dizisi ve akışkan sistemidir.

3.1 Sondaj Platformu ve Güç Ünitesi

Jeotermal araştırmalarda döner masalı (rotary) sondaj makineleri tercih edilmektedir. Bu tip makinelerde delme işlemi, güç ünitesinden alınan hareketinin döner masa veya döner başlık vasıtasıyla takım dizisine (kelly, tij, ağırlık boruları ve matkap) iletilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Rotary sondaj makineleri derinliğe ve kullanıcının isteğine bağlı olarak üretilmektedirler. Piyasada 3000-4000 mt'ye kadar mobil, 4000 metrenin üzerinde ise mobil olamayan (land rig) sondaj makineleri üretilmektedir. 4000 mt'nin altında sondaj yapabilen mobil makineler ise sürücü kabinli ve treyler (çekilen) tip olarak ikiye ayrılmaktadır. 3000 metrenin üzerindeki mobil olan veya olmayan sondaj makinelerinde ise sondaj operasyonunu ve çalışma koşullarını kolaylaştıracak, sondajda karşılaşılabilecek sorunları daha az indirecek mekanizmalar ön plana çıkmaktadır. Bu tür makineler yarı veya tam otomatik olarak çalıştığından iş güvenliğini artırmakta ve sondaj için gereksinim duyulan personel sayısı en aza indirmektedir.

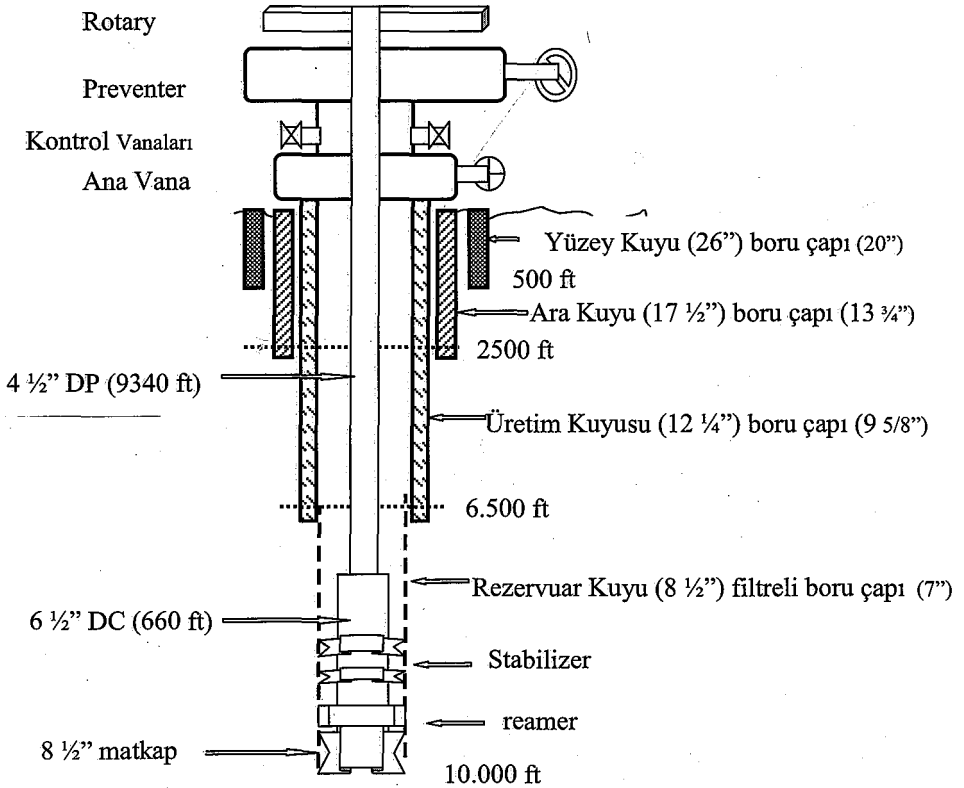
3000 metrenin üzerinde sondaj yapan makinelerde özellikle takım dizisini döndürmek için gerekli olan tork ve dönme hareketini tijlere ileten top-drive (döner başlık) sistemler (TDS) tercih edilmektedir. Bu sistemin en büyük avantajı takım çekilirken veya kuyuya indirilirken kule boyunca dönme hareketini sağlaması ve 2 veya 3 tij ile manevra yapabilmeye veya ilerleme özelliğine sahip olmasıdır. Bu durum özellikle yıkıntı ve şişme özelliğine sahip formasyonların delinmesinde (örneğin, şeyl ve karsitik boşluklu kireçtaşlarında) veya yatay ve yönlü sondajlarda zaman kazanımı konusunda avantaj sağlamaktadır. Hidrolik veya elektrik motorları ile hareket ettirilen Top-drive'lar 1968

yıllarından beri olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda elektrikli top-drive sistemlerinde AC (alternatif akım) sistemler daha iyi güç, tork ve hız kontrolüne sahip olduklarından tercih edilmektedirler (Greenberg, J. 2007).

Sondaj makinesinin güç ünitelerin seçiminde (kule çekme kapasitesi, drawworks ve motor gücü) yapılan hesaplamalar Toka ve Özbayoğlu tarafından 2009 yılında yapılan TMMOB jeotermal Kongresinde yayınlanan "Jeotermal Sondajlarda Makine ve Pompa Seçimi" adlı bildiride verilmiştir (Toka, B. ve Özbayoğlu M.E., 2009).

3.2 Takım Dizisi

Takım dizisi tijler (Drill pipe), ağırlık boruları (Drill Collar), stabilizasyon ekipmanları ve matkaptan oluşmaktadır. Takım dizisi açılacak kuyunun çapına uygun olarak seçilmektedir. Şekil 1'de ülkemizde uygulanan örnek bir kuyu dizaynı verilmiştir. 12 ¼" matkap ve daha büyük çaptaki matkaplarda 8" DC kullanılırken, 8 ½" matkapların üzerinde ise 6 ¼" veya 6 ½" çapında DC'ler kullanılmaktadır.

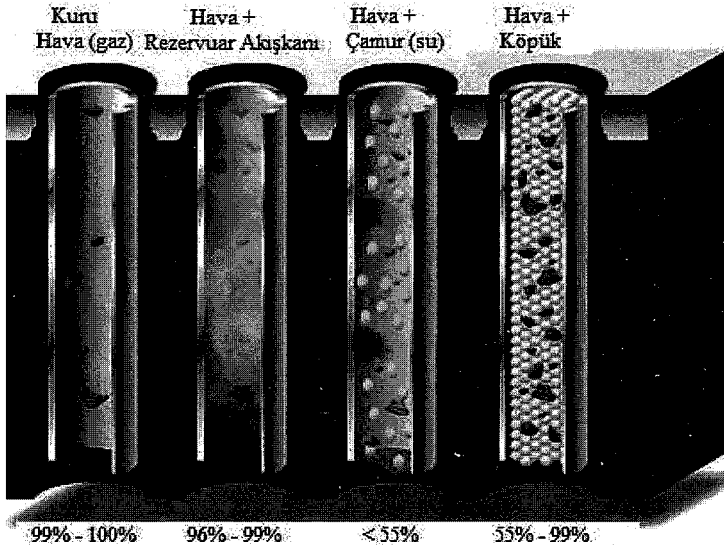


Şekil 1. Örnek Jeotermal Kuyu Dizaynı (Toka ve Özbayoğlu, 2009).

3.3 Akışkan Sistemi

Sondaj çalışmalarında kullanılan akışkanların, matkabın kestiği formasyon kırıntılarını yüzeye taşımak ve kuyu içerisinde sirkilasyon durduğunda formasyon kırıntıları askıda tutmak gibi en önemli iki ana görevi vardır. Jeotermal sondajlarda genellikle lignosülfanat çamurları (Na-bentonit+su+lignosülfanat ve kostik soda) kullanılmaktadır. Bunun nedeni Na-bentonitlerin sondaj çamurunun ana görevlerini yerine getirecek API (American Petroleum Institute) standartlarında belirtilen reolojik ve filtrasyon özelliklerine sahip olmasıdır. Lignosülfanat ve kostik sodanın kullanılmasının nedeni ise sıcaklık ve formasyon kirlenmesi nedeni ile bozulan çamur özelliklerini tekrar düzenlemektir. Sondaj çamurun reolojik özelliklerini belirlemede kullanılan iki özellik; akma noktası (YP) ve plastik viskozitedir (PV). Akma noktası, statik haldeki çamuru hareket ettirmek için gerekli olan minimum gücü ifade ederken plastik viskozite çamurun içerdiği katı madde miktarını göstermektedir. API standardında istenen diğer bir özellik ise çamur keki oluşumu sırasındaki filtrasyon hacmi (FV) veya diğer bir deyişle su kaybı (süzüntü) miktarıdır.

Fakat Dünya’da jeotermal kuyularda, çamur teknolojisinin yerine son yıllarda geniş bir uygulama alanı bulan havalı akışkan uygulama tekniklerinin tercih edilmesindeki en önemli iki neden; (i) ilerleme hızının birkaç kat daha fazla olması ve rezervuar (ii) kirlenmesinin önlenmesidir. İsviçre’de bu yöntemle yapılan derin jeotermal sondajda 4 kat daha fazla ilerleme hızına ulaşılmıştır (Bjelm, 2006). Sondaj sırasında anülüsteki akışkan basıncını azaltan ve muhtemel üretim zonlarındaki formasyon basıncını dengeleyen bu teknik dört farklı şekilde uygulanmaktadır. Bunlar (i) hava (veya gaz), (ii) hava + rezervuar akışkanı (mist), (iii) hava+çamur (veya su) ve (iv) hava+köpük sistemidir. Bu tekniklerin uygulanması için gerekli hava oranları Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 2. Havalı akışkan sisteminde uygulanan dört farklı tekniğin içerdiği hava oranlarının yüzdesi (Nas ve Toralde, 2010).

1982 yılında hava akışkanlı (hava+ formasyon akışkanı, hava+köpük gibi) jeotermal sondaj uygulamaları ilk olarak Kenya'da başlanmış ve Etopya, Japonya, Meksika, İzlanda, Yeni Zelanda, Endonezya, Filipinler gibi ülkelerde de hava akışkanlı jeotermal sondajlar yapılmıştır (Birkisson ve Hole, 2007). Fakat ülkemizde bugüne kadar jeotermal sondajlarda hava akışkanlı sondaj tekniği uygulanmamıştır.

Havalı sondaj ekipmanlarının en önemli iki ana ekipmanı kompresör ve booster'dır. Kompresörler sondaj veya booster için düşük basınçlı hava üretirler (100-300 psig). Boosterlar yüksek basınçlı hava (1500 psig) üretirler. Kompresör ve booster gücünün hesaplanmasına yönelik yapılan hesaplamalar Toka (2010) tarafından MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteninde "Jeotermal Sondajlarda Havalı Akışkan Teknikleri ve Örnek Bir Problem" adlı bildiride ayrıntılı olarak verilmiştir (Toka, B., 2010).

4. JEOTERMAL SONDAJ TEKNOLOJİNİN SEÇİMİ VE SEKTÖRÜN GELİŞİMİ

Jeotermal alanlar, doğası gereği insanların yaşam alanlarında (şehir içlerinde), ulaşımı güç olan yerlerde (dağlık ve ormanlık alanlar), SİT alanlarında, denizlerde veya diğer bir ifade ile her yerde olabilmektedir. Özellikle jeotermal sistemin karmaşık doğası (yüksek basınç ve sıcaklık ve kırıklı, çatlaklı, sert, yıkıntı ve şişme yapan formasyonlar gibi) jeotermal sondaj (delme) teknolojisini etkilemektedir. Ayrıca jeotermal sondajlarda kuyu çaplarının ve dolayısıyla üretim borusu (casing) çaplarının büyük olması jeotermal sondajların diğer sondajlarına göre daha maliyetli ve teknik olarak da daha güç olmasına neden olmaktadır. Delme sırasında rezervuarda karşılaşılan yüksek sıcaklık, çözünmüş çeşitli tuzlardan kaynaklanan iyonlar, tij ve muhafaza borusu gibi kuyu içinde kullanılan ekipmanlarda ekstra gerilim oluşmasına ve çamurun reolojik özelliklerinin sürekli olarak değişmesine neden olmaktadır.

Jeotermal sondajların başarı ile tamamlanmasında; sondajın düşük maliyetli olması, çevresel faktörler, ses yalıtım sistemi, iş ve işçi güvenliği, makine ve pompa gücü, makinenin oturacağı alan, üretim borusu çapı, kuyu derinliği, sondaj akışkanı tipi, jeotermal sistemin yapısı, matkabin keseceği formasyon ve rezervuar yapısı göz önüne alınan faktörlerdir. Bu faktörler sondajı yapacak makine tipini ve gücünü, kuyu dizaynını ve sondaj akışkan sistemi seçimini etkilemektedir. Örneğin çalışmaların şehir içerisinde yapılması durumunda ses yalıtımlı ve elektrikli makinelerin seçimini ön plana çıkarırken, dağ ve tepe gibi düz alanların olduğu yerlerde daha esnek sondaj makinelerin tercihi doğru olmaktadır.

Jeotermal sondajların derinliği hidrotermal sistemlerde 4000 metre derinliğe kadar olurken, EGS'de sondajlar 5000 metreden daha fazla derinliklere inmektedir. Bugüne kadar ülkemizde yaklaşık 3000 metre derinliğe varan jeotermal kuyular açılmıştır. Bu kuyularda genellikle lignosülfanat çamurları tercih edilmiş olup, hava akışkanlı sondaj teknolojileri uygulanmamıştır. Özellikle lignosülfanat çamurlarıyla yapılan kuyularda son zamanlarda bentonitin rezervuarda yaptığı kirlenmeyi önlemek için rezervuara asit basarak temizleme uygulamaları yapılmaktadır. Fakat çamur ile yapılan sondajlarda rezervuarda ne kadar bir kirlenme olduğunu ve asitin bu kirlenmenin ne kadarını temizlediğini tam olarak ölçme olanağı da yoktur. Kuyuya asit basımı; takım dizisinde ve kuyu içerisinde kullanılan muhafaza borularında korozyona neden olabileceği gibi,

rezervuardaki akışkanı ve üretim sonrası dışarı boşalımı sırasında da çevreyi olumsuz etkilemektedir. Ayrıca asitin yakıcı ve zehirleyici etkisi nedeniyle sondaj personelinin sağlığı ve güvenliğini riske atılmaktadır. Bu durum jeotermal sondajlarda tehlike yönetimi ve risk değerlendirmesinin önemini artırmaktadır. Rezervuar geçirgenliği düşük olan derin kuyularda hava akışkan teknolojilerin kullanılması bu tehlikeleri ve riskleri en aza indirirken ilerleme hızının artmasını nedeniyle kuyu maliyetlerini de azaltacaktır. Ayrıca EGS'ler daha derin ve daha az geçirgen rezervuara sahip olduğundan bu sahalarda hava akışkanlı sondaj uygulamalarının önemide artmaktadır. Bu nedenle her geçen gün daha derinlere inen ve derinlikle birlikte karmaşık yapı gösteren jeotermal sahalarda havalı akışkan uygulamalarına başlamasında ülkemizdeki jeotermal gelişim açısından fayda bulunmaktadır.

5. SONUÇLAR

Jeotermal sondajların planlama aşamasında jeotermal sistemin tipi, yeri ve derinliğine uygun makine ve delme teknolojisinin seçimi işin ekonomik yapılmasının yanı sıra çalışma sırasında ve sonrasında ortaya çıkabilecek olumsuz problemleri en aza indirecektir.

Derin sondajlarda rezervuara kirlenmesini önlemek ve ilerleme hızını artırmak ve dolayısıyla sondaj maliyetlerini düşürmek için havalı akışkan uygulamalarına geçilmesi konusunda gerekli çalışmalar acilen yapılmalıdır.

Yerkürenin derinliklerinde depolanmış olarak bulunan tükenmez ısı enerjinin yüzeye taşınarak faydalanılması için gerekli olan sondaj makine ve ekipman yatırımlarının yanında araştırma ve geliştirme çalışmalarına bir an önce başlanmasında fayda vardır.

KAYNAKLAR

- Birkisson, S. F. and Hole H.,** (2007) *Aerated Fluids for Drilling of Geothermal Wells*, Proceedings European Geothermal Congress 2007, Unterhaching, Germany, 30 May – 1 June 2007.
- Bjelm, L.,** (2006) Under Balanced Drilling and Possible Well Bore Damage in Low Temperature Geothermal Environments, Proceedings, Thirty-First Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, January 30-February 1, 2006.
- Greenberg, J.,** (2007) *Improved Top Drive Systems Boost Reliability, Push Capacity Limits*, Drilling Contractor, September/October.
- Nas, S., Toralde, J. S. S.,** (2010) *Geothermal Aerated Fluids Drilling Operations in Asia Pacific*, Proceeding World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia 25-29 April 2010.
- Toka, B., Özbayoğlu M.E.,** (2009) Jeotermal Sondajlarda Makina ve Pompa Seçimi, *TMMOB Jeotermal Kongresi*, Ankara.
- Toka, B.** (2010) Jeotermal Sondajlarda Havalı Akışkan Teknikleri ve Örnek Bir Problem, *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, Sayı 10, Ankara.

ELMAS SOKETLİ BİR DAİRESEL TESTERENİN OLUŞTURDUĞU GÜRÜLTÜNÜN ÇALIŞMA PARAMETRELERİ VE TAŞ ÖZELLİKLERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF NOISE CAUSING OF A CIRCULAR CUTTING SAW WITH DIAMOND SOCKET IN TERMS OF WORKING PARAMETERS AND NATURAL STONE PROPERTIES

Nurdan GÜNEŞ YILMAZ, *Muğla Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Muğla*
R.Mete GÖKTAN, *Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir*

ÖZET

Doğal taşların dairesel testerelerle işlenmesinde gürültü seviyesinin artması görece verimsiz çalışma koşullarına işaret etmektedir. Bu nedenle, kesim esnasında oluşan gürültü, doğal taşlar için önemli bir ‘kesilebilirlik ölçütü’ olarak kabul edilmektedir. Kesim esnasında testerenin taşa uyguladığı kuvvetler sonucunda, testere gövdesinde ve taşta oluşan titreşimlerin yarattığı şok ses dalgaları havada ‘gürültü’ olarak yayılır. Oluşan gürültünün şiddeti kesilen taşın özelliklerine, testere yapısına ve çalışma parametrelerine bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada, doğal taş işleme fabrikalarında yaygın olarak kullanılan bir yan kesme makinasının oluşturduğu gürültü seviyelerinin kesme verimi açısından değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, mineral içeriği ve tane boyutu bakımından farklılıklar gösteren üç adet granit örneği üzerinde farklı çalışma parametrelerinde kesme deneyleri yapılmıştır. Kesimler esnasında oluşan gürültü seviyeleri ölçülerek, çalışma parametreleri ve taş özellikleriyle olan ilişkileri irdelenmiştir.

ABSTRACT

The increase of noise levels during natural stone processing indicates relatively less efficient working conditions. Accordingly, noise is accepted as an important ‘sawability measure’ in the processing of natural stones. As a result of the forces exerted on the stone by the sawblade, shock waves created by vibrations in the stone material radiate in the air as ‘noise’. The level of the emitted noise is a function of sawblade properties, process parameters and the properties of the sawn stone. In this work, it is aimed to evaluate the noise levels originating from a side-sawing machine from the point view of sawing efficiency. To achieve this goal, sawing experiments were performed on three granite specimens showing diverse mineral content and grain sizes. Noise levels emitted during sawing were recorded and evaluated with respect to process parameters and stone properties.

1. GİRİŞ

Granit türü sert taşlar aşınmaya ve dış tesirlere karşı dayanımları, renk ve doku açısından zengin bir yelpazeye sahip olmaları nedeniyle, yapı ve dekorasyon malzemesi olarak geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Bununla birlikte, bu tür sert ve aşındırıcı taşların işlenmesi, mermer ve traverten gibi görece yumuşak taşlara göre, üretim hızı ve testere tüketimi bakımından önemli farklılıklar göstermektedir.

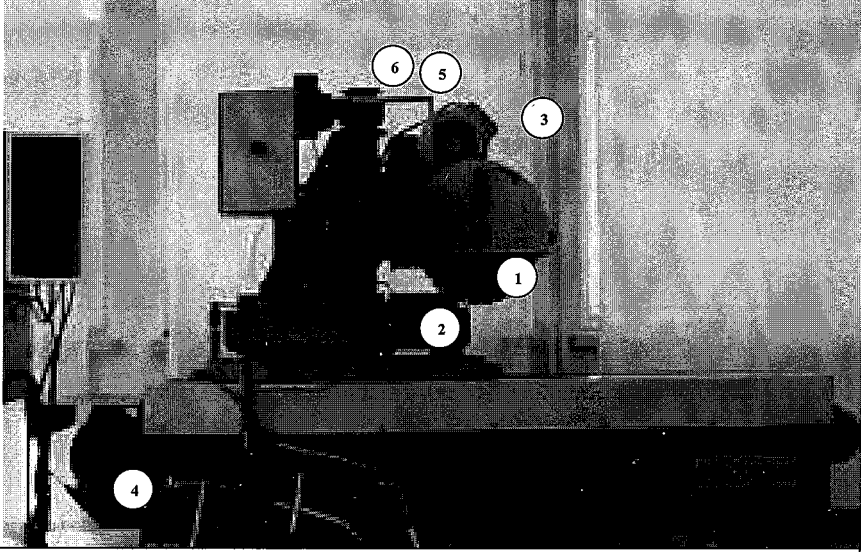
Literatür incelendiğinde, doğal taşların elmas soketli dairesel testerelerle işlenmesi ile ilgili birçok çalışmanın bulunduğu dikkat çekmektedir. Bu çalışmalar genel olarak *çalışma parametreleri*; çevresel hız, ilerleme hızı, kesme derinliği ve soğutma suyu miktarı (Fang ve Xu, 2009; Konstanty, 2002; Ertingshausen, 1985; Tönshoff vd, 2002; Jennings ve Wright, 1989; Büyüksağış, 2007; Wang vd, 1995; Xu vd, 2009), *testere tasarımı parametreleri*; elmas tanelerinin türü, tane boyutu ve konsantrasyonu, matriks özellikleri, soket adedi ve soket üretim yöntemi (Yingning vd, 2008; Shanshan vd, 2008; Xu vd, 2004; Yiqing vd, 2008; Huang vd, 2004; Konstanty, 1991; Konstanty, 2000; Luo ve Liao, 1995; Wright, 1986; Xipeng ve Yiging, 2005; Webb, 1999; Karagöz ve Zeren, 2001) ve *kayaç özellikleri*; petrografik özellikler ve fiziko-mekanik özellikler (Güneş ve Altındağ, 2006; Ünver, 1996; Ersoy vd, 2005; Eyüboğlu vd, 2003; Rosa vd, 1998; Hausberger, 1990; Wei vd, 2003; Delgado vd, 2005; Wright ve Cassapi, 1985; Asche, 1999; Riberio vd, 2007) başlıkları altında toplanabilir.

Bu çalışmada, doğal taş işleme fabrikalarında yaygın olarak kullanılan bir yan kesme makinasının granit kesimi esnasında oluşturduğu gürültü seviyeleri ölçülerek, çalışma parametreleri ve taş özellikleriyle olan ilişkileri irdelenmiştir. Bu amaçla, mineral içeriği ve tane boyutu bakımından farklılıklar gösteren üç adet granit örneği üzerinde farklı çalışma parametrelerinin uygulandığı (kesme derinliği, ilerleme hızı) kesme deneyleri gerçekleştirilerek, elde edilen sonuçların analitik irdelemeleri yapılmıştır.

2. ÇALIŞMADA KULLANILAN DAİRESEL TESTERELİ DENEY SETİNİN TANITIMI

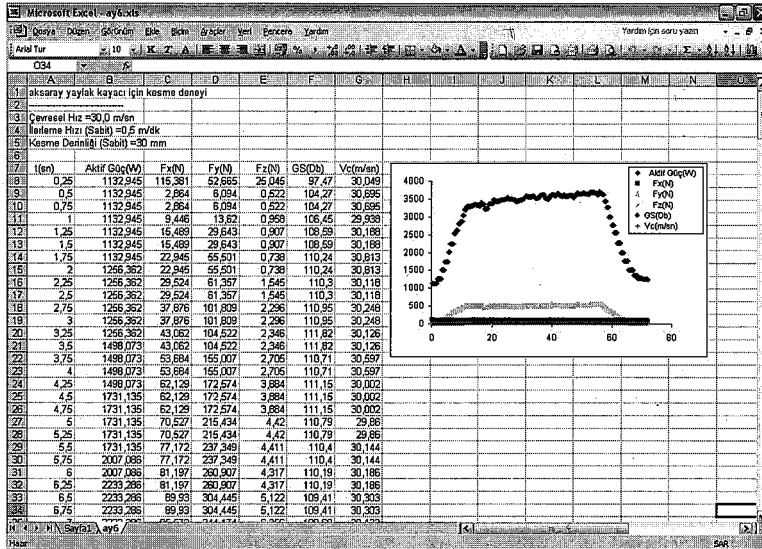
Kesme deneyleri, 400 mm çaplı bir dairesel testerenin kullanıldığı bilgisayar kontrollü bir yan kesme makinasında gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Deney seti, çalışma parametrelerinin yanısıra testere ve vagon hareketinin bilgisayarla kontrol edilmesine olanak verecek şekilde tasarımılandırılmıştır. Testerenin kızaklar üzerindeki hareketi 5.5 kW'lık bir motor tarafından sağlanmaktadır. Testerenin kızaklar üzerinde yatay eksenle sağa-sola hareket ettirilmesi ile dilim kalınlığı; düşey yönde hareket ettirilmesi ile kesme derinliği ayarlanmaktadır. Testerenin dönüş hızı ise, testere miline bağlı olan kasnakla entegre çalışan tako-generatörle kontrol edilmektedir. Kesim esnasındaki ilerleme hızı, vagonun 0.75 kW'lık bir motor yardımıyla ileri-geri hareketi ile gerçekleştirilmektedir. Soğutma suyu debisi ise 0.75 kW gücündeki soğutma suyu besleme motoru tarafından sağlanmaktadır. Kesme derinliği, ilerleme hızı, çevresel hız ve soğutma suyu debisi gibi çalışma parametreleri, deney seti üzerindeki motorlara bağlı inventörler yardımıyla bilgisayarla kontrol edilmektedir. Ayrıca, bir enerji analizörü yardımıyla anlık güç tüketimleri, kuvvet-ölçer aracılığıyla kuvvetler ve bir gürültü ölçer cihazı ile ortamdaki gürültü seviyeleri 0.25 s aralıklarla bilgisayar ortamına gönderilerek sayısallaştırılmaktadır (Şekil 2). Deney setinin mekanik yapısı, elektrik

sistemi ve bilgisayar tabanlı otomasyon sistemine ait ayrıntılı bilgiler Çınar (2007) tarafından verilmiştir.



- | | |
|-------------------|----------------------------|
| 1. Testere | 4. Vagon motoru |
| 2. Vagon | 5. Soğutma suyu bağlantısı |
| 3. Testere motoru | 6. Platform motoru |

Şekil 1. Kesme deneyi setinin mekanik yapısı (Çınar, 2007).

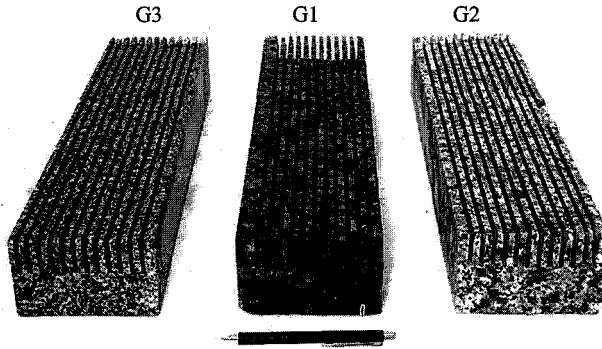


Şekil 2. Anlık güç, kuvvet ve gürültü seviyesi kayıtları.

3. KESME DENEYLERİNİN DÜZENLENMESİ

Kesme deneylerinde, üzerinde 24 adet $3.2 \times 9.0 \times 40$ mm boyutlarında soketler bulunan 400 mm çapındaki bir 'granit testeresi' kullanılmıştır. Soketlerdeki elmaslar SDA 85 tipi olup, elmasların tane boyutları 40/50 US mesh ve konsantrasyonu % 20 dir. Soğutma suyu debisi ve testere çevresel hızı, testere üreticisi firmaların önerileri doğrultusunda, sırasıyla 15 lt/dak ve 30 m/s olarak seçilmiştir.

Kesimi yapılan granit bloklarının her biri 500 mm uzunluğunda, 70 mm yüksekliğinde ve 120 mm genişliğinde olup, bu çalışmanın amaçları doğrultusunda özel olarak hazırlanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Kesme deneylerinde kullanılan bazı granit blokları.

Varyasyon deneylerinde, farklı seviyelerde kesme derinliği ($d = 10/20/30/40$ mm) ve ilerleme hızı ($V_f = 0.33/0.50/0.66$ m/dak) uygulanarak 50-200 cm^2/dak 'lık kesme hızları (Q_w) elde edilmiştir. Doğal taş sektöründe "üretim hızı" olarak da bilinen kesme hızı, birim zamanda kesilen yüzey alanı olup

$$Q_w = d \times V_f$$

[1]

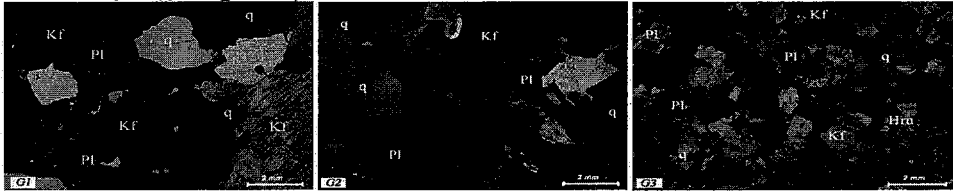
bağıntısından cm^2/dak veya m^2/h olarak hesaplanmaktadır.

Her seri deney, granit bloğu üzerinde gerçekleştirilen 12 kesimden (geçişten) oluşmaktadır. Bu amaca ulaşabilmek için, varyasyon deneylerinde üç farklı granit örneği üzerinde toplam 21 bloğunun kesimi yapılmıştır. Kesme derinliği ve ilerleme hızının değiştirildiği her seri deney öncesinde, testere üreticisi tarafından sağlanan özel bir aşındırıcı beton yardımıyla testerenin hassas bir şekilde bilenmesine özen gösterilmiştir. Kesme deneylerinde, doğal taş işleme sektöründe yaygın olarak kullanılmakta olan 'aşağı-yönlü' kesme yöntemi uygulanmıştır.

4. DENEYLERDE KULLANILAN GRANİTLERİN ÖZELLİKLERİ

Kesme deneylerinde kullanılmak üzere, ticari olarak faaliyet göstermekte olan bir granit işleme tesisinden mineralojik bakımından farklı özellikler gösteren iri taneli (G1), orta-iri taneli (G2) ve ince-orta taneli (G3) olmak üzere, üç adet granit örneği çalışma

kapsamına alınmıştır. Bu granit örneklerinden hazırlanan ince kesitler (Şekil 4) petrografik mikroskop yardımıyla incelenerek, mineral içerikleri ve tane boyutları belirlenmiştir (Çizelge 1-3).



Şekil 4. Kesimi yapılan granit örneklerine ait ince kesit görüntüleri (Yılmaz, 2009).

Çizelge 1. G1 örneğine ait mineralojik özellikler.

Mineral adı	%	Tane boyu (mm)		
		Min	Ort	Maks
Alkali Feldspat (<i>mikroklin, ortoklaz</i>)	% 48	0.02	15.0	38.0
Kuvars	% 36	0.04	7.5	30
Plajiyoklas	% 9	0.6	1.6	3.3
Biyotit	% 6	0.06	0.6	2.8
Diğer (<i>zirkon, apatit, opak mineraller</i>)	% 1	-	-	-

Çizelge 2. G2 örneğine ait mineralojik özellikler.

Mineral adı	%	Tane boyu (mm)		
		Min	Ort	Maks
Plajiyoklas	% 32	0.04	4.0	15
Alkali Feldspat (<i>mikroklin, ortoklaz</i>)	% 28	0.04	8.0	35
Kuvars	% 27	0.04	5.0	15
Biyotit	% 7	0.02	0.3	0.5
Amfibol (<i>hornblend</i>)	% 4	0.02	2.0	3.0
Diğer (<i>titanit, zirkon, apatit, opak mineraller</i>)	% 2	-	-	-

Çizelge 3. G3 örneğine ait mineralojik özellikler.

Mineral adı	%	Tane boyu (mm)		
		Min	Ort	Maks
Alkali Feldspat (<i>mikroklin, ortoklaz</i>)	% 30	0.1	0.5	2.0
Plajiyoklas	% 29	0.04	1	4.0
Kuvars	% 24	0.06	1	4.0
Amfibol (<i>hornblend</i>)	% 8	0.06	0.2	0.7
Biyotit	% 5	0.02	0.2	0.8
Epidot	% 2	-	-	-
Diğer (<i>titanit, zirkon, apatit, opak mineraller</i>)	% 2	-	-	-

Çalışmada incelenen granitlerin tek eksenli basma dayanımı deneyleri, kenar uzunlukları 70 mm olan küp örnekleri üzerinde TS EN 1926' ya göre gerçekleştirilmiştir. Brazilian çekme dayanımı ise, 54 mm çaplı ve kalınlık/çap oranı 0.5 olan karot örnekleri üzerinde TS 699'a göre belirlenmiştir (Çizelge 4).

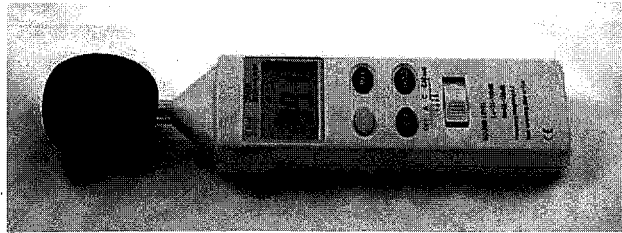
Çizelge 4. Deney örneklerinin fiziko-mekanik özellikleri.

Kayaç no	Tek Eksenli Basma Dayanımı, (MPa)	Brazilian Çekme Dayanımı, (MPa)
G1	143.19 (± 08.28)	9.06 (± 0.76)
G2	145.20 (± 21.38)	8.20 (± 0.41)
G3	185.96 (± 17.45)	11.72 (± 0.61)

5. GÜRÜLTÜ (SES) SEVİYESİNİN ÖLÇÜLMESİ

Kesim esnasında testerenin taşa uyguladığı kuvvetler sonucunda, testere gövdesinde ve taşta oluşan titreşimlerin yarattığı şok ses dalgaları havada 'gürültü' olarak yayılır. Oluşan gürültünün şiddeti testere tasarımına (gövdede kullanılan çeliğin özellikleri, gövde kalınlığı, testere çapı, soket geometrisi ve sayısı, su kanalları arasındaki genişlik) kesilen taşa (sertlik, mineralojik özellikler vb.) ve çalışma parametrelerine (kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, çevresel hız ve soğutma suyu miktarı) bağlıdır (Wang vd., 2005). Doğal taşların dairesel testerele işlenmesi işleminde gürültü seviyesinin artması, görece verimsiz çalışma koşullarına işaret etmektedir (Luo, 1996; Wang vd, 1995; Wang vd, 2005; Asche, 1999; Denka vd, 2003; Hu vd, 2004, Hu vd, 2008). Bu nedenle, kesim esnasında oluşan gürültü de önemli bir kesilebilirlik parametresi olarak kabul edilmektedir.

Bu çalışmada, gürültü ölçümleri CEM DT-8850 modeli bir gürültü ölçer yardımıyla yapılmış (Şekil 5) ve veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır (Şekil 2). Cihaz üzerinde A-filtresi (35 – 100 dB) ve C-filtresi (65 – 130 dB) olmak üzere iki adet ses frekans filtresi bulunmaktadır. A-filtresi kullanıldığında, gürültü ölçer çok yüksek ve çok düşük frekanslara daha az hassas olur. C-filtresi ise genellikle çok yüksek gürültü seviyelerinin ölçümünde kullanılmaktadır. Doğal taş işleme tesislerinde, dairesel testerele yapılan kesme işlemlerinde yüksek frekanslı sesler hakim olup 100 dB in üzerinde gürültü seviyeleri söz konusu olabilmektedir (Wang vd, 1995; Hu vd, 2004). Bu nedenle, çalışmada kaydedilen gürültü seviyeleri için C-filtresi kullanılmıştır.



Şekil 5. Gürültü ölçme cihazı.

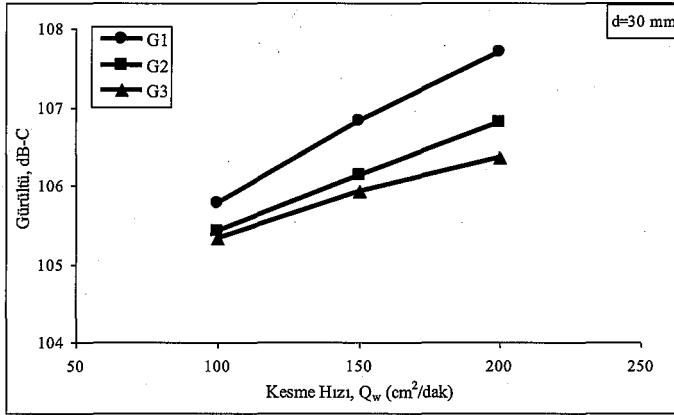
Logaritmik bir oran olması nedeniyle, dB olarak ifade edilen sayılarla normal aritmetik işlemler yapılamaz. Bir gürültü ölçer yardımıyla ölçülen dB değerlerinin ortalamasının hesaplanabilmesi için, ölçülen değerlerin lineer ses basıncı oranlarına dönüştürülüp aritmetik ortalaması alındıktan sonra, tekrar logaritmik dB'e dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, farklı ilerleme hızları, kesme derinlikleri ve kesme hızlarının uygulandığı varyasyon analizleri eşnasında kaydedilen gürültü seviyelerinin ortalamaları Bağıntı 2 yardımıyla hesaplanmıştır (Raichel, 2006):

$$dB_{ort} = 10 \times \log \left[(1/n) \sum \log^{-1} (dB_i / 10) \right] \quad [2]$$

7. GÜRÜLTÜ – ÇALIŞMA PARAMETRELERİ VE KAYAÇ ÖZELLİKLERİ ARASINDA İLİŞKİLER

Kesme deneylerinde kullanılan iri taneli G1, orta-iri taneli G2 ve ince-orta taneli G3 kayaçlarına ait deneysel sonuçlardan yararlanarak derinlik, ilerleme hızı ve bunların fonksiyonu olan kesme hızı ile gürültü arasındaki ilişkiler irdelenmiştir.

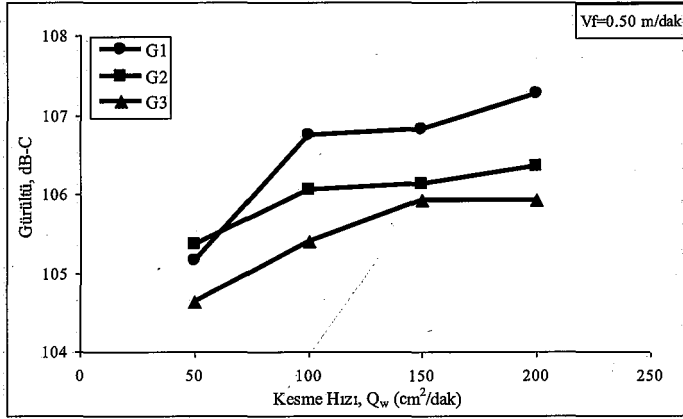
Şekil 6 ve 7'den görüldüğü gibi, kesme hızı arttırıldığında gürültü seviyesi de artmaktadır. Bununla birlikte, derinliğin sabit tutulup ilerleme hızının arttırıldığı uygulamalarda (Şekil 6) gürültü seviyesindeki artış hızı, ilerleme hızının sabit tutulup derinliğin arttırıldığı uygulamalara göre (Şekil 7) daha fazladır. Diğer bir anlatımla, ilerleme hızı (V_f) gürültü seviyesi üzerinde daha fazla etkiye sahiptir. Bunun nedeni, yüksek ilerleme hızlarında taş ile testere arasında oluşan ani şok darbelerinin ve termal yüklerin görece daha fazla oluşması ve testere soketinde oluşan aşınmaları artırmasıdır. Aşınmalar aşırı titreşimlere neden olarak, gürültü seviyesini arttırmaktadır.



Şekil 6. Kesme hızı-gürültü ilişkileri ($d=30$ mm sabit).

Kesme derinliğinin (d) artmasıyla birlikte, kesme kuvvetleri de artacağından, testeredeki titreşimler de artacaktır. Ancak, artan derinlikte birlikte, testerenin kesmekte olduğu kanalın dışında kalan serbest yüzeyi azalacağından, titreşim kaynaklı gürültü seviyesindeki artış hızı giderek düşecektir. Bu durum Şekil 7'de incelenen tüm örneklerde gözlenmektedir. İlerleme hızı sabit tutulup, kesme hızı (Q_w) derinliğin

fonksiyonu olarak arttırıldığında; $Q_w = 50-100 \text{ cm}^2/\text{dak}$ aralığındaki gürültü seviyesindeki artış hızı, $Q_w = 100-200 \text{ cm}^2/\text{dak}$ aralığındaki gürültü seviyesi artış hızından çok daha yüksektir. Kesme derinliği ile ilgili benzer bir eğilim, başka yazarlar tarafından da (Matshuhisa ve Sato, 1986) $< 30 \text{ mm}$ kesme derinliklerinde gözlenmiştir. Bununla birlikte, derin kesme koşullarında (40-100 mm), kesme derinliği arttıkça gürültü seviyesinin azaldığı rapor edilmiştir (Asche, 1999). Gürültü seviyesinde gözlenen bu durumun, testereye (gövdenin titreşim sönümleme yeteneği ve çapı, soket adeti, soket kanalları arasındaki açıklık, vb.) kesilen malzemenin özellikleri ve çalışma parametrelerine (kesme derinliği, çevresel hız, ilerleme hızı) bağlı olarak farklılıklar göstereceği açıktır.



Şekil 7. Kesme hızı-gürültü ilişkileri ($V_f = 0.50 \text{ m/dak}$ sabit).

Kesilen granitlerin mineralojik-petrografik özellikleri ile gürültü seviyeleri karşılaştırıldığında; G1 kayacının kesimi esnasında oluşan gürültü seviyelerinin, G2 ve G3 kayalarına göre daha yüksek seviyelerde gerçekleştiği gözlenmiştir. Bu durumun, G1 kayacının görece daha iri taneli ve yüksek kuvars içerikli olmasından kaynaklandığı söylenebilir (Çizelge 1-3). Benzer bir durum, G2 ve G3 kayalarının mineralojik özellikleri ve gürültü seviyeleri karşılaştırıldığında da gözlenmektedir. Gözlenen tüm bu bulgular, granitlerde kuvars miktarı ve tane boyutu arttıkça, elmas tanelerinin daha büyük yüklere maruz kaldığına ve bunun sonucunda titreşimlerin arttığına işaret etmektedir. Bu tür dokusal ve mineralojik içeriğe sahip kayaların kesimi esnasında elmas tanelerinde aşırı yüklenmeler nedeniyle kırılmalar veya kopmalar meydana gelebilir. Bu durum kesim kesim hassasiyetini ve kesim verimliliğini olumsuz yönde etkileyebilir. Uygulamada, bu tür taşların işlenmesinde, elmasların daha küçük tane boyutunda fakat daha yüksek konsantrasyonda, matriks malzemesinin ise görece yumuşak yapıda seçilmesinin avantajlı olacağı söylenebilir.

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Çalışmada varılan başlıca sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Kesme derinliğinin sabit tutulup ilerleme hızının arttırıldığı uygulamalarda gürültü seviyesindeki artış hızı, ilerleme hızının sabit tutulup derinliğin arttırıldığı

uygulamalara göre daha fazladır. Diğer bir anlatımla, ilerleme hızı gürültü seviyesi üzerinde daha fazla olumsuz etkiye sahiptir. Bu durum, ilerleme hızının artması ile birlikte, elmas taneleri üzerindeki ani şok darbeleri ve yüklerin titreşimleri arttırdığı şeklinde açıklanmıştır.

- (ii) Elde edilen diğer bir bulgu ise, ilerleme hızı sabit tutulup kesme derinliği artırıldığında, gürültü seviyesindeki artış hızının giderek azalmasıdır. Bunun nedeni, kesme derinliği arttıkça testerenin blok dışında kalan serbest yüzeyinin azalarak, daha az titreşim gürültüsü oluşturmamasıdır.
- (iii) Kesimi yapılan granitlerde, kuvars içeriği ve tane boyutunun gürültü seviyeleri üzerinde etkili olan taş özellikleri olduğu gözlenmiştir. Bu tür dokusal ve mineralojik içeriğe sahip kayalarda, elmas tanelerinin aşırı bir şekilde yüklenerek kırılmalarını veya matriksten kopmalarını engelleyebilmek ve kesim hassasiyetini sağlayabilmek amacıyla; elmasların küçük tane boyutunda fakat daha yüksek konsantrasyonda, matriks malzemesinin ise görece yumuşak yapıda seçilmesinin avantajlı olacağı vurgulanmıştır.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, granit örneklerinin ince kesit analizlerini büyük bir özveriyle gerçekleştiren Prof.Dr.Yaşar Kibici (Dumlupınar Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü) ve boyutlandırılmış granit örneklerini temin eden GRANİTAŞ A.Ş şirketi yetkililerine teşekkürü bir borç bilir.

KAYNAKLAR

- Asche, J. (1999) Deep grinding: a new dimension in cutting granite. *Industrial Diamond Review*, Vol. 2, pp. 110-122.
- Buyuksagis, I.S. (2007) Effect of cutting mode on the sawability of granites using segmented circular diamond blades. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 183, pp. 399-406.
- Çınar, S.M. (2007) Mermer kesme makinelerinde elektrik enerjisi tüketimi optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Delgado, N.S. Rodriguez, L.M. Suarez Del Rio, I.D. Sarria, L. ve Ruiz de Argandona, V.G., (2005) The influence of rock microhardness on the sawability of Pink Porrino granite (Spain). *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 42, pp. 161-162.
- Denka, B. Tönshoff, H.K. Freiemuth, T. Glatzel, T. (2003) Development of advanced tools for economic and ecological grinding of granite. *Key Engineering Materials*, Vol. 250, pp. 21-32.

- Ersoy, A. Buyuksagis, I.S. ve Atıcı, U.** (2005) Wear characteristics of circular diamond saws in the cutting of different hard and abrasive rocks. *Wear*, Vol. 258, pp. 1422-1436.
- Ertingshausen, W.** (1985) Wear processes in sawing hard stone. *Industrial Diamond Review*, Vol. 5, pp. 254-258.
- Eyuboglu, A.S. Ozcelik, Y. Kulaksız, S. ve Engin, I.C.** (2003) Statistical and microscopic investigation of disc segment wear related to sawing Ankara andesites. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 40, pp. 405-414.
- Fang, C.F. Xu, X.P** (2009) The effect of machining parameters on measured temperatures and energy partition in circular sawing of granite. *Materials Science Forum*, Vols. 626-627, pp. 213-218.
- Güneş, A.N. ve Altındağ, R.** (2006) Mermerlerdeki mineralojik-petrografik yapının kesme performansı üzerindeki etkisi. *Mermer Dergisi*, Mart-Nisan.
- Hausberger, P.** (1990) Stone machinability. *Industrial Diamond Review*, Vol. 5, pp. 258-261.
- Hu, Y.N. Wang, C.Y. and Ding, H.N.** (2004) The mechanical performance of diamond saw blades with special structure. *Key Engineering Materials*, vols.259-260, pp 141-145.
- Hu, Y. Wang, C. Hu, S. Chen, B. and Chen, C.** (2008) Dynamic characteristic analysis of diamond saw blade with multi-hole base and different segment width. *Key Engineering Materials*, vols.375-376, pp 369-374.
- Huang, H. Zhu, H.M. and Xu. X.P.** (2004) Grinding of granite with three kinds of diamond tools. *Key Enginnering Materials*, Vols. 259-260, pp. 146-150.
- Jennings, M. ve Wright, D.N.** (1989) Guidelines for sawing stone, *Industrial Diamond Review*, Vol. 2, pp. 70-75.
- Karagöz, Ş. ve Zeren, M.** (2001) The microstructural design of diamond cutting tools, *Materials Characterization*, Vol. 47, pp. 89-91.
- Konstanty, J.** (1991) The materials science of stone sawing. *Industrial Diamond Review*, Vol. 1, pp. 27-31.
- Konstanty, J.** (2000) Diamond bonding and matrix wear mechanisms involved in circular sawing of stone. *Industrial Diamond Review*, January, pp. 55-65.
- Konstanty, J.** (2002) Theoretical analysis of stone sawing with diamonds. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 123, pp. 146-154.

- Luo, S.Y. ve Liao, Y.S.** (1995) Study of behaviour of diamond saw-blades in stone processing. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 51, pp. 296-308.
- Luo, S.Y.** (1996) Characteristics of diamond sawblade wear in sawing. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 36, pp. 661-672.
- Matsuhisa, H. Sato, S** (1986) Noise from circular stone-sawing blades and theoretical analysis of their flexural vibration, *Noise Control Engineering*, Vol.27, pp. 95-102.
- Raichel, D.R.** (2006) The science and applications of acoustics, 2nd Edition, Springer.
- Riberio, R. Paraguassu, A. ve Rodrigues, J.** (2007) Sawing of blocks of siliceous dimension stone: influence of texture and mineralogy, *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, Vol. 66, pp. 101-107.
- Rosa, L.G. Fernandes, J.C. ve Amaral, P.M.** (1998) A method for classification of stone materials according to their abrasiveness. *Proceedings of the 1st annual Eurothen Workshop*, National Technical University of Athens, pp. 12-14.
- Shanshan, H. Yingning, H. Chengyong, W. and Changxiong, C.** (2008) Vibration characteristic analysis of diamond saw blade with multitude holes structure for vibration and noise reduction. *Key Engineering Materials*, Vols. 359-360, pp. 78-84.
- Tönshoff, H.K. Hillman-Apman, H. ve Asche, J.** (2002) Diamond tools in stone and civil engineering industry: cutting principles, wear and applications. *Diamond Related Materials*, Vol. 11, pp. 736-741.
- Türk Standartları Enstitüsü.** (Nisan 2010) TS EN 1926 Doğal Taşlar-deney metodları-basınç dayanımı tayini. p.10.
- Türk Standartları Enstitüsü.** (Ocak 1987) TS 699 Yarmada çekme mukavemeti deneyi, pp. 30-32.
- Unver, B.** (1996) A statistical method for practical assessment of sawability of rocks. *Eurock '96*, Barla (eds), Balkema, Rotterdam, pp. 59-65.
- Wang, C.Y. Wei, X. Tang, Z.L. and Pan, Z.C.** (1995) The role of coolant in granite sawing. *Industrial Diamond Review*, Vol. 4, pp. 156-160.
- Wang, C.Y. Hu, Y.N. Wang, Z.W. and Ding, H.N.** (2005) Noise and vibration of diamond sawblade for concrete dry cutting. *Key Engineering Materials*, Vols. 291-292, August, pp. 103-108.
- Webb, S.W.** (1999) Diamond retention in sintered cobalt bonds for stone cutting and drilling. *Diamond Related Materials*, Vol. 8, pp. 2043-2052.
- Wei, X. Wang, C.Y. and Zhou, Z.H.** (2003) Study on the fuzzy ranking of granite sawability. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 39, pp. 277-280.

- Wright, D.N. and Cassapi, V.B.** (1985) Factors influencing stone sawability. *Industrial Diamond Review*, Vol. 2, pp. 84-87.
- Wright, D.N.** (1986) The Prediction of diamond wear in the sawing of Stone. *Industrial Diamond Review*, Vol. 5, pp. 213-216.
- Xipeng, X. and Yiging, Y.** (2005) Sawing performance of diamond with alloy coatings. *Surface and Coatings Technology*, Vol. 198, pp. 559-463.
- Xu, X.P. Zhu, X.W. and Li, Y.** (2009) An experimental study on high speed grinding of granite with a segmented diamond wheel. *Key Engineering Materials*, Vols.404, pp. 149-156.
- Xu, X.P. Hong, Y.B. and Chen, S.** (2004) Performance of diamond segments in different Machining Processes. *Materials Science Forum*, Vols. 471-742, pp. 77-81.
- Yiqing, Y. Yung, L. and Xipeng, X.** (2008) Specific energies in sawing with diamond segments and grinding of a diamond segment. *Key Engineering Materials*, Vols.375-376, pp. 375-379.
- Yingning, H. Chengyong, W. Shanshan, H. Bangdao, C. and Changxiong, C.** (2008) Dynamic characteristics analysis of diamond saw blade with multi-hole base and different segment width. *Key Engineering Materials*. Vols. 375-376, pp. 369-374.
- Yılmaz, G.N.** (2009) Magmatik kökenli doğal taşların elmas soketli dairesel testerelerle kesilebilirlik analizleri. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, p.188.

SOMA EYNEZ HAVZASINDA MEKANİZE AYAK UYGULAMALARI , KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÇALIŞMALARI

MECHANIZED LONGWALL APPLICATIONS, ENCOUNTERED PROBLEMS AND SUGGESTED SOLUTIONS IN SOMA EYNEZ COAL FIELD

Efkan KURT, *Ege Linyitleri İşletmesi Müessesesi, Manisa*

ÖZET

Günümüzde sürdürülebilir enerji politikaları çerçevesinde, enerji kaynaklarından efektif yararlanılması açısından önemlidir. Bununla birlikte yeraltı kömür işletmelerinin üretim ve verimlilikleri dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada Soma Eynez havzasında çalışan klasik ve mekanize ayakların uygulanan mevcut üretim yöntemleri ve sistem uygulamalarının avantaj ve dezavantajları değerlendirilmektedir. Sonuç olarak, sorunlar karşısında önerilen çözüm önerileri verilmiştir.

ABSTRACT

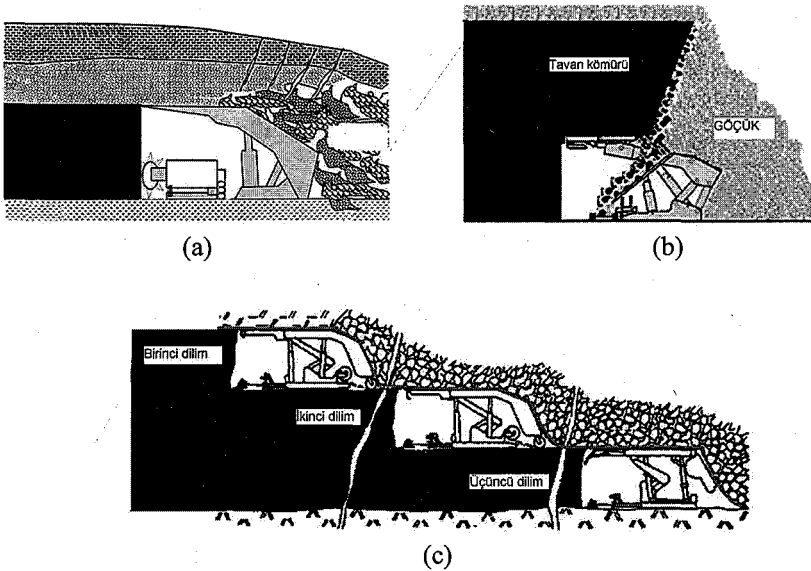
Nowadays sustainable energy politics is quite important in terms of utilizing from energy sources effectively. That's why underground coal administrations production and efficiencies taken into be considerations. In this study, Advantage and disadvantage of current production methods are evaluated conventional and mechanized longwall face in Soma – Eynez Region. As a result, suggestions of solution against to problems is given.

1. GİRİŞ

Kalın kömür damarlarının üretimi ülkemiz için oldukça önemlidir. Zira, Tunçbilek ve Soma gibi kömür havzalarında yeraltı üretiminin büyük bir bölümü kalın damarlardan sağlanmaktadır. Dünya’da kalın damarlardaki üretimin yaklaşık %75’i 0-25 derece eğimdeki damarlardan elde edilmektedir. Kömür damar kalınlığı, damarın eğimi, damarın derinliği, yankayacın yapısı, gaz çıkışı ve endojen yangın problemleri ile sübsidans oluşumu kalın kömür damarlarının üretimini etkileyen önemli faktörlerdir (Köse ve Tatar, 2011).

Kalın kömür damarlarının kazanılmasında uygulanan uzunayak yöntemlerini uygulama şekline göre üç ana gruba ayırmak mümkündür (Şekil 1).

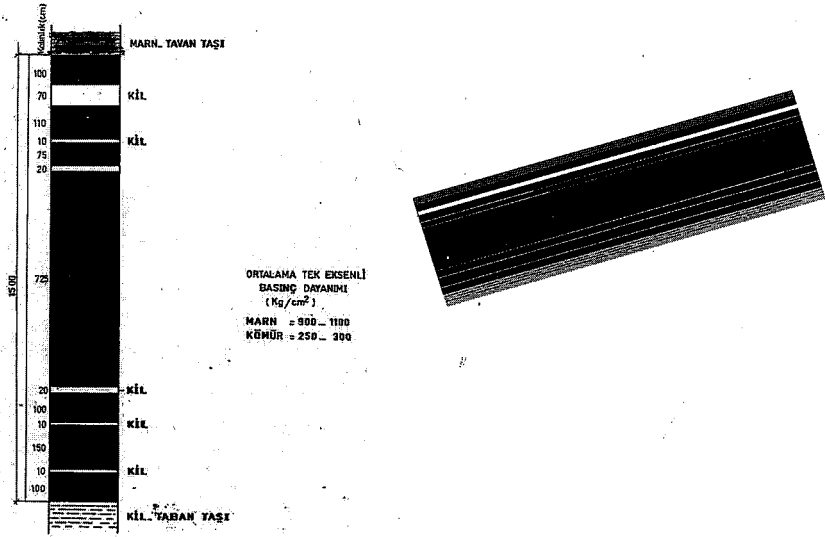
- Tüm damar kalınlığının bir seferde kazanıldığı tam mekanize uzunayak yöntemi
- Ayak arkasından tavan kömürünün çekildiği uzunayak yöntemi
- Kömür damarının dilimlere ayrılarak uygulandığı uzunayak yöntemi
 - Tavan ve taban taşına paralel oluşturulan dilimler halinde
 - Yatay dilimler halinde



Şekil 1. Kalın kömür damarlarının kazanılmasında uygulanan yöntemler.

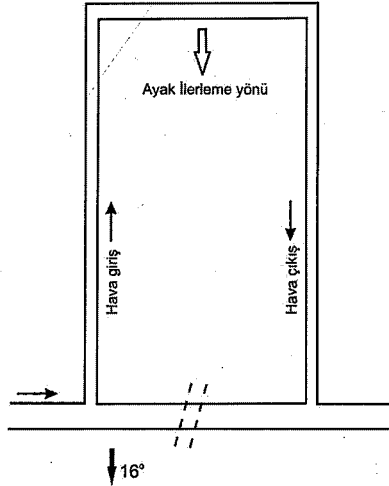
2. EYNEZ YERALTI İŞLETMESİNDE UYGULANAN ÜRETİM YÖNTEMİ

Soma Eýnez kömür havzasında ilk mekanize ayak uygulamaları 90’lı yılların sonlarında başlamıştır. Havzada kömür damarı 7 – 20 metre arasında değişen kalınlığa ve 16- 20° civarında eğime sahiptir. Kömür damarının en üst 2- 2,5 metrelik kısmı sert homojen ve en yüksek kaloriye sahiptir. Orta kısmı kısmen daha düşük kalorili ve ezik, daha alt kısmı taban kiline kadar ara kesmeli, kil içerikli ve daha düşük kalorilidir. Şekil 2’de çalışılan panoların genelleştirilmiş sondaj stampı verilmiştir.



Şekil 2. Soma Eynez kömür damar stampı.

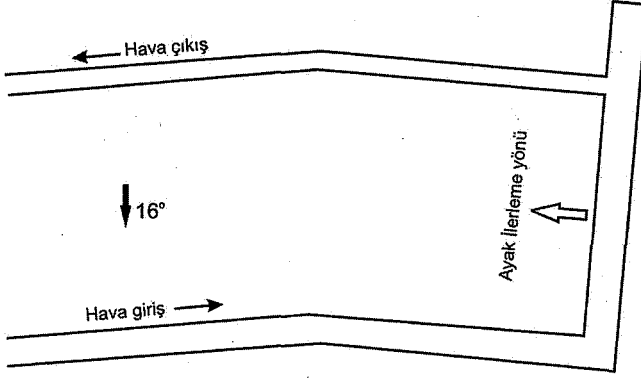
İşletmede klasik ayaklarda, damarın kalın veya az eğimli olduğu yerlerde, tavan taşının altında ana yollar ve daha sonra ana yola damar ii galerileri sürülmekte, taban kilinin üzerine ayak oluşturularak tavan taşına doğru Şekil 3’de görüldüğü gibi doğrultuya dik olarak ayak çalışılmaktadır.



Şekil 3. Doğrultuya dik çalışma şekli.

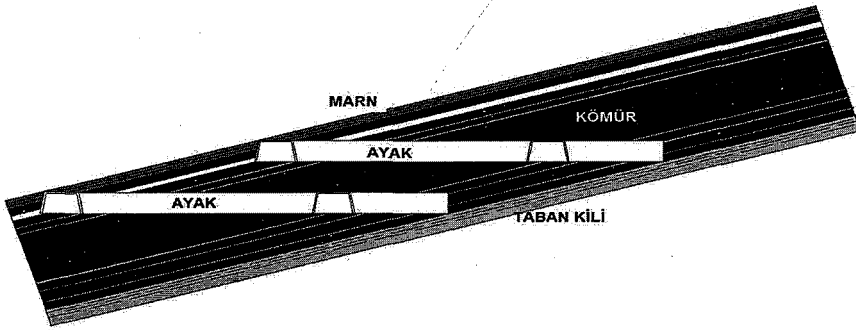
Ancak damarın daha ince olduğu veya dikleştiği yerlerde yetersiz pano boyu nedeni ile bu yöntem uygulanamamaktadır. Birisi tavan taşının hemen altında (tavan yolu), diğeri taban kilinin biraz üzerinde (taban yolu) birbirine paralel iki galeri sürülmekte ve üretim sınırında bu iki galeri tavandan tabana dik bir başyukarı ile birleştirilerek ayak oluşturulmaktadır. Şekil 4’te görüldüğü gibi doğrultuya paralel bir şekilde geri dönüşlü

olarak çalışılmaktadır. Bu sayede dilimler yatay olarak seçildiği için tavan ve taban yolları izohipse göre döndürülmekte ve maksimum pano boyu elde edilmektedir.



Şekil 4. Doğrultuya paralel çalışma şekli.

Bu yöntemde taban kiline yaklaştıkça kildeki ve kömürdeki kabarmalar çok fazla olduğundan, taban yolu galerisi tam kilin üzerine oturtulamamakta, dolayısı ile taban yoluyla taban kili arasında kalan kısım kör olarak çalışılmaktadır. Kör ayak bölümü E.L.İ. tüzüğüne göre 20 metreden daha kısa olmak zorundadır.



Şekil 5. Doğrultuya paralel ayakların görünümü.

Mekanize ayaklarda ise, ayağın hava giriş ve dönüş yollarında özel şilt tahkimatlar ve ayak içinde normal şilt tahkimatlar kullanılarak iki galeri arası ayak olacak şekilde çalışılmaktadır. Soma Eynez havzasında en uzun pano boyunu elde edebilmek için yukarıda anlatılan doğrultuya paralel yöntem seçilmiştir. Ayağın kuyruğu taban yolundan daha ileride olduğu için taban yolu özel şilt tahkimatlar satın alınmamıştır.

Soma'da 3 tür şilt tahkimat kullanılmıştır. İlk olarak Çin'den alınan şilt tahkimatlar kullanılmıştır. Ağırlıkları 15 ton, genişlikleri 1,5 m maksimum 3 metre açılabilen şiltlerdir. Bunlar arka kömürü almaya uygun kapakları olan pencereli şilt tahkimatlardır. İkincisi ise firma tarafından Slovakya'dan alınan şilt tahkimatlardır. Genişlik ve ağırlıkları aynı ancak maksimum yükseklikleri 3,5 m olup Çin şilt tahkimatları ile benzer özelliktedirler. En önemli farkı taban plakasının geniş olması ve ayak konveyörünün altına girmesidir. Bu bazen bir avantaj sağladığı gibi bazen de dezavantaj

getirmektedir. Bir diğer önemli fark da Çin şilt tahkimatlarından daha yükseğe açılabilmesidir. Şekil 6'da pencereden arka kömürünün zincirli konveyör üzerine alınması görülmektedir.



Şekil 6. Pencere tipi şilt tahkimat ve kömürün alınması (Özfırat vd., 2007).

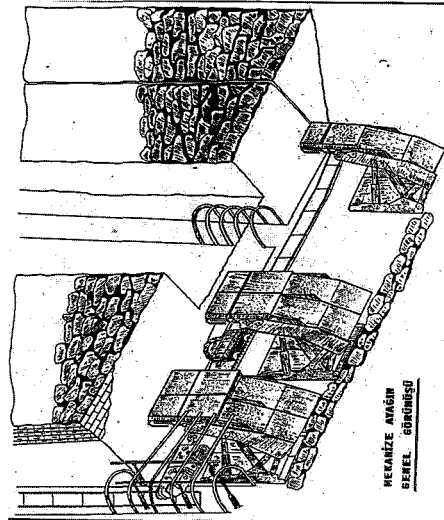
Üçüncü olarak kullanılan şilt tahkimatlar ise, Almanya'dan kamu tarafından alınan ve halen Çayırhan'da kullanılan şilt tahkimatlardır. Bu tahkimatlar 12 ton ağırlığında ve en fazla 2,5 m açılabilir. Arka kömür almaya uygun olmayan daha küçük şilt tahkimatlardır. Soma'da sadece tavan kömürünü almak ve tavan taşının kırmak amaçlı kullanılmışlardır.

3. KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÇALIŞMALARI

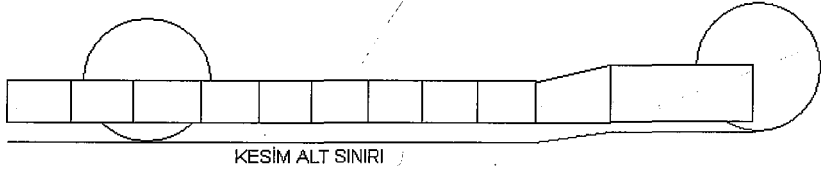
Soma Eynez yeraltı mekanize ayaklarda, tavan ve taban yolları izohipse göre sürülüp ayak motor başında özel şiltler olmak üzere ayağın kalan kısmına normal şilt tahkimatlar yerleştirilerek uzunayak oluşturulmuştur. Tavan yoluna konulan şilt tahkimatlar 3 parçadan oluşmakta ve yaklaşık 7,5 m. uzunluğundadır. Ayak çalışmaya başlayıp ilk izohips dönüşüne gelindiğinde bu motor başı şilt tahkimatlarının dönmesi oldukça problemli olmuş ve tavan yolu galerisinde geniş taramalar yapılmıştır. Buna rağmen bu üçlü şilt tahkimat deforme olmuştur. Karşılaşılan bu zorluklardan dolayı bu özel şilt tahkimatların ilk ve son kullanıldığı tek ayak olmuştur. Şekil 7'de mekanize ayağın genel görünüşü görülmektedir.

Uygulamada ayak kuyruğunda özel şilt tahkimatlar olmaması, kuyruğun taban yolundan daha ileride olması ve kuyruk oluğunun (aynı zamanda son şilt tahkimatın önü) yüksek olması nedeni ile bu kısımda yüksek kesim yapılmaktadır. Bu durumda kuyruk kısmı yükselme göstermekte, aynı zamanda son şilt tahkimatın ilerlemesi için yeterli kesim yapılamamasına neden olmaktadır. Bu sorunu aşmak için önce kesicinin yürüyüş dişlisi bir miktar kuyruktan daha ileriye uzatılmış, bu değişiklik kesimi kısmen kolaylaştırmıştır. Bir miktar da tabana ve son şilt tahkimatın üst kısmına dinamit atıp elle temizlik yapılarak ilerleme sağlanmıştır. Bu sorunu aşmak için kuyruk oluğu

yüksekliğinin bir miktar azaltılması düşünülmektedir. Şekil 8’de kesim alt sınırı gösterilmiştir.

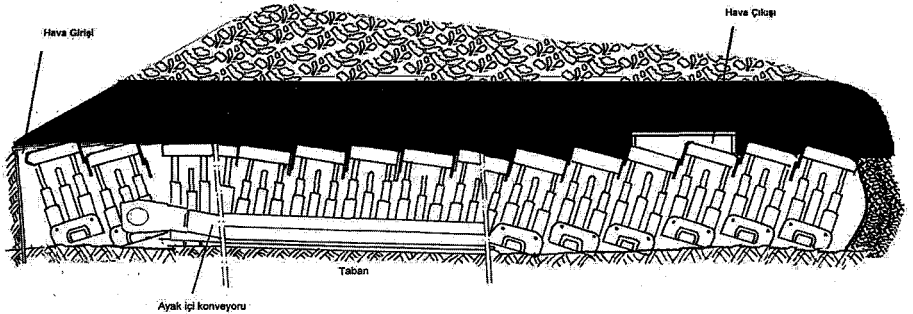


Şekil 7. Doğrultuya dik çalışan mekanize ayağın oluşturulması.



Şekil 8. Kesici-yükleyicinin kesim alt sınırı.

İleriye yapılan kesim şekli son şilt tahkimatın ilerisinde bir boşluğa neden olmakta ve tahkimatların bu boşluğa doğru yatmasına neden olmaktadır. Bu yatmaları düzeltmek için tahkimatlar pistonlar yardımıyla ayak içine doğru çekilmekte, hidrolik direk ve ağaç direk yardımı ile de desteklenerek düzeltilmektedir. Şekil 9’da uygulamada ortaya çıkan bu durum görülmektedir.



Şekil 9. Mekanize ayak uygulamasında karşılaşılan şilt tahkimatların yatması sorunu.

Motor başı şilt tahkimatların olmaması burada da şiltlerin yana yatmasına neden olmuştur. Öyle ki bu yatmalar bazen 16.-17. tahkimatlara kadar domino taşı gibi ulaşabilmiştir. Bu yatmalar 450'yi bulan değerlere ulaşarak ve ayak konveyörünün baş oluğu üzerine kadar uzanmıştır. Buradaki boşluğun daha fazla olması ve motor başının fazla yer kaplaması nedeni ile tahkimatların doğrultulması çok uzun zaman ve emek harcanmasına sebep olmaktadır. Bütün bunlar ayak ilerlemesini engelleyici unsurlardır.

Daha sonra hizmet alımı yoluyla çalışan müteahhit firma Slovakya'dan Çin şilt tahkimatlarına benzer özellikte şilt tahkimatlar getirmiştir. Bu tahkimatlarla gelen konveyör kurve konveyör olduğu için baş oluk rekup galerisinde çalışmaktadır. Konveyör baş oluğunun ayak başında olmaması motor başı yatmalarının önüne geçilmesi olanağını sağlasa da tam olarak bir çözüme ulaşamamıştır. Kamunun çalıştığı dönemde Çin mekanize ayak ünitesi ile 45 metrelik bir ayakta en çok aylık 66 metre ilerleme yapılabilmektedir. Firma ise Slovak şilt üniteleri ile aylık 87 metre ilerleme yapmıştır.

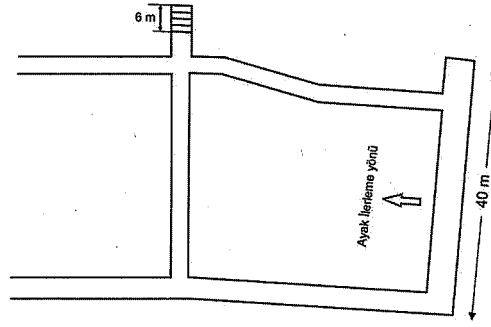
Motor başı ve kuyruk yatmalarının önüne geçebilmek için ilk ve son şilt tahkimatın boşluk taraflarına bir kısmı sabit bir kısmı hareketli olmak üzere parça ilavesi yapılarak en son ayakta deneme çalışmaları yapılacaktır. Bu boşlukların kısmen kapatılması yatmaların önüne geçebilirse ayak ilerlemesinin artması sağlanabilecektir.

Ayaklarda rastlanan ikinci büyük sorun ise, su olan yerlerde şilt tahkimatların tabana batması ve ilerlemenin yapılamamasıdır. Bu gibi durumlarda tahkimatların konveyörle bağlantısı sökülürken, tabanları kaldırılıp altlarına ağaç traversler konularak yükseltilmektedir. Ancak tahkimat, konveyöre aynı parçayla bağlanamadığı için bu parçalar zincir ilave edilerek uzatılmış ve bu şekilde konveyöre bağlanabilmişlerdir.

Ayrıca ayak içerisindeki suyu azaltmak için bir alt ayağın taban yolundan yukarı sondajlarla su alınmaya çalışılmıştır. +400 katında son ayak çalışılırken altta hazırlık olmaması nedeni ile sudan dolayı çalışma yapılamamış ve bu kotun altına yeni bir baca sürülerek suyun aşağıya inmesi sağlanmış ve ancak bundan sonra ayak rahat bir şekilde ilerleyebilmiştir.

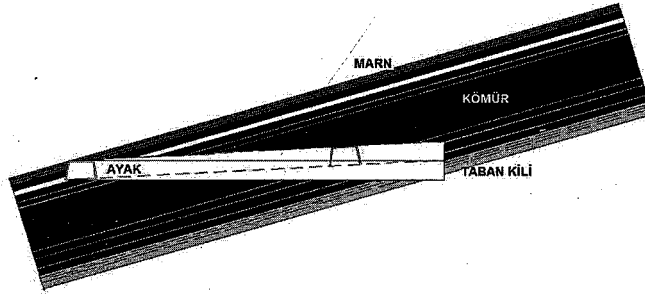
Bir ayağın hazırlığı biri tavanda diğeri tabanda olmak üzere birbirine paralel sürülen iki galeri ile yapılmaktadır. Ancak bu iki galeri birbirine paralel olarak ilerlerken zamanla kömür damar kalınlığına ve eğime bağlı olarak aralarındaki mesafe değişebilmektedir. + 280 katında birbirine paralel ve aralarında 40 metre civarında mesafe ile çalışan iki galeri arasındaki mesafe damarın incelenmesi sonucu 34 metreye kadar düşmüştür.

Yaklaşık panonun yarısında ise, ayak uzunluğunda bir artış gerçekleşmiştir. Pano başlangıcında ayak 26 şiltle üretime başlamıştır. Ayak boyunun artması gereken yere ayak gelmek üzereyken tavandan tabana bir irtibat galerisi sürülmüş ve çalışan son şilt tahkimatın hizasından sonra 4 şilt tahkimat bu bölüme yerleştirilmiştir (Şekil 10). Ayak tam bu noktaya geldiğinde kenetlenme gerçekleşmiş, ilave 6 metrelik konveyör oluğu da eklendikten sonra ayak 30 şilt tahkimat olarak devam etmiştir.



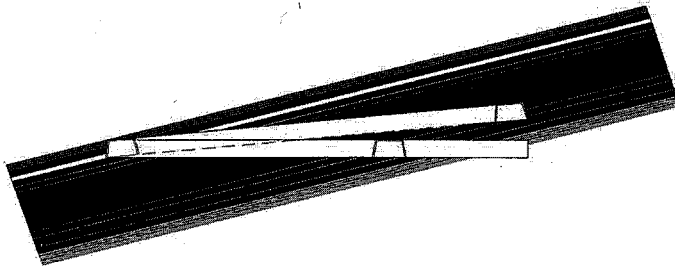
Şekil 10. Çalışan ayağa yeni 4 adet şilt tahkimat ilave etme pozisyonu.

Yeraltında kamunun Çin şilt tahkimatı çalıştığı dönemde ayak boyunu biraz daha uzatabilmek için ayak eğimi 3° olarak planlanmış ve taban yolu buna uygun olarak sürülmüştür. Şekil 11’de görüldüğü gibi ayak oluşturulup çalışmaya başladıktan bir süre sonra ayak bu eğimde tutulamamış ve düz bir hale gelmiş, taban yolu da tahkimatların bir miktar üzerinde kalmıştır.



Şekil 11. Eğimi 3° ile oluşturulan ayağın ilk ve son hali.

Daha sonra taşeron firma yetkilileri tarafından Slovakya’da yerinde gördükten sonra alınan şilt tahkimatlarla Şekil 12’de görüldüğü gibi 6° eğimde ayak oluşturulmuştur. Ayak ilerlemeye başladıktan kısa bir süre sonra ayak düz hale gelmiş ve taban yolu ayağın tamamen üzerinde kalmıştır. Ayakta havalandırmayı sağlayabilmek için yaklaşık 250 metre uzunluğunda yeni bir baca sürülmüş ve ayak çalışmaya devam etmiştir.



Şekil 12. Eğimi 6° ile oluşturulan ayağın ilk ve son hali.

Ayağın eğimli çalışmamasının nedeni tavanın boş tabanın ise yumuşak olması dolayısıyla tahkimatların sıkışmamasından kaynaklanmıştır. Ancak burada tahkimatların düzeltilmesi için bir miktar kilin içine girilmesine neden olmuştur. Kilin su içermemesi tahkimatların batmasını engellemiştir. Böylece tavanda kalan kömürün biraz daha fazla alınabilmesine olanak sağlamıştır. Karşılaşılan iki büyük sorundan ilki aşırı toz problemidir. Tozu önlemek için ekstra su püskürtülmüştür. Bir diğer sorun ise, kilin silis içermesi nedeniyle kesici uçların elmas yataklarının çabuk aşınması ve elmasların kısa sürede düşmeleridir. Çözüm buna uygun uç seçimi olmakla beraber daha sonra bu konuyla ilgili bir çalışma yapılmamıştır.

Eynez sahası ihaleye + 200 kotunun altında çıkmıştır. Burada damar eğimi 13°'nin altında ve kömür kalınlığı 30 metreye ulaşmaktadır. Firma +140 kotunun altında deneme amaçlı tavan taşının altında Çayırhan'dan getirmiş olduğu şiltlerle 13° ayak ve 1° pano eğimli eğim aşağı olacak şekilde çalışmış ve ayakta herhangi bir batma gözlenmemiştir. Buradaki ayağın önceki iki denemede olduğu gibi düzelmemesinin iki nedeni vardır. Birincisi tavan imalat değildir yani sağlamdır. İkincisi ise tavan kömürünün daha önce de belirtildiği gibi sağlam ve homojen olmasıdır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Soma Eynez havzasında mekanize ayak uygulaması tüm aksaklıklara rağmen devam etmektedir. En son verilere göre ayakta kişi başı üretim 20 tonun üzerindedir. Fiili çalışmalardan edinilen deneyimler mekanize ayak oluşturulurken tavanda oluşturulan, tavan kırırma ayağı hariç, arkadan göçertmeli ayaklarda; ayağın yatay pozisyonda, panonun ise yatay veya eğim yönünde oluşturulmasının doğru olacağını göstermiştir.

+200 kotunun altındaki havzada damar eğimi genel olarak 3-10° arasındadır. Bu da ayak ve pano oluşturulurken normal kat seçimi yapılabilmesine olanak sağlayacaktır.

Üretim planlamasının son zamanlarda ortaya çıkan metan salınımı göz önüne alınarak yapılması gerekmektedir. Eğim yönünde eğim aşağı çalışan ayaklarda arkada metan birikmesi söz konusu olacağından arkada kalan kömürlerin kızışması ile birlikte yangın ve patlama tehlikesi oluşabilecektir. Bu nedenle üretilecek bölgenin önce metan drenajı yapılarak daha sonra üretilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Köse, H. ve Tatar, Ç. (2011) Madenlerde Yeraltı Üretim Yöntemleri. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.

Özfirat, K., Şimsir, F., ve Gönen, A. (2007) Kalın Kömür Damarlarında Taban Ayak (Çekme) Yönteminin Seçilmesi Durumunda Yürüyen Tahkimat Tiplerinin İncelenmesi. 1. Maden Makinaları Sempozyumu, Kütahya.

YÜKSEK HIZLI DEMİRYOLU İNŞAATI TÜNELLERİNDE KULLANILAN JUMBOLARIN PERFORMANS ANALİZLERİ

PERFORMANCE ANALYSIS OF JUMBO DRILLS USED IN HIGH SPEED RAILWAY CONSTRUCTION TUNNELS

İsmail TOPAL, *Yrd.Doç.Dr., Dumlupınar Üniversitesi, Müh. Fak., Kütahya*
Biröl ELEVİLİ, *Prof.Dr., Ondokuzmayıs Üniversitesi, Müh. Fak., Samsun*
Kenan OĞUL, *Mad.Yük.Müh., TCDD 2.Demiryolu Yapım Grup Müdürlüğü, Bozüyük*

ÖZET

Yüksek hızlı demiryolu tünellerinde Jumbo deliciler yoğun olarak kullanılmaktadır. Jumbo delicilerin performansı uygulamanın başarısı açısından önemlidir. Türkiye'nin önemli ulaşım projelerinden biri olan, "Ankara - İstanbul 2. Etap (Eskişehir-Köseköy) Yüksek Hızlı Demiryolu" toplam 158 km uzunluğa sahiptir. Burada yaklaşık 54 km uzunluğunda pek çok farklı formasyonda çok sayıda tünel inşa edilmektedir. Bu çalışmada proje bölgesindeki tünel inşaları esnasında süren, kaya bulunu ve patlatma deliği açma amacına yönelik kullanılan Jumbo delicilerin performans analizleri yapılmıştır. Ayrıca jumboların performans indeksleri de verim, verimlilik ve etkenlik parametreleri dikkate alınarak oluşturulmuştur.

ABSTRACT

Jumbo drills are used extensively in high-speed railway tunnels. Jumbo drills performance are important in terms of the success of the application. Ankara – İstanbul 2st stage high-speed railway construction is one of the important project in Turkey and it has length of 158 km. Here about 54 km long tunnel is being built a large number of the many different formations. In this study, performance analysis were made for jumbos used for rock bolt, blasting drill etc. In addition, the performance indices were made for jumbos taking into account efficiency and productivity parameters.

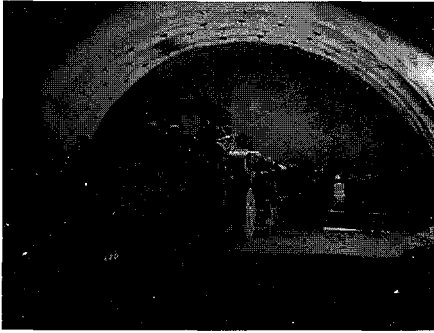
1. GİRİŞ

Ankara – İstanbul Yüksek Hızlı Tren Demiryolu İnşaatı çalışmalarında toplam 54 km. uzunluğunda 34 adet tünel inşası devam etmektedir. Yapılan tünel açma çalışmalarında Atlas Copco L2 D model jumbo deliciler kullanılmaktadır. Bu çalışmada söz konusu jumbo delicinin çalışma durumları incelenmiş, net çalışma, tamir-bakım ve durma zamanı olarak, 3 günlük sürede ölçümler alınmıştır. Alınan ölçümler değerlendirilerek makineye ait kullanım oranı değerleri hesaplanmıştır. Buradan elde edilen sonuçlara dayanarak makinenin incelenen işletme içerisinde verimli bir şekilde kullanılıp kullanılmadığı ortaya konulmuştur.

Burada öncelikle işletme çalışmaları aşamasında bazı gözlemler yapılarak jumbo delici makinesinin çalışma biçimleri ve operatörlerin çalışmaları incelenmiştir. Ayrıca jumbo delici makinesinin delik delme işlemi karakteristiklerine ait tüm parametreler gözlemlenmeye çalışılmıştır. Bunun yanında makineye ait çalışma ve durma süreleri ölçülerek uygulamalara ilişkin bilgiler alınmıştır. Alınan bu veriler ayrı ayrı düzenlenerek makinesinin performans analizleri yapılmıştır.

2. TÜNEL İNŞAATLARINDA JUMBO DELİCİ KULLANIMI

Bir tünel inşasında jumbo deliciler daha çok bulon çakma, süren uygulaması ve patlatma deliklerinin açılmasında kullanılmaktadır. Şekil 1’de jumbo delicinin tünel çalışma örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 1. Jumbo delici.

Hazırlık çalışmalarında kullanılan jumbolar, genellikle, 3 kollu, delme hızı ve kontrol imkanına bağlı olarak bir veya iki operatörle çalıştırılan, düzenli ve iyi planlanmış bakım isteyen kompleks makinelerdir. Hazırlık çalışmalarında açılan galeri veya tüneller, genellikle, 2-10 m yükseklik ve 2-15 m genişlikte olabilmektedirler. Bu tüneller veya galeriler, düz, oldukça dik eğimli, keskin dönüşlü veya spiral şeklinde olabilmektedirler. Bu yüzden değişen hazırlık geometrisine uygun jumbo çeşidi kullanılmalıdır.

3. PERFORMANS ANALİZ YÖNTEMİ

Bu bildiride projede kullanılan jumboların 3 günlük çalışma süreleri ölçülerek performans parametreleri incelenmiştir. Bunun için makine çalışma saatleri, üretim

miktarları ve durma süreleri kayıt edilmiştir ve verim oranı, verimlilik, etkenlik değerleri hesaplanmıştır. Burada makinenin verim oranı çok yüksek olmasına karşın o süre zarfında yapmış olduğu çalışma az olabilmekte bu da verimliliği düşürmektedir. Çalışma içersinde verim oranı, verimlilik ve etkenliğin yanında, verim oranı, verimlilik ve etkenliğin çarpımıyla elde edilmiş olan makine performans indekslerinin de kullanılmasının, makine hakkında doğru bir yargıya varılabilmesi açısından daha yararlı olacağı düşünülmüştür (Akal, 2002).

Verim oranının maksimum olması durumunda dahi o makine için “çok iyi performansla çalışılmıştır” denilemez (Barutçugil, 2002). Çünkü %100 verimle çalışmış bir makine, dikkate alınan dönem içinde sürekli olarak çalışmış, ancak yeterli miktarda üretim gerçekleştirememiş olabilir. O nedenle makine için verim, verimlilik ve etkenlik oranları ile performans indekslerinin ayrı ayrı yorumlanmasında yarar vardır (Canitez, 2000).

İşletmeden elde edilen planlanan delgi verileri girilmiş ve performans parametreleri ve indeksleri hesaplanarak sonuçlar bu değerlere göre yorumlanmıştır. Yapılan çalışmada, makinenin performans indekslerinin belirlenmesinde dikkate alınan performans parametrelerinin (etkenlik, verim ve verimlilik) teorik genel tanımlamaları (Göktan, 2006) ile jumbo delici makinaya uyarlanmış tanımlamaları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Teorik genel ve makine için uyarlanmış performans parametreleri.

Performans Parametresi	Teorik Genel Tanımı	Makineye Uygulanışı
Etkenlik	Gerçekleşen çıktı / Beklenen çıktı	Kullanılan Kapasite / Kuramsal (Kullanılabilir veya Planlanan) Kapasite
Verim	Tüketilen Girdi(kaynak) / Potansiyel Girdi(Kaynak)	Makine çalışma süresi / Kullanılabilir (kuramsal) makine çalışma süresi
Verimlilik	Çıktı / Girdi	Üretimin fiziksel (parasal) değeri / Kullanılan makine saatleri (toplam makine giderleri)

Burada (Akal, 2002);

Etkenlik; Tanımlanmış amaçlara ulaşmak için gerçekleştirilen çalışmaların sonucunda bu amaçlara ulaşma derecesidir. Makine performansına dönük olarak yapılan tarifte, tanımlanmış amaç, kullanılabilir veya planlanan kapasite olarak ele alınmaktadır. Bu kapasite ne kadar iyi kullanılmıştır? Etkenlik bunun bir ifadesi olarak alınır.

Verim; Daha çok kaynakların tüketimi ile ilgili bir kavramdır, araçlara yöneliktir. Yani işlerin doğru yapıp yapılmadığını belirler. Bir üretim unsuru etken olduğu halde verim düzeyi düşük veya tersi bir durum söz konusu olabilir. Makine bazında ele alındığında teorik makine çalışma süresine karşın makinenin ne kadar kullanıldığının bir ifadesidir.

Verimlilik; Girdi ve çıktı unsurları yanında pek çok kaynağın (örneğin kalite) etkileşimi göz önüne alınarak belirlenir. Makine açısından ise kullanılan makine saatlerine karşın üretimin fiziksel değerinin bir ifadesidir.

Jumbo delici makine için tanımlanan teorik kapasite kavramıyla ifade edilmek istenen tanımlama doğru olmayabilir. Çünkü kayacın cinsine göre makine kapasitesi değişiklik göstermektedir. Bunun yanında makine çalışma sürelerini operatörlerin makineyi bekletmesi çay-wc-su vb. molaları çok etkilemektedir. Kuramsal makine süresi tüm parametrelerin %100 tam olduğu durumlar için geçerlidir. Oysa işletmede elektriklerin kesildiği, makinenin arıza yaptığı, önceden etüt proje dairesi tarafından planlanmış jumbo delici makinenin delmesi gereken deliklerin makinenin çalışma koşullarının baz alınmaması sonucunda bulon deliklerine uyum sağlamaması vb. durumlar olabilmektedir. Makine çalışma süreleri ve buna bağlı olarak delgi işlemi durabilmektedir. Yani kuramsal makine süresi bunların hepsi göze alınarak ifade edilmesi gereken bir kavramdır. Bu kavramın işletme ortamında doğru olarak belirlenebilmesi, bu parametrelerin hepsini dikkate alan bir ölçüm ve değerlendirme ile pratikte mümkün değildir.

4. JUMBO DELİCİ MAKİNANIN PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

Bu çalışmada, tünel açma ile ilgili işlerde kullanılan Jumbo delici makinenin 3 günlük performansları incelenmiştir. Göstergeler belirlenirken işletmeden temin edilen makine çalışmalarına ilişkin bazı girdi-çıkıtı değerleri kullanılmıştır. Çalışmada makinenin temel girdisi olarak zaman (dk), temel çıktısı olarak ise yine zaman(dk) alınmaktadır.

Bunun nedeni ise, projede belirlenen delik delme işleminde, günlük aksamalar olmamaktadır. Mutlaka cihaz değişimi, parça değişimi, gerekirse sınıf değişimi yapılarak delik delme işlemi planlanan günde yapılmaktadır. Çünkü deliklerin olası bir durumda delinmemesi halinde bulonlar yerleştirilemeyecek ve tahkimatsız kalan tünel deformasyonla ve hatta göçükle karşı karşıya kalabilecektir. Bu yüzden Jumbo delici makinada temel girdiler ve çıktılar her zaman süre olarak alınmalıdır.

4.1. Makine Girdi-Çıkıtı Değerleri

Jumbunun performans parametreleri olan verim, verimlilik ve etkenlik değerlerinin belirlenmesinde kullanılan temel kavramlar aşağıda açıklanmıştır (Ceylanoglu, 1999, Özgüven, 2002, Erçelebi, 1999, Ergüler, 2007, Kahraman, 1999, Tokgöz, 1997).

Teorik Çalışma süresi: Makinenin bir günlük çalışma süresidir 24 saat veya 1440 dakika olarak alınır.

Kullanılabilir süre: Kullanılabilir süre, teorik çalışma süresinden yemek, vardiya ve diğer ihtiyaçlar için geçen süreler çıkartılarak bulunan süredir. Bu çalışma için, günlük 3 vardiyanın her vardiyası için yarım saat yemek molası ve yarım saatte vardiya değişimi ve diğer ihtiyaçlar için düşülmüştür. Bu da toplamda 3 saate denk gelmektedir.

Fiili çalışma süresi:

Bu süre makinenin fiili olarak çalıştığı süredir. Makinenin 3 günlük fiili makine çalışma süresi takip eden bölümdeki çizelgelerden hesaplanmıştır;

1. gün yapılan ölçümler

İlk günkü ölçümler porsuk formasyonu olarak adlandırılan konglomera, kumtaşı, kiltası, marn ve gölsel kireçtaşlarından meydana gelen ve B3 kaya sınıfı olarak sınıflandırılan

formasyonda yapılmıştır. İlk gün Jumbo delici Çizelge 2’de gösterilen bulon deliklerinin açılması ve Çizelge 3’te gösterilen patlatma deliklerinin açılması işlerini yapmıştır.

Çizelge 2. B3 kaya sınıfı SN bulon deliği (4 m).

DELİK	1. KOL		2. KOL		Teknik Arızalar
	Delme Süresi (dk)	Manevra Süresi (dk)	Delme Süresi (dk)	Manevra Süresi (dk)	
1	1,21	0,05	1,18	0,05	
2	1,30	0,06	1,42	0,05	
3	0,88	0,05	1,21	0,06	45
4	1,02	0,05	1,32	0,05	
5	1,24	0,06	1,32	0,05	4
6	1,58	0,05	2,08	0,06	
7	1,29	0,06	2,27	0,06	
8	1,47	0,06	2,51	0,05	
9	1,36	0,05	2,48	0,06	
10	1,47	0,11	1,52	0,1	
11	1,59	0,1	2,11	0,15	
12	2,07	0,16	2,03	0,13	
13	1,41	0,18	1,52	0,23	
14	1,33	0,16	1,23	0,2	
15	2,23	0,13	2,44	0,16	7,43
16	1,44	0,13	2,12	0,16	
17	1,42	0,16	1,46	0,11	
18	2,16	0,11	1,32	0,13	
19	2,09	0,23	1,37	0,13	
20	2,57		1,19	0,11	
21	1,47		1,52		
22			1,35		
TOPLAM SÜRELER	32,6	1,96	36,97	2,1	56,43

Çizelge 3. B3 kaya sınıfı patlatma deliği (4 m).

DELİK	1. KOL		2. KOL		Teknik Arızalar
	Delme Süresi (dk)	Manevra Süresi (dk)	Delme Süresi (dk)	Manevra Süresi (dk)	
1	1,35	0,05	1,06	0,06	
2	1,23	0,06	1,23	0,06	
3	1,76	0,06	1,37	0,05	
4	1,12	0,05	1,19	0,06	
5	1,05	0,06	1,23	0,05	
6	1,24	0,05	1,07	0,06	
7	1,08	0,05	1,16	0,05	
8	1,42	0,05	1,29	0,05	
9	1,23	0,06	1,32	0,06	
10	1,4	0,05	1,37	0,06	
11	1,3	0,06	1,19	0,05	
12	1,47	0,06	1,52	0,06	
13	1,14	0,05	1,35	0,06	28
14	1,09	0,06	1,03	0,05	
15	1,01	0,05	1,37	0,06	
16	1,06	0,06	1,29	0,06	

17	1,09	0,05	1,05	0,06	
18	1,43	0,06	1,03	0,05	
19	1,28	0,05	1,39	0,06	
20	1,13	0,05	1,17	0,05	
21	1,42	0,06	1,16	0,06	
22	1,26	0,05	1,19	0,05	
23	1,41	0,06	1,04	0,05	
24	1,27	0,05	1,37	0,06	
25	1,07	0,06	1,33	0,05	
26	1,37	0,05	1,07	0,06	
27	1,04	0,05	1,09	0,06	
28	1,4	0,06	1,26	0,05	15
29	1,29	0,06	1,34	0,06	
30	1,23	0,05	1,42	0,06	
31	1,06	0,06	1,29	0,05	
32	1,38	0,05	1,13	0,05	
33	1,4	0,06	1,27	0,06	
34	1,03	0,06	1,04	0,05	
35	1,36	0,05	1,08	0,05	
36	1,15	0,06	1,27	0,05	
37	1,17	0,06	1,04	0,06	
38	1,31	0,06	1,38	0,05	
39	1,08	0,05	1,09	0,05	
40	1,24		1,12		
TOPLAM SÜRELER	49,82	2,15	48,66	2,15	43

Çizelge 4. Jumbo delicinin 1.gün çalışma süresi.

		Fiili delme Süresi (dk)	Manevra Süresi (dk)	Arıza İçin Durma (dk)
BULON	1.Kol	32,60	1,96	56,43
DELĞİŞİ	2.Kol	36,97	2,10	
PATLATMA	1.Kol	49,82	2,15	43
DELĞİŞİ	2.Kol	48,66	2,15	
TOPLAM ÇALIŞMA		39,07+51,97=91,04		99,43
TOPLAM DELİK BOYU(m)		(21x4+22x4)+(40x4x2)= 492		

Çizelge 2 ve Çizelge 3'te ayrıntıları verilen çalışma sürelerine göre Jumbo'nun ilk gün fiili çalışma süresi=91,04 dakika olarak Çizelge 4'te verildiği gibi hesaplanmıştır.

2.gün yapılan ölçümler

İkinci gün yapılan ölçümler, akıcı formasyonda (konglomera, kumtaşı, kıltaşı, marn ve gölsel kireçtaşlarından meydana gelen kayaçlar, fazla kırıklı çatlaklı ve süreksizlik içeren yapı) C3 olarak sınıflandırılan formasyonda yapılmıştır. 2. Gün Jumbo Çizelge 5' te verilen 8 metrelik IBO bulon yerleştirme işini ve Çizelge 6' te verilen 6 metrelik süren deliği açma işlerini yapmıştır.

Çizelge 5. C3 Akıcı formasyon 8 m IBO bulon delgi süreleri.

DELİK	1. KOL		2. KOL		Teknik Arızalar
	Delme Süresi (dk)	Manevra Süresi (dk)	Delme Süresi (dk)	Manevra Süresi (dk)	
1	2,22	1,14	2,52	1,21	
2	2,12	1,02	2,11	1,15	
3	2,14	1,03	2,46	1,17	
4	2,33	1,06	2,52	1,09	
5	2,09	1,09	2,23	1,05	
6	2,24	1,12	2,44	1,12	5
7	2,09	1,07	2,12	1,14	
8	2,23	1,08	2,46	1,27	
9	2,46	1,16	2,32	1,22	
10	2,26	1,19	2,37	1,07	7
11	2,56	1,2	2,47	1,34	
12	2,34	1,17	2,25	1,16	
13	2,45	1,14	2,35	1,1	
14	2,31	1,27	2,43	1,14	
15	2,22	1,22	2,12	1,22	
16	2,43	1,25	2,54	1,18	
17	2,53	1,22	2,31	1,13	
18	2,47		2,33	1,43	
19			2,28		
TOPLAM	41,49	19,43	44,63	21,19	12

Çizelge 6. C3 Akıcı formasyon 6 m boyunda süren delgisi.

DELİK	1. KOL		2. KOL		Teknik Arızalar
	Delme Süresi (dk)	Manevra Süresi (dk)	Delme Süresi (dk)	Manevra Süresi (dk)	
1	1,53	0,11	2,33	0,1	
2	2,02	0,1	2,16	0,15	
3	2,23	0,16	2,04	0,13	
4	1,43	0,18	1,56	0,23	
5	1,55	0,16	1,54	0,2	
6	1,45	0,13	1,49	0,16	
7	1,59	0,13	2,05	0,16	
8	1,47	0,16	1,35	0,11	
9	1,51	0,11	1,51	0,13	
10	2,06		2,11		
TOPLAM	16,84	1,24	18,14	1,37	

Çizelge 7. Jumbo Delicinin 1.Gün Çalışma süresi.

		Fiili delme Süresi (dk)	Manevra Süresi (dk)	Arıza İçin Durma (dk)
BULON	1.Kol	41,49	19,43	12
DELĞİŞİ	2.Kol	44,63	21,19	
PATLATMA	1.Kol	16,84	1,24	
DELĞİŞİ	2.Kol	18,14	1,37	
TOPLAM				
ÇALIŞMA		44,63+21,19+18,14+1,37 =83,33		12
TOPLAM DELİK BOYU(m)		(18x8+19x8)+(20x6)= 416		

Çizelge 5 ve Çizelge 6 de ayrıntıları verilen çalışma sürelerine göre Çizelge 7’de görüldüğü üzere Jumbo’nun ikinci gün fiili çalışma süresi = 83,33 dakikadır.

3. Gün yapılan ölçümler

Üçüncü gün yapılan ölçümler Porsuk Formasyonu (Konglomera, kumtaşı, kıltaşı, marn ve gölsel kireçtaşlarından meydana gelen kayaçlar, az kırıklı faylı yapı içeren birim) olarak bilinen ve C2 olarak sınıflandırılan formasyonda yapılmıştır. Üçüncü gün Jumbo Çizelge 8’ de ayrıntıları verilen 4 metrelik SN bulon deliği hazırlama işini yapmıştır.

Çizelge 8. C2 formasyon 4 m SN bulon delgisi delme süreleri.

DELİK	1. KOL		2. KOL		Teknik Arızalar
	Delme Süresi (dk)	Manevra Süresi (dk)	Delme Süresi (dk)	Manevra Süresi (dk)	
1	1,53	0,11	2,32	0,18	
2	2,13	0,23	2,12	0,16	
3	2,18	0,16	1,54	0,13	
4	1,44	0,18	1,43	0,13	
5	1,53	0,16	1,55	0,16	
6	2,33	0,13	2,15	0,11	
7	1,51	0,13	2,12	0,13	
8	2	0,16	1,58	0,13	
9	1,56	0,11	2,02	0,18	
10	1,53	0,23	2,12	0,13	
11	2,1	0,16	1,43	0,11	
12	2,12	0,11	1,47	0,23	
13	1,46	0,23	1,54	0,16	
14	1,54	0,18	1,58	0,13	
15	1,57	0,13	1,44	0,16	
16	2,16	0,16	2,06	0,11	
17	1,46	0,16	2,16	0,23	
18	1,58		2,05	0,18	
19			1,55		
TOPLAM	31,73	2,73	34,23	2,75	

Çizelge 8’de ayrıntıları verilen çalışma sürelerine göre Jumbo’nun üçüncü gün fiili çalışma süresi = 36,98 dakikadır. Jumbonun 3 günlük fiili çalışma süresi ve kullanılabilir makine süresi Çizelge 9’da görülmektedir.

Çizelge 9. Jumbo delici makinenin 3 günlük fiili çalışma süresi.

Günler	Kullanılabilir makine süresi (dk)	Fiili çalışma süresi (dk)	Arıza Süreleri	Boş makine + mak. hazırlık (dk)	Toplam Delik Boyu
1.Gün	1260	91,11	99,43	1069,46	496
2.Gün	1260	85,33	12	1162,67	412
3.Gün	1260	36,98		1223,02	148

4.2. Makine Performans Parametrelerinin Hesaplanması

İşletmede kullanılan Jumbo Boomer L2D marka modelidir. Bu çalışmada jumbo delici makina delme süreleri belirlenmiş, günlük istenen çalışma süresi belirtilmiştir.

Boş makine, makine hazırlık ve makine duruş süreleri işletmeden alınan veriler ve yapılan gözlemler doğrultusunda değerlendirilmiştir. Kullanılabilir makine süresinden işletme tarafından hesaplanmış boş makine, makine hazırlık ve makine duruş süreleri çıkarılarak makine (fiili) çalışma süresi bulunmuştur. Verim oranlarının düşük olması makinanın tünel ilerlemesinde her süreçte kullanılmamasının nedenidir. Çalışma süresinin kısa olması, verimliliğinin az olarak görülmesine neden olabilir. Ancak yaptığı işlemin kısa olması ve de önemli olması verimlilik konusunda ters etki yapabilecek durumdadır. Etkenlik her makinenin marka ve modeline göre farklılık göstermektedir. Kapasitesi düşük makineden kapasitesi dışı üretim beklemek yanlış olur. Aynı şekilde kapasitesi daha yüksek olan makineden de ortalama olarak planlanan üretimin beklenmesi bu makineye daha az üretim yaptırmış olmak demektir. Etkenliği düşük olan makinelerin kullanımında, operatörlerin çalışmalarında problem var anlamına gelebilir. Çünkü etkenlik doğru işlerin yapılmasının bir ölçüsüdür. Etkenlik değerlerinin 1 den büyük olması beklenenden daha düşük performans anlamına gelmektedir. Çizelge 10'da yapılan çalışmalar sonucu elde edilmiş olan performans parametreleri görülmektedir.

Çizelge 10. Performans parametreleri.

Günler	[a]	[b]	[c]	[d]	[e]	f=[d/c]	g=[c/a]x100	h=[c/e]
1.gün	1260	1168,89	91,11	496	102,44	5,44	7,23	0,88
2.gün	1260	1174,67	85,33	412	73,44	4,82	6,77	1,16
3.gün	1260	1223,02	36,98	148	40,88	4,00	2,93	0,90

a) Kullanılabilir Makine Süresi (dk); b) Boş Makine Süresi (dk); c) Fiili Çalışma Süresi(dk); d) Delinen Delik Boyu (m); e) Planlanan Delgi süresi (dk) ; f) Verimlilik Oranı (m/dk); g) Verim Oranı % (dk/dk); h) Etkenlik Değeri % (dk/dk)

Çizelge 10'da görüldüğü üzere, makinenin verimliliği çok düşüktür. Çalışılabilir sürenin sadece %2-%7'sinde makine çalışmakta, diğer zamanlarda beklemektedir. Eğer delici tek kollu bir jumbo olsa bu değerler biraz daha yüksek olabilirdi, ancak yine de çok düşük görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Tünel açma işlemlerinde kullanılan Jumbo delicinin performansının belirlenmesine yönelik yapılan bu çalışma bir kez daha göstermiştir ki; özellikle bu tür büyük makinelerin ve hatta diğer tüm maden makinelerinin satın alınması, çalıştırılması, periyodik bakım ve revizyon işlemleri dahil tüm çalışma süreçlerinin iyi bir şekilde kayıt edilmesi ve çalışma performansları, bakım-onarım ve revizyon düzeyleri ve gerekliliği vs. konularında periyodik olarak durum değerlendirmesi yapılması gerekmektedir. Böyle yapılması, özellikle makinede uzun süreli durmaların önüne geçilmesini sağlayacaktır.

Makine seçiminde önemli bir başka unsorda, seçilen makineye iş bulmak gerektiğidir. Çalışmadan duran makine sabit maliyetlerden dolayı genel maliyetlerin dolayısıyla da birim maliyetlerin artmasına sebep olacaktır.

Yapılan çalışmalarda operatörlerin işlerine gösterdikleri özenin direkt olarak verim, verimlilik ve etkenlik değerlerini etkilediği gözlenmiştir. Bunun yanında delik delme sürelerinde makine operatörünün becerisi kadar yağcısının da büyük bir etkisi vardır. IBO bulon eklenmesindeki becerisi ve çabukluğu işin erken bitmesi için önemli bir parametredir.

6. KAYNAKLAR

- Akal, Z., (2002), “İşletmelerde Performans Ölçüm ve Denetimi – Çok Yönlü Performans Göstergeleri”, MPM Yayınları, Ankara, Yayın No:473, 368 s.
- Barutçugil, İ., (2002), “Performans Yönetimi”, Kariyer Yayınları, İstanbul.
- Canıtez, B., (2000), “Performans Değerlendirme”, Türk Psikoloji Bülteni, 16.
- Ceylanoğlu, A ve Gül, Y., (1999), Türkiye’deki Bazı Yeraltı Ocaklarında Yükle-Taşı-Boşalt(YTB) Makinelerinin Performans Ölçüm Sonuçları, Türkiye 16. Madencilik Kongresi, s 137-146.
- Erçelebi, S.G., Ergin. H.ve Yılmaz, M., (1999), K.B.İ. Murgul İşletmesinde Kullanılan İş Makinelerinin Performans Analizi ve Optimum Yenilenme Zamanları, Türkiye 16. Madencilik Kongresi, S 65-70.
- Ergüler, G.K., (2007), Metal Madencilğinde Kullanılan Bazı Makinelerin Performans Analizleri, I. Maden Makineleri Sempozyumu, s.105-113, Kütahya.
- Gökten, M., Yılmaz, N.G., (2006), Mermer Üretim ve İşletme Ders Notları, OGU, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.
- Kahraman, S., Mülazimoğlu, A., (1999), Pozantı Tarsus Ayrımı Otoyol İnşaatında Kullanılmış Olan Delici Makinelerin Performans Analizi, Madencilik Dergisi, Cilt: 38, No:2-3, s 31-35.
- Özgüven, A., (2002), Özbeyli (Sivas-Uşak) Mermer Ocağı’nda Kullanılan Makinelerin Performans Analizi, HÜ, FBE, Yüksek Lisans Tezi, s 61.
- Tokgöz, N, Kesimal, A., (1997), Küçük Ölçekte bir Açık Ocak Kömür İşletmesinde Dekapajda Kullanılan Ekipmanların Verimlilik Analizi, Türkiye 15. Madencilik Kongresi, s 89-100.

AÇIK İŞLETMELERDE DEKAPAJ KAMYONLARINA AİT DURUŞ SÜRELERİNİN ZAMAN SERİSİ ANALİZİ

TIME SERIES ANALYSIS OF OFF-HIGHWAY TRUCK DOWNTIMES IN SURFACE MINING

Ece KEPEKÇİ, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh. Fak., Eskişehir*
Hürriyet AKDAŞ, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh. Fak., Eskişehir*

ÖZET

Bu çalışmada, Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ), açık işletmelerinde faaliyette bulunan dekapaj kamyonlarına ait tamir-bakım ve operasyonel kaynaklı duruş süreleri için zaman serisi analizi yapılmıştır. GLİ açık işletmelerinde örtü tabakasının nakliyatında görevlendirilen 85 ston kapasiteli 53 adet kamyonun duruş süreleri analiz edilmiştir. Büyük bir taşıma filosu oluşturan tüm kamyon ve araçların duruş süreleri 2000 yılından itibaren aylık temelde, yıllık olarak kayıt altında tutulmaktadır. Dokuz yıllık kayıt altında tutulan kamyonların duruş süreleri yeniden derlenerek, tamir-bakımdan kaynaklanan ve operasyonel kaynaklı duruşlar olmak üzere iki ana başlık altında istatistiksel anlamda incelenmiştir. Zaman serisi analizleri sonucunda elde edilen tahmin modelleri, 2009 yılındaki aylık gerçekleşen fiili değerler ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen tahmin modellerinin %95 güven aralığında kabul edilebilir sonuçlar verdiği görülmüştür.

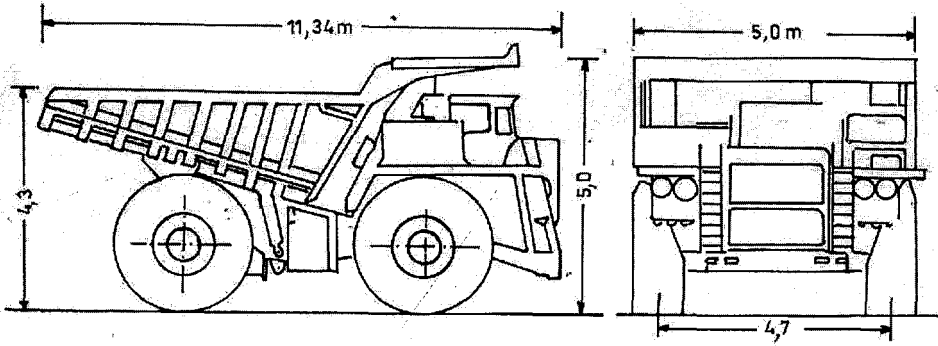
ABSTRACT

In this study, all durations related to fixed and operational delays of off-highway trucks operating in surface mines of Western Lignite Cooperation have been studied by using time series analysis. In surface mines of Western Lignite Cooperation, delaying times of off-highway trucks, which are 53 trucks and 85 ston capacity each of them, have been analyzed. The fixed and operational delays of all trucks which become a large fleet with other equipment have been recorded as monthly-annually from the beginning of 2000 year. Recompiled recorded durations have been statistically evaluated in two main topics which are fixed and operational delays for past nine years. The obtained prediction models from the results of time series analysis have been compared with real durations occurred in 2009. Obtained prediction models have given reasonable and acceptable results in 95 % confidence interval.

Ana şase ve damperleri, yüksek kaliteli çelik saçtan imal edilmektedir. Damperlerden baştan başa egzoz gazı geçirilerek, nemli malzemenin yapışması önlenmektedir. Bu kamyonların azami hızı, 66 km/saattir (Bilge, 2002).

Motor tarafından üretilen güç, tork konverter pompasına bağlı olan volan tarafından pompaya iletilir. Bu pompa temas halinde olduğu yağı döndürerek hızla türbine gönderir, türbin döner ve güç şanzımana iletilmiş olur. Şanzıman gelen güç, bir dizi dişli grubu ve kavrama sistemlerini geçtikten sonra şafta, oradan da diferansiyel, akslar ve planet dişlilerden geçerek tekerleklerle ulaşır. Tekerleklerden birisi patinaj yapmaya başladığında, orada sarf edilmesi gereken güç diferansiyel tarafından diğer tekerlere iletilerek, araca fazladan tırmanma gücü kazandırılır (Bilge, 2002).

Wabco 85-D kamyonlarda önde 2, arkada 4 olmak üzere toplam 6 adet lastik olup, bu lastikler maksimum çalışma ömrüne sahip olacak şekilde tasarlanmışlardır. Bu kamyonların uzunluğu 11.34 metre, genişliği ise 5 metredir (Şekil 1).



Şekil 1. Wabco 85-D Kamyonların Boyutları (Haulpak 85-D Kataloğu, 1985).

3. DEKAPAJ KAMYONLARININ DURUŞ SÜRELERİ

İşletmede, dekapaj nakliyesinde çalıştırılan 85 ston kapasiteli 53 adet kamyonun duruş süreleri her vardiyada kayıt altına alınmaktadır. Bu kayıtlar, duruşların alt nedenlerini içeren ve işletmenin kendi oluşturduğu bir tablo altında, saat bazında toplanmaktadır. İşletmenin kendi ihtiyaç ve izleme durumuna göre geliştirilen bu kayıt sisteminde, her kamyon için ayrıntılı bilgiler görülebilmektedir.

Genel olarak işletmede faaliyet gösteren kamyonların duruş süreleri, tamir-bakımdan kaynaklı ve operasyonel duruşlar olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır. Bu ana nedenler farklı farklı alt nedenlerin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. İşletmedeki kamyonların duruş nedenleri Şekil 2'de verilmektedir. Tamir-bakımdan kaynaklı duruşların alt nedenleri incelendiğinde, bu duruşların kamyonların kendisinden kaynaklı olan yani, makine aksamı ile ilgili mekanik kaynaklı duruşlar olduğu görülmektedir. Operasyonel duruşların alt nedenleri incelendiğinde ise, açık işletme koşullarına ve faaliyetlerine bağlı, yani madencilik faaliyeti ve çevre koşulları kaynaklı duruşlar olduğu görülmektedir.

AÇIK İŞLETMELERDE DEKAPAJ KAMYONLARINA AİT DURUŞ SÜRELERİNİN ZAMAN SERİSİ ANALİZİ

TIME SERIES ANALYSIS OF OFF-HIGHWAY TRUCK DOWNTIMES IN SURFACE MINING

Ece KEPEKÇİ, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh. Fak., Eskişehir*
Hürriyet AKDAŞ, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh. Fak., Eskişehir*

ÖZET

Bu çalışmada, Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ), açık işletmelerinde faaliyette bulunan dekapaj kamyonlarına ait tamir-bakım ve operasyonel kaynaklı duruş süreleri için zaman serisi analizi yapılmıştır. GLİ açık işletmelerinde örtü tabakasının nakliyatında görevlendirilen 85 ston kapasiteli 53 adet kamyonun duruş süreleri analiz edilmiştir. Büyük bir taşıma filosu oluşturan tüm kamyon ve araçların duruş süreleri 2000 yılından itibaren aylık temelde, yıllık olarak kayıt altında tutulmaktadır. Dokuz yıllık kayıt altında tutulan kamyonların duruş süreleri yeniden derlenerek, tamir-bakımdan kaynaklanan ve operasyonel kaynaklı duruşlar olmak üzere iki ana başlık altında istatistiksel anlamda incelenmiştir. Zaman serisi analizleri sonucunda elde edilen tahmin modelleri, 2009 yılındaki aylık gerçekleşen fiili değerler ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen tahmin modellerinin %95 güven aralığında kabul edilebilir sonuçlar verdiği görülmüştür.

ABSTRACT

In this study, all durations related to fixed and operational delays of off-highway trucks operating in surface mines of Western Lignite Cooperation have been studied by using time series analysis. In surface mines of Western Lignite Cooperation, delaying times of off-highway trucks, which are 53 trucks and 85 ston capacity each of them, have been analyzed. The fixed and operational delays of all trucks which become a large fleet with other equipment have been recorded as monthly-annually from the beginning of 2000 year. Recompiled recorded durations have been statistically evaluated in two main topics which are fixed and operational delays for past nine years. The obtained prediction models from the results of time series analysis have been compared with real durations occurred in 2009. Obtained prediction models have given reasonable and acceptable results in 95 % confidence interval.

1. GİRİŞ

Açık işletmelerde, işletmenin büyüklüğüne ve kazı sistemine bağlı olarak cevher üzerindeki örtü tabakasının taşınması için farklı yöntemler uygulanmaktadır. Taşıma yöntemleri arasında raylı sistemler, bant konveyörler, kamyonlar, halatlı sistemler sayılabilir. Dünyada pek çok ülkede olduğu gibi, ülkemizde de açık işletmelerde örtü tabakası nakliyatı için kamyonlar yaygın olarak kullanılmaktadır.

Örtü tabakasının nakliyatında kamyonların tercih edilmelerinin en önemli nedenleri arasında, manevra kabiliyetlerinin fazla olması ile değişen şartlara hızlı ve kolayca uyum sağlamaları gösterilebilir. Ayrıca, değişik kapasiteler ve formlarda mekanik veya elektrik tahrikli olarak yüksek kapasiteli kamyonlar üretilmektedir. Bu seçenek ve avantajlar, dekapaj şirketlerinin kendi koşullarına ve üretim hedeflerine bağlı olarak bir nakliyat filosu oluşturması için farklı seçim alternatifleri sağlamaktadır.

Kamyonlardan oluşan bir nakliyat filosu bulunan işletmelerde, bu kamyonların çalışma esnasında ihtiyaç duyabileceği her türlü bakım, onarım, yedek parça, yakıt vb. ürün ve hizmetleri sağlayabilecek birimler bulunmalıdır. Bu birimler hem hizmet anlamında donanımlı olmalı; hem de, kamyonların rutin bakımları için planlı, programlı ve sürekli hazır bulunmalıdır.

İşletmelerde, filoyu oluşturan tüm kamyonlara ait her türlü teknik bilgi genellikle kayıt altında tutulmaktadır. Kayıt altında tutulan teknik bilgilerin yanı sıra, tüm duruş sürelerinin ve nedenlerinin ayrıntılı olarak kayıt altına alınması bir zorunluluktur. Bu kayıtlar, başta verimlilik analizleri olmak üzere pek çok istatistiksel çalışmanın yapılabilmesi ve işletmelerin nakliyat sistemlerini denetleyebilmesi için gerekli ve yararlıdır.

Bu çalışmada, G.L.İ. Tunçbilek Bölgesinde, 53 adet ve her biri 85 ston kapasiteli dekapaj kamyonundan oluşan bir filonun duruş süreleri analiz edilmiştir. Aslında bölgede; kapasite, model ve yaş bakımından iki farklı grup olarak, toplam 83 adet kamyon faaliyette bulunmaktadır. Bu kamyonlardan birinci gruptakiler; 170 ston kapasiteli, aynı marka, aynı model, aynı yaşta ve elektrik tahrikli olup 10 tanedir. Geriye kalan 85 ston kapasiteli 73 adet kamyonun 20 tanesi kömür üretiminde, 53 tanesi de dekapaj kamyonu olarak görevlendirilmiştir. İkinci gruptaki 53 adet dekapaj kamyonu aynı model ve yaşta oldukları gibi, aynı malzemeyi de taşıdıkları için bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadırlar. (Kepekçi, 2011).

Kamyonların duruş süreleri, tamir-bakımdan kaynaklı ve operasyonel kaynaklı duruşlar olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır. 2000-2008 yılları arasında aylık bazda kayıt altında tutulan bu duruş süresi verileri, zaman serisi analizlerine tabii tutulmuş ve bir sonraki yıla ait duruş süreleri üzerine %95 güvenilirlikle öngörüler yapılmıştır.

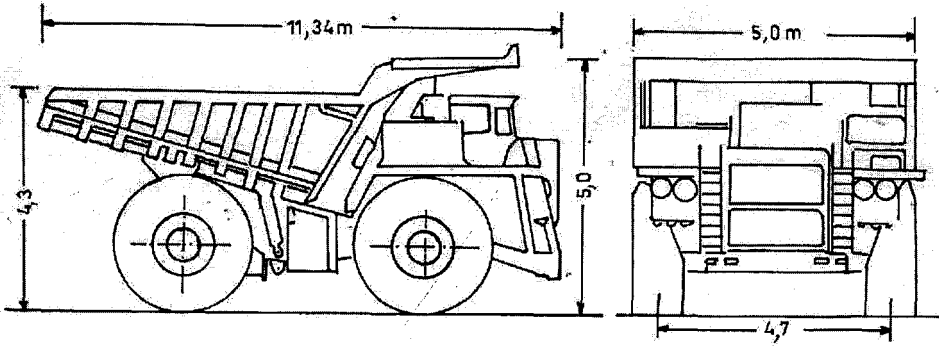
2. AÇIK İŞLETME DEKAPAJ KAMYONLARI VE ÖZELLİKLERİ

Mekanik özelliğe sahip 85 ston kapasiteli Wabco 85-D kamyonlar ana şase, damper, motor, aktarma organları, hidrolik sistem, hava ve fren sistemlerinden oluşmaktadır.

Ana şase ve damperleri, yüksek kaliteli çelik saçtan imal edilmektedir. Damperlerden baştan başa egzoz gazı geçirilerek, nemli malzemenin yapışması önlenmektedir. Bu kamyonların azami hızı, 66 km/saattir (Bilge, 2002).

Motor tarafından üretilen güç, tork konverter pompasına bağlı olan volan tarafından pompaya iletilir. Bu pompa temas halinde olduğu yağı döndürerek hızla türbine gönderir, türbin döner ve güç şanzımana iletilmiş olur. Şanzıman gelen güç, bir dizi dişli grubu ve kavrama sistemlerini geçtikten sonra şafta, oradan da diferansiyel, akslar ve planet dişlilerden geçerek tekerleklerle ulaşır. Tekerleklerden birisi patinaj yapmaya başladığında, orada sarf edilmesi gereken güç diferansiyel tarafından diğer tekerlere iletilerek, araca fazladan tırmanma gücü kazandırılır (Bilge, 2002).

Wabco 85-D kamyonlarda önde 2, arkada 4 olmak üzere toplam 6 adet lastik olup, bu lastikler maksimum çalışma ömrüne sahip olacak şekilde tasarlanmışlardır. Bu kamyonların uzunluğu 11.34 metre, genişliği ise 5 metredir (Şekil 1).

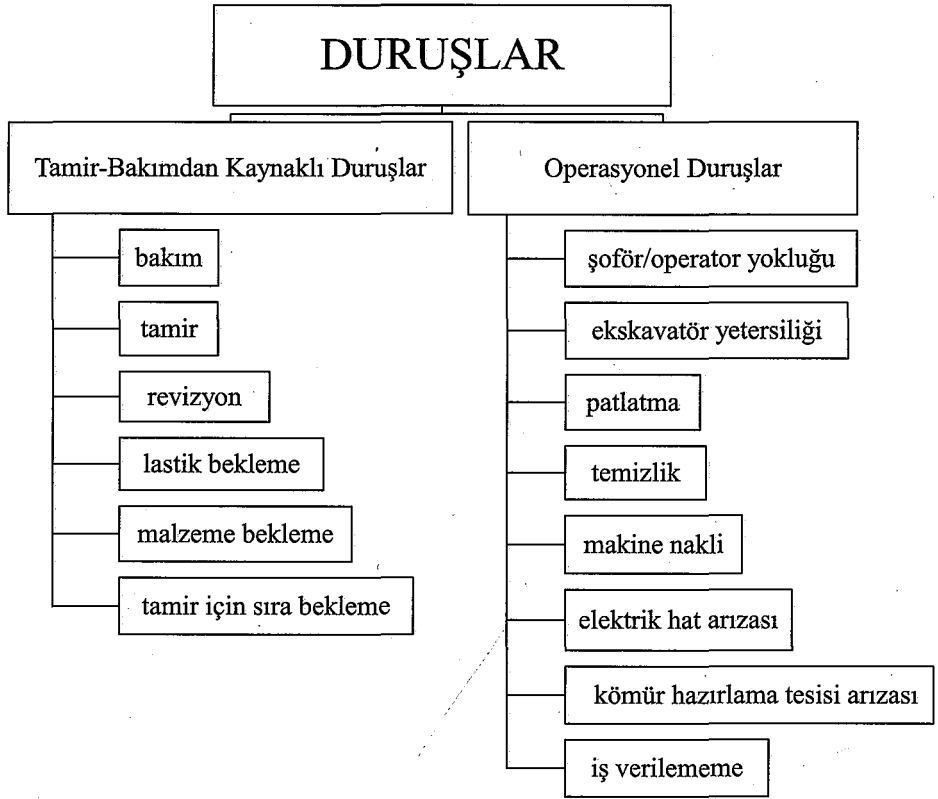


Şekil 1. Wabco 85-D Kamyonların Boyutları (Haulpak 85-D Kataloğu, 1985).

3. DEKAPAJ KAMYONLARININ DURUŞ SÜRELERİ

İşletmede, dekapaj nakliyesinde çalıştırılan 85 ston kapasiteli 53 adet kamyonun duruş süreleri her vardiyada kayıt altına alınmaktadır. Bu kayıtlar, duruşların alt nedenlerini içeren ve işletmenin kendi oluşturduğu bir tablo altında, saat bazında toplanmaktadır. İşletmenin kendi ihtiyaç ve izleme durumuna göre geliştirilen bu kayıt sisteminde, her kamyon için ayrıntılı bilgiler görülebilmektedir.

Genel olarak işletmede faaliyet gösteren kamyonların duruş süreleri, tamir-bakımdan kaynaklı ve operasyonel duruşlar olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır. Bu ana nedenler farklı farklı alt nedenlerin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. İşletmedeki kamyonların duruş nedenleri Şekil 2'de verilmektedir. Tamir-bakımdan kaynaklı duruşların alt nedenleri incelendiğinde, bu duruşların kamyonların kendisinden kaynaklı olan yani, makine aksamı ile ilgili mekanik kaynaklı duruşlar olduğu görülmektedir. Operasyonel duruşların alt nedenleri incelendiğinde ise, açık işletme koşullarına ve faaliyetlerine bağlı, yani madencilik faaliyeti ve çevre koşulları kaynaklı duruşlar olduğu görülmektedir.



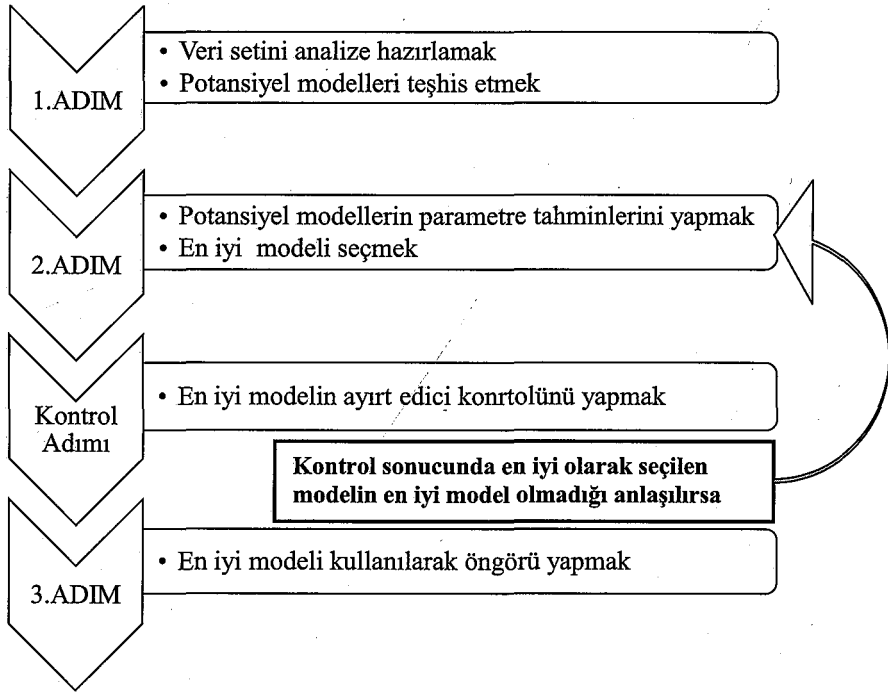
Şekil 2. G.L.İ. Açık ocak kamyonlarının duruş nedenleri.

4. ZAMAN SERİSİ ANALİZİ

Geçmişte yaşanan olaylar, durumlar veya bilgiler incelenerek gelecek hakkında yapılan tahminlerde iki farklı yöntemle başvurulmaktadır. Bu yöntemlerden biri, subjektif temellere dayanan nitel (kalitatif) yöntemler; diğeri ise, istatistiksel modellere dayanan nicel (kantitatif) yöntemlerdir. Zaman serisi analizleri, geçmiş yıllara ait ve zamana dayalı veriler kullanılarak gelecek dönemin öngörüsünün gerçekleştirilebildiği nicel bir tahmin yöntemidir (Kadılar, 2005).

Zaman serisi analizinde ve seriyi tanımlayan en iyi modeli belirlemede üç temel adım sırasıyla izlenmektedir. Bu adımlardan ilki olan tanımlama adımı, veri setini analize hazırlamayı ve potansiyel modelleri teşhis ederek model seçmeyi kapsamaktadır. İkinci adım olan tahmin ve test yapma adımı ise, potansiyel modellerdeki parametrelerin tahminleri yapılmakta ve model seçme kriterleri kullanılarak en iyi model seçilmektedir. En iyi modelin seçilmesi bu adımın sonlandırılarak üçüncü adıma geçilmesine olanak sağlamaz. Son adıma geçmeden önce, seçilen en uygun modelin ayırt edici kontrolü yapılır ve bu modelin yeterli olup olmadığına bakılır. Ayırt edici kontrolün süreci iki aşamayı içerir. İlk adımda, benzetilen serinin ACF grafiği, gerçek serinin ACF grafiği

ile karşılaştırılır. Eğer iki otokorelasyon fonksiyonu oldukça farklı görünüyorsa, modelin geçerliliği üzerinde şüpheyle durulur ve yeniden başka bir model belirlenmeye çalışılır. İkinci adımda ise, artıklar (hatalar) analiz edilir. Artıkların, rastgele hareketlere sahip ve her birinin diğeri ile yaklaşık olarak korelasyonsuz olması beklenir. Artıkların analizi, Box-Pierce istatistiği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Box-Pierce istatistiğinde; sıfır hipotezi (H_0), tüm otokorelasyonların istatistiksel olarak anlamsız olduğunu ileri sürerken; alternatif hipotez (H_1), en az bir otokorelasyonun anlamlı olduğunu göstermektedir. Eğer yapılan bu iki ayırt edici kontrol adımı ile modelin geçerliliğinden şüphe duyulursa, yeniden model belirleme aşamasına dönlür. Eğer model yeterli görülürse, son adım olan uygulama adımına geçilir. Uygulama adımında ise, kontrol amacıyla model kullanılır (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010). Zaman serisi analizinin basamakları Şekil 3’de verilmektedir.

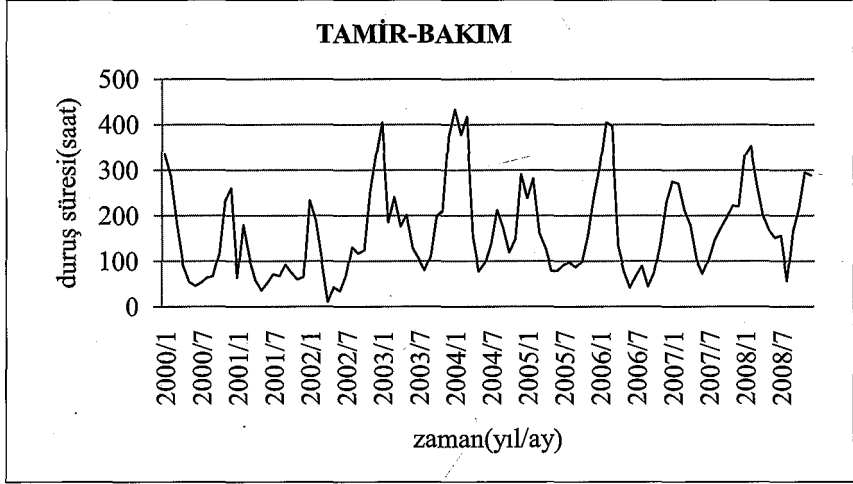


Şekil 3. Zaman serisi analizinin akım şeması.

4.1. Dekapaj Kamyonlarının Tamir-Bakımdan Kaynaklı Duruşlarının Zaman Serisi Analizi

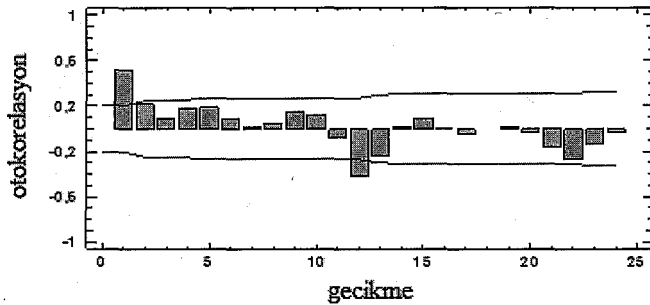
Dekapaj malzemesi taşınmasında görevlendirilen Wabco 85-D kamyonların 2000-2008 yılları arasında tamir-bakımdan kaynaklı fiili duruş süreleri Garp Linyitleri İşletmesinden temin edilmiş ve uygulanacak zaman serisi analizi için aylık olarak derlenmiştir. Bir yılın 12 ay olduğu ve elimizde 9 yıllık veri olduğu göz önünde bulundurulduğunda yapılan derleme sonucunda toplam 108 adet aylık veri elde edilmiştir. Serinin görselleştirilmesini ve bu sayede serinin zaman serisi bileşenlerinden herhangi birini ya da bir kaçını içerip içermediğinin daha net anlaşılmasını sağlamak için yapılacak ilk adım, serinin zaman serisi grafiğini oluşturmaktır (Kadılar, 2005).

9 yıllık tamir-bakımdan kaynaklı duruşların zaman serisi grafiği Şekil 4'de verilmektedir. Grafiği oluşturan değerler incelendiğinde, genellikle, tamir-bakımdan kaynaklı duruşlar serisinin kış aylarında yüksek değerlere ulaştığı ve yaz aylarında ise, düşük değerlerde seyrettiği söylenebilmektedir.



Şekil 4. Tamir-bakımdan kaynaklı duruşlar serisinin zaman serisi grafiği.

Zaman serisi grafiği üzerinden serinin durağanlığı ile ilgili çok kesin yargılara vararak analize başlamak, çoğu kez araştırmacıları yanılttığından; serinin durağan olup olmadığının kontrolü otokorelasyon grafiği ile yapılmaktadır (Kadılar, 2005). Şekil 4'de tamir bakımından kaynaklanan duruş süreleri serisinin otokorelasyon grafiği verilmektedir. Şekil 5'deki grafik incelendiğinde serinin mevsimsel bir yapı içerdiği ve bu yüzden de, durağan olmadığı görülmektedir. Durağanlaştırmak için mevsimsel farkı alınan serinin otokorelasyon grafiği tekrar oluşturulup incelendiğinde ise, otokorelasyon katsayılarının gecikmeler arttıkça artmadığı gözlenmiş ve serinin birinci dereceden farkı alınarak seri trend, mevsimsellik gibi zaman serisi bileşenlerinin etkilerinden arındırılmış, yani tamamen durağan hale getirilmiştir.



Şekil 5. Tamir-bakımdan kaynaklı duruşlar serisinin ACF grafiği.

Çizelge 1’de tamir-bakımdan kaynaklı duruş süreleri serisi için uygun bulunan 11 model verilmiştir. Bu modeller, çalışmada kullanılan Statgraphics yazılımının otomatik tahminleme modülü kullanılarak oluşturulmuştur. Programın yasal sitesinden indirilen demo versiyonu kullanılmıştır. Uygun modeller arasından en uygun modelin belirlenmesi için, en yaygın kullanılan model seçme kriteri olan Akaike Bilgi Kriteri (AIC) kullanılmış ve M_{tb} modelinin (8,01239) değeri ile en küçük AIC değerine sahip model olduğu gözlenmiştir (Kadılar, 2005). Bu yüzden, tamir-bakımdan kaynaklı duruş süresi serisini en iyi tanımlayan, en uygun model olarak M_{tb} modeli [ARIMA (1,1,1)x(1,1,2)₁₂] belirlenmiştir.

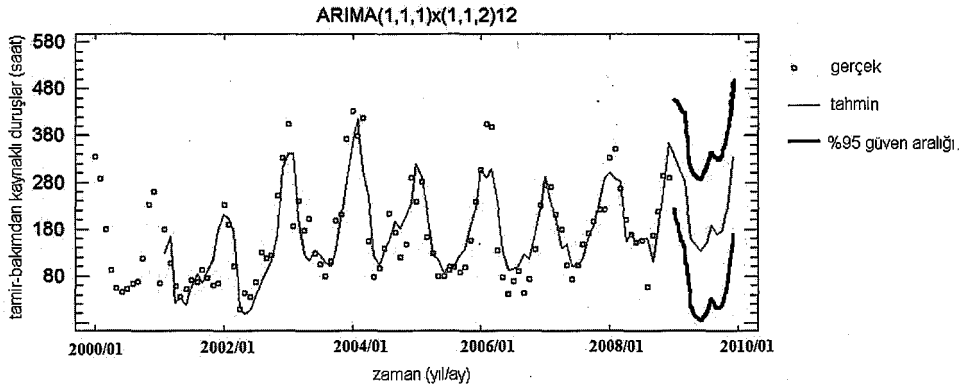
Çizelge 1. Tamir-bakımdan kaynaklı duruşlar serisi için uygun bulunan modeller.

(A _{tb}) Rastgele yürüyüş
(B _{tb}) Sabit ortalama = 166,193
(C _{tb}) Doğrusal trend = -450,444 + 0,94215 t
(H _{tb}) Basit üstel düzleştirme (alfa = 0,415)
(I _{tb}) Brown doğrusal üstel düzleştirme (alfa = 0,1483)
(J _{tb}) Holt doğrusal üstel düzleştirme (alfa = 0,3805 ve beta = 0,0266)
(M _{tb}) ARIMA(1,1,1)x(1,1,2) ₁₂
(N _{tb}) ARIMA(1,1,1)x(2,1,2) ₁₂
(O _{tb}) ARIMA(1,1,2)x(1,1,2) ₁₂
(P _{tb}) ARIMA(2,1,1)x(1,1,2) ₁₂
(Q _{tb}) ARIMA(0,1,2)x(2,1,2) ₁₂

En uygun model olarak bulunan ve seçilen M_{tb} modelinin parametre değerlerinin anlamlılığı t-istatistiği kullanılarak incelenmiştir. Modelin tüm parametrelerinin olasılık değerleri 0,05 değerinden düşük olduğundan, tüm parametrelerin %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu sonucuna ulaşılmıştır. Bir zaman serisi modeli belirlenip, parametrelerinin anlamlılığı ispatlandıktan sonra, ayırt edici testler yardımı ile yapılan tanımlamanın ne kadar doğru olduğu ortaya koyulur. Ayırt edici kontrolün ilk adımında, benzetilen serinin ACF grafiği, gerçek serinin ACF grafiği ile karşılaştırılır. Eğer iki otokorelasyon fonksiyonu oldukça farklı görünüyorsa, modelin geçerliliği üzerinde şüpheyle durulur ve yeniden başka bir model belirlenmeye çalışılır. Tamir-bakımdan kaynaklı duruş süreleri serisi için oluşturulan gerçek serinin ve tahmin serisinin otokorelasyon grafikleri benzer yapı gösterdiğinden, seçilen modelin yeterliliğinin kontrolü için yapılan ilk ayırt edici kontrol yönteminden; model yeterli çıkmaktadır. İkinci adımda ise, artıklar Box-Pierce istatistiği kullanılarak analiz edilir. Uyguladığımız Box-Pierce istatistiğinin olasılık değeri (0,177344) olarak bulunmuştur. Olasılık değeri 0,05’den büyük olduğundan; artıkların tüm otokorelasyonlarının istatistiksel olarak anlamsız olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Gerçekleştirilen ayırt edici kontrol işlemleri de, en uygun model olarak seçilen M_{tb} modelinin doğruluğunu işaret etmektedir.

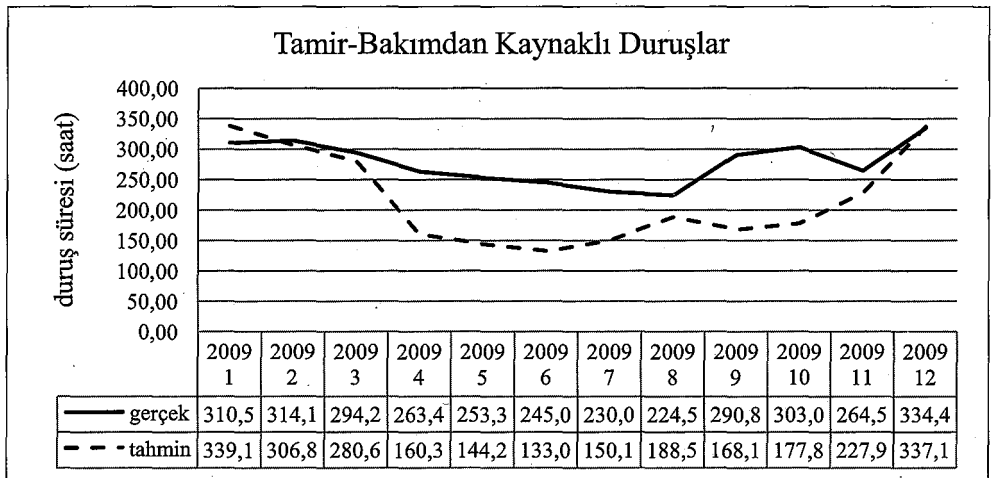
Şekil 5’de tamir-bakımdan kaynaklı duruş süresi serisi için en uygun model seçilen M_{tb} modelinin tahmin değerleri grafiği verilmektedir. 2000-2008 yılları arasında gerçek değerler ve bu gerçek değerlerin tahmin eğrisi oluşturulurken; 2009-2010 yılları

arasında ise, gerçek değerlere yer verilmek sızın, tahmin eğrisi ve bu eğrinin %95 güven seviyesindeki alt ve üst güven aralığı sınırları oluşturulmuştur.



Şekil 6. M_{tb} modelinin tahmin değerleri grafiği.

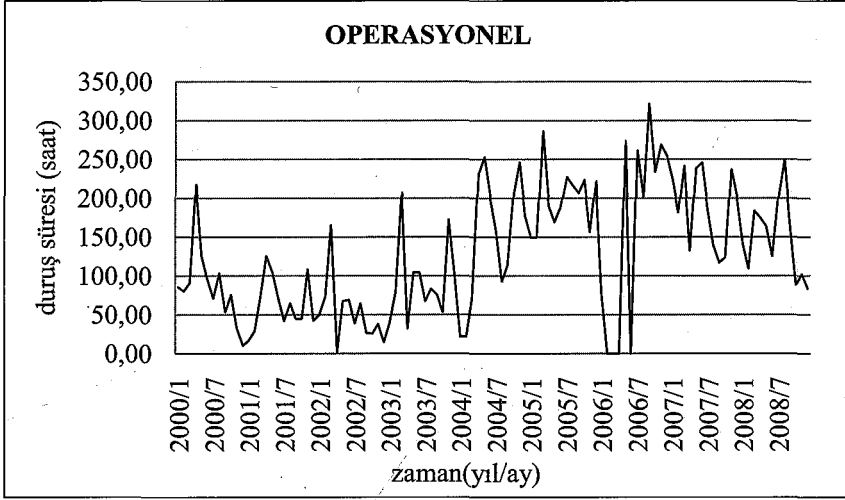
Şekil 6'daki M_{tb} modelinin tahmin değerleri ile oluşturulmuş olan 2000-2008 yılları arasındaki tahmin eğrisi ile Şekil 3'deki serinin gerçek değerleri ile oluşturulmuş zaman serisi eğrisinin oldukça benzer yapıda olduğu görülmektedir. Şekil 7'de 2009 yılının işletmeden alınan gerçek değerler eğrisi ile M_{tb} modeli kullanılarak elde edilen tahmin değerleri eğrisi karşılaştırmalı olarak verilmektedir. 2009'un tahmin değerleri eğrisinde de, tıpkı gerçek serinin zaman serisi eğrisindeki gibi kış aylarında tamir-bakımdan kaynaklı duruşlarda bir artış söz konusudur.



Şekil 7. 2009 yılına ait tamir-bakımdan kaynaklı duruşlar serisinin gerçek değerleri ve tahmin değerleri grafiği.

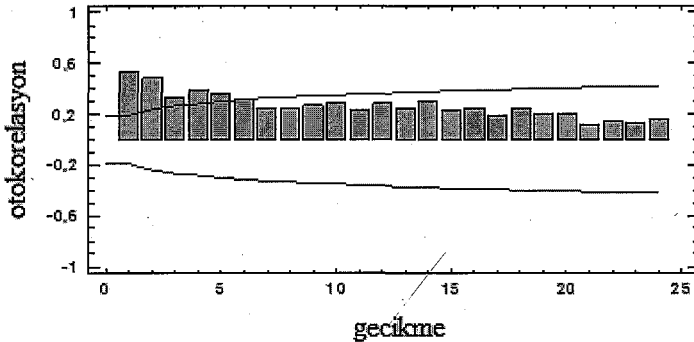
4.2. Dekapaj Kamyonlarının Operasyonel Duruşlarının Zaman Serisi Analizi

Dekapaj kamyonlarının 2000-2008 yılları arasındaki operasyonel duruş süreleri Garp Linyitleri İşletmesinden temin edilerek, uygulanacak zaman serisi analizi için uygun şekilde yeniden derlenmiş ve aylık 108 adet veri oluşturulmuştur. 9 yıllık operasyonel duruşların zaman serisi grafiği Şekil 8’de verilmektedir. Operasyonel duruşların genel olarak kış mevsimindeki aylarda ve yağışlı aylarda maksimum değerlerde olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Operasyonel duruşlar serisinin zaman serisi grafiği.

Operasyonel duruşlar serisinin otokorelasyon durumuna bakıldığında, mevsimsellik olmadığı, otokorelasyonların sıfıra gittiği görülmektedir. Bir başka deyişle, serinin durağan olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. Operasyonel duruşlar serisinin ACF grafiği.

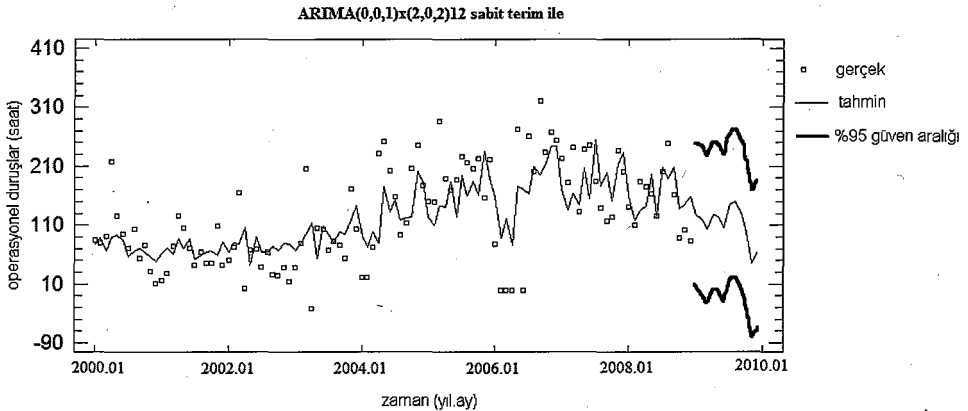
Çizelge 2’de operasyonel duruş süreleri serisi için analiz sonucunda uygun bulunan 11 model verilmektedir. Bu modellerden hata terimi en küçük değere sahip model olan M_{op} modeli $[ARIMA(0,0,1)x(2,0,2)_{12}]$, operasyonel duruş süresi serisini en iyi tanımlayan, en uygun model olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2. Operasyonel duruşlar serisi için uygun bulunan modeller.

(A _{op})	Rastgele yürüyüş
(B _{op})	Sabit ortalama = 128,096
(C _{op})	Doğrusal trend = -758,607 + 1,35478 t
(H _{op})	Basit üstel düzleştirme (alfa = 0,3767)
(I _{op})	Brown doğrusal üstel düzleştirme (alfa = 0,1334)
(J _{op})	Holt doğrusal üstel düzleştirme (alfa = 0,3967 ve beta = 0,0111)
(M _{op})	ARIMA(0,0,1)x(2,0,2) ₁₂ sabit terim ile (27,8119)
(N _{op})	ARIMA(0,0,2)x(2,1,2) ₁₂ sabit terim ile
(O _{op})	ARIMA(0,0,0)x(2,0,2) ₁₂ sabit terim ile
(P _{op})	ARIMA(1,0,0)x(2,1,2) ₁₂ sabit terim ile
(Q _{op})	ARIMA(2,0,0)x(2,1,2) ₁₂ sabit terim ile

En uygun model olarak bulunan ve seçilen, (27,8119) değerinde sabit terim içeren M_{op} modelinin parametre değerlerinin anlamlılığı t-istatistiği kullanılarak incelenmiştir. Modelin tüm parametrelerinin olasılık değerleri 0,05 değerinden düşük olduğundan, tüm parametrelerin %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu sonucuna ulaşılmıştır.

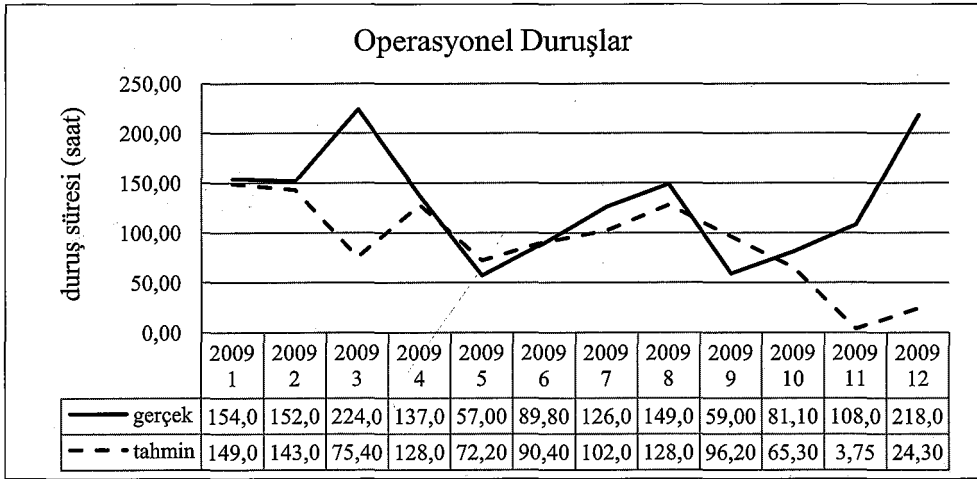
Operasyonel duruş süreleri serisi için oluşturulan gerçek serinin ve tahmin serisinin otokorelasyon grafikleri benzer yapı gösterdiğinden, seçilen modelin yeterliliğinin kontrolü için yapılan ilk ayırt edici kontrol yönteminden; model yeterli çıkmaktadır. Artıkların korelasyonlu olup olmadığını ortaya koymak için uygulanan Box-Pierce istatistiğinin olasılık değeri (0,663808) olarak bulunmuştur. Olasılık değeri 0,05’den büyük olduğundan, artıkların tüm otokorelasyonlarının istatistiksel olarak anlamsız olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Gerçekleştirilen ayırt edici kontrol işlemleri de, en uygun model olarak seçilen M_{op} modelinin doğruluğunu işaret etmektedir.



Şekil 10. M_{op} modelinin tahmin değerleri grafiği.

Şekil 10'da operasyonel duruş süresi serisi için en uygun model seçilen M_{op} modelinin tahmin değerleri grafiği verilmektedir. 2000-2008 yılları arasında gerçek değerler ve bu gerçek değerlerin tahmin eğrisi oluşturulurken; eğrinin son bölümünde 2009-2010 yılları arasında ise, gerçek değerlere yer verilmeksizin tahmin eğrisi ve bu eğrinin %95 güven seviyesindeki alt ve üst güven aralığı sınırları oluşturulmuştur (Şekil 10). Şekil 10'daki M_{op} modelinin tahmin değerleri ile oluşturulmuş olan 2000-2008 yılları arasındaki tahmin eğrisi ile Şekil 8'deki serinin gerçek değerleri ile oluşturulmuş zaman serisi eğrisinin benzer yapıda olduğu görülmektedir.

Şekil 11'de 2009 yılının işletmeden alınan gerçek değerler eğrisi ile M_{op} modeli kullanılarak oluşturulan tahmin değerleri eğrisi karşılaştırılmalı olarak verilmektedir. 2009 yılının Mart, Kasım ve Aralık aylarında gerçek değerler ile model kullanılarak elde edilen tahmin değerleri arasında sapma gözlemlenmiştir. Ancak genel olarak tahmin değerleri serisi ile gerçek değerler serisi benzerlik göstermektedir.



Şekil 11. 2009 yılına ait operasyonel duruşlar serisinin gerçek değerleri ve tahmin değerleri grafiği.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tunçbilek Bölgesi, açık işletmelerde örtü tabakası nakliyatında faaliyet gösteren 53 adet, her biri 85 ston kapasiteli dekapaj kamyonların 9 yıl süresince aylık duruş süreleri zaman serisi analizine tabii tutulmuştur. Kamyonların duruş süreleri, tamir-bakım ve operasyonel kaynaklı olmak üzere, iki ayrı seride istatistiksel olarak incelenmiştir. Her iki seri için de 11 uygun ya da kullanılabilir model bulunmuştur. Bu uygun olan 11 model arasından tamir-bakımdan kaynaklı duruşlar serisini için en iyi tanımlayan modelin ARIMA(1,1,1)x(1,1,2)₁₂ ve operasyonel kaynaklı duruşlar serisini en iyi tanımlayan modelin ise, ARIMA(0,0,1)x(2,0,2)₁₂ olduğu belirlenmiştir. Bu modeller kullanılmak suretiyle, 2009 yılının 12 ayı için tamir-bakımdan kaynaklı duruş süreleri ve operasyonel duruş süreleri tahminlenmiştir.

Bilindiği üzere işletmeler mevcut ekip ve ekipmanları ile gelecek yılda yapılacak üretim faaliyetlerini ve üretim miktarlarını planlamaktadır. Hedeflenen üretimlere ulaşabilmeleri için makine ve ekipmanların duruş sürelerinin de iyi öngörülmesi gereklidir. Yeteri kadar güvenlikle elde edilen bu öngörülerin yıllık planlarda kullanılarak, hem işletmeye hem de ilgili tamir bakım atölyelerinin yedek parça bulundurma gibi hususlarda, hazırlıklı olmasına yardımcı olacaktır.

Tamir-bakımdan kaynaklı duruşların minimize edilmesi üzerine yapılacak çalışmalar makine ve ekipmanların daha verimli kullanılmasını sağlayacaktır. Bu ekipmanların duruş sürelerinin azaltılması ve minimize edilmesi maliyetlerin düşmesi için de yararlı olacaktır.

Açık işletmelerde tamir- bakımdan kaynaklı duruşların nedenleri, daha sistematik olarak kayıt altında tutulmalıdır. Arıza ve bakımlar ile ilgili olarak alt nedenleri ortak anlam ve anlaşılabilir bir kodlama ile tutulması gereklidir. Bu kodlama ve tanımlar kişiden kişiye değişmemelidir.

Operasyonel duruşlar ile ilgili olarak iş verilememe adı altındaki duruşlar, çok genel bir tanımlama olup bununda alt nedenleri belirtilerek kayıt altına alınmalıdır. Ayrıca, mevsimsel nedenlere bağlı olarak oluşan duruşlar da ayrı bir parametre olarak kayıt halinde tutulmalıdır. Bu kayıta yağış cinsi ve miktarı ile birlikte, meteorolojik bilgilerinde olmasında yararlar vardır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, G.L.İ. Müessesesi, Makine İşletme Şube Müdürlüğü ve çalışanları ile Açık İşletme İstihsal Şube Müdürlüğü ve personeline teknik bilgi ve yardımlarından dolayı teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Bilge, F. M. (2002) Tunçbilek Bölgesi Açık İşletme Kamyonlarının Taşıma Parametrelerinin Analizi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s. 111.

Haulpak 85-D Kataloğu, 1985.

Kadılar, C. (2005) SPSS, Uygulamalı Zaman Serileri Analizine Giriş, Bizim Büro Basımevi, s. 299.

Kepekçi, E. (2010) Açık İşletme Kamyonları Duruş Sürelerinin Analizi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s. 130.

Sevüktekin, M. ve Nargeleçekenler, M. (2010) Ekonometrik Zaman Serileri Analizi, Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti., s. 591.

MEKANİK VE MODİFİYE EDİLMİŞ FLOTASYON HÜCRELERİNDE HİDRODİNAMİK PARAMETRELERİN ETKİLERİ

EFFECTS OF HYDRODYNAMIC PARAMETERS IN MECHANIC AND MODIFIED FLOTATION CELLS

İsmail BENTLİ, *Dumlupınar Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Bölümü, Kütahya*
Muammer KAYA, *Osmangazi Üniversitesi, Müh.-Mim. Fak., Maden Müh. Bölümü*
Eskişehir

ÖZET

Bugün madencilik ve madencilik dışı bir çok alanda kullanılan ve büyük tonajlara uygulanan en önemli ve verimli cevher zenginleştirme yöntemlerinden birisi flotasyondur. Flotasyonda yüksek verim ve tenörde konsantr elde etmek için, yüzey ve kolloid kimyası, süspansiyon dengesi gibi mikro düzeyde incelenen özellikler kadar, makro açıdan incelenen flotasyon makine tasarımı, devre tertibi, hidrodinamik, kinetik olaylar ve mekanik değişiklikler de etkili olmaktadır. Çok ince taneli cevherlere (0.1 mm altı) yönelme, temiz konsantr alma isteği, çevresel uygulamalar ve ekonomik olmasından dolayı flotasyon makinelerinde yeni tasarım çalışmaları hız kazanmıştır. Mekanik flotasyon makinelerinin tasarımında ve özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan önemli parametreler geometrik, mekanik oranlar ve hidrodinamik numaralardır. Bu çalışmada, orijinal Denver hücreleri ve modifiye edilmiş hücrenin hidrodinamik parametreleri belirlenmiş ve flotasyon başarısı için bu oranların önemine dikkat çekilmiştir.

ABSTRACT

Flotation is one of the most important and efficient mineral processing methods used in mining and non-mining industries and applied for high tonnages. In order to obtain high grade and recovery concentrates, so called macro factors such as flotation machine design, circuit design, hydrodynamics, kinetic events, and mechanical changes as well as micro factors such as surface chemistry, colloid chemistry and suspension stability etc. are very important. Mechanical flotation machine designs have been worked for very fine ores (under 0.1 mm), clean concentrate, environmental considerations and economic reasons recently. This paper reviews important parameters in mechanical flotation machine design and overviews geometric, mechanical and hydrodynamic numbers. In this study, hydrodynamic characteristics of original Denver flotation cell and modified cell are determined in laboratory scale for flotation success.

1. GİRİŞ

Kompleks ve düşük tenörlü cevherleri değerlendirmek amacıyla, karmaşık sistemleri ve yenilikleri flotasyon yöntemlerine de uygulamak gerekmektedir. Buna göre, flotasyon makinelerinde tane süspansiyonu ve dağıtımı, havalandırma, kabarcık yapısı ve dağılımı, tane-kabarcık teması, sakin köpük fazı, pülpün havalandırılması ve karıştırılması ve sonuçta konsantrenin alınması gibi çeşitli değişiklikler aynı zamanda takip edilmeli ve buna göre tasarlanmalıdır (Kaya ve Laplante, 1986a).

Uluslar arası boyutta pek çok büyük flotasyon makine üreticisi bulunmaktadır. Bunların boyut, model ve işletme şartları birbirinden farklılık göstermektedir. 1980'li yıllarda flotasyon makineleri 50-60 m³ hacimli iken (Young, 1982; Aytekin vd, 1988), günümüzde 300-350 m³ (FLSmidth) gibi büyük hacimlere ulaşmıştır. Bu durum ton başına işlenen cevher maliyetini azaltmaktadır. Çeşitli flotasyon makinesi üreticileri, istenen özellikleri sağlayacak şekilde tasarım çalışmaları yapmaktadır. Bu çalışmalar devamlı gelişme halindedir (Önal vd, 1996; Koivistoinen, 1991). Çeşitli yenilikler ile daha yüksek tenörlü konsantre elde edebilecek flotasyon makineleri üretilmeye çalışılmaktadır (Parga et al, 1996). Meksika'da Altın ve Gümüş flotasyonunda kullanılmak üzere mekanik bir flotasyon hücresi geliştirilmiştir. Bu yeni hücre ile Altın ve Gümüş kazanma verimi %80'den %87'ye yükselmiş, güç tüketimi ve işletme maliyeti belirgin bir şekilde azalmıştır (Parga vd, 1996). Bununla beraber atık giderme ve çevresel uygulamalarda da flotasyon makinelerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır (Kaya ve Kurama, 1999). Flotasyon makineleri ile ilgili araştırmalar, Harris (1976), Young (1982), Kaya ve Laplante (1986b), Amand (1999), Nelson ve Lelinski (2000), Schubert (2008) ve Jameson (2010) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Flotasyon makinelerinde aranan özellikler aşağıdaki gibidir (Harris, 1976; Young, 1982; Atak, 1982; Akar, 1985; Ross, 1997) :

- Pülpün süspansiyon halinde tutulması gereklidir. Bunu başarmak için pülpdeki iri taneleri askıda tutabilecek hızda karıştırma yapılmalıdır. Hücre içinde çökme engellenmelidir. Genel bir problem olarak kumlanma (tanelerin hücrenin tabanına çökmesi), hücre hacminin ve mineral veriminin azalmasına neden olmaktadır.
- Hücre boyunca havalandırma, ince hava kabarcıklarını dağıtmaya müsaade etmelidir. Havalandırma miktarı hücre hacminin her m³ hacmi için dakikada 0.1-2 m³ arasında değişiklik gösterebilir. Tespit edilmesi gereken önemli bir faktör beslemenin ağırlıkça yüzde kaçının yüzdürülmesi gerektiğinin açıklığa kavuşturulmasıdır.
- Önemli bir faktör olarak flotasyon hücresinde küçük kabarcıklar (d_b: 1-5 mm) oluşturulmalı ve dağıtılmalıdır. Bu flotasyon makinelerinin temel bir fonksiyonudur. Pervaneler ölü bölge meydana getirmeden, tüm hücreye havayı dağıtabilmelidir.
- Köpük fazının altında sakin pülp şartlarının sağlanması gereklidir. Bir çok flotasyon makineleri tanelerin süspansiyonunu sağlamak amacıyla türbülans şartlara göre imal edilmiştir. Yine bu hücrelerde türbülansı azaltmak için çoğunlukla hareketleri kontrol eden levhalar (bariyerler) kullanmıştır. Pülpdeki türbülans köpük fazına geçmemelidir. Aksi durumda köpük sağlamlığı ve mineral kazanma veriminde azalma meydana gelmektedir. Türbülans köpükle beraber gang tanelerinin mekanik taşınmasını arttırmakta ve seçimliliği azaltmaktadır. Köpük bölgesine istenmeden gelen gangların tekrar pülp içine drenaj olmasına (geri dönmesine) müsaade

edilmelidir. Bunun için köpüğe yıkama suyu ilavesi uygulamada çözüm olarak kullanılmaktadır (Kaya ve Laplante, 1989).

- Köpük fazının içine istenen mineral taneleri taşınmalı ve seçici bir ayırım için tane kabarcık birleşmesi arttırılmalıdır. Değerli ve gang taneleri arasında yüzey özelliği farklılığı ne kadar fazla olursa, seçimli ayırım da o derece başarılı olmaktadır.
- Pülp ve köpük bölgesi yüksekliği, pervane hızı ve hava akış miktarı ile otomatik olarak kontrol edilebilmelidir. Bu durum tesislerde otomatik kontrol üniteleri ile gerçekleştirilir.
- Beslemenin artışı kısa devre yapması önlenmeli, hücreden-hücreye geçiş kolaylaştırılmalı ve devredeki artışı dışarı atmak için uygun tertibat yapılmalıdır. Konsantre ve artık farklı yerlerden alınmalıdır.
- Bir arızadan sonra kolayca yeniden harekete geçirilmeli ve bakımı kolay olmalıdır.

Hücreden-hücreye flotasyon makineleri tesiste genellikle seri halde çalışan hücreler şeklindedir. Bu nedenle hücreler bir önceki hücrenin artığını yücürmektedir. Her hücrenin köpük yüksekliği, artık akış plakasının yüksekliği veya vana ile ayarlanır. Pülpün ilk giriş hücrelerinde köpük yüksekliği fazla, artık çıkış hücrelerine doğru gidildikçe köpüğe yapışan mineralin azalmasından dolayı köpük yüksekliği düşmektedir. Bu nedenle artık çıkış plakası son hücreye doğru kademeli olarak yükseltilir. Temizleme devrelerinde yüksek tenörlü konsantre elde etmek için pülp yoğunluğu az ve köpük kalınlığı yüksek olmalıdır. Artık çıkış plakası alçak seviyede tutularak, yüksek köpük kalınlığı elde edilerek temiz konsantre alınmaya çalışılır. Kaba ve temizleme devrelerinde ideal çalışma şartları Çizelge 1’de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Kaba ve temizleme devrelerinde hedefler (Kaya, 2010).

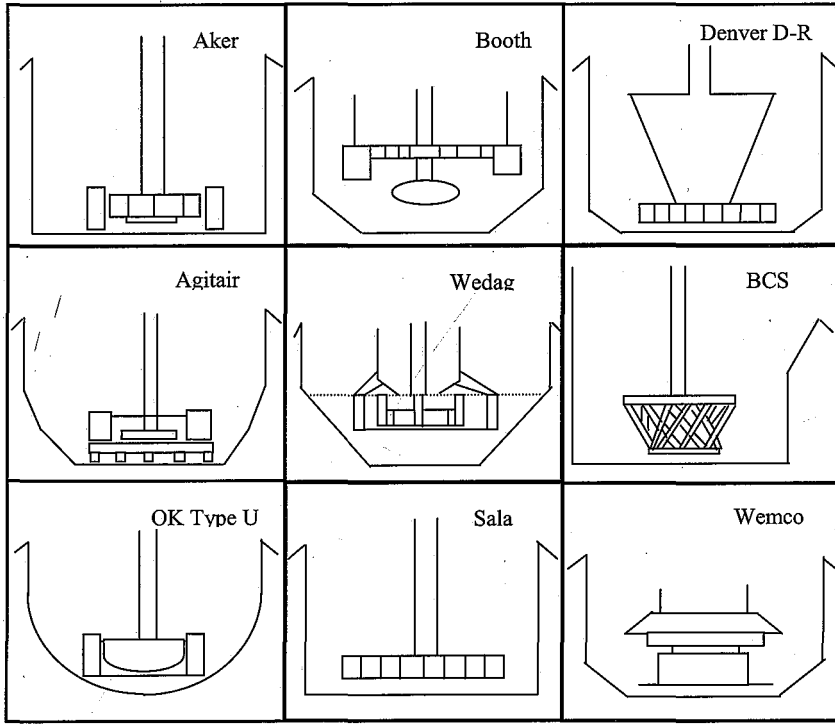
Kaba Flotasyon Devrelerinde Hedefler	Temizleme Devrelerinde Hedefler
Yüksek verim hedeflenmekte, tenöre daha az önem verilmektedir.	Seçimlilik ve yüksek tenör hedeflenmektedir.
Hava yumruları ve köpük kararsızlığı olmaksızın hava akış miktarı fazladır.	Düşük pülp yoğunluğunda çalışılır.
Sığ köpük (1-15 cm) derinliğinde ve hızlı köpük akışında çalışılır.	Kalın köpük (15-40 cm) derinliğinde, gangin drenajına izin verilecek gevşek ve sulu köpük akışında çalışılır.
Tanelerin köpük zonunda kalış zamanı az olmalıdır.	Drenaj amacıyla tanelerin köpük zonunda kalış zamanları uzun tutulmalıdır.
Yüksek pervane hızı tercih edilir.	Daha düşük pervane hızı tercih edilir.
Uzun hücreli banklar (10-18 hücre) kullanılabilir.	Kısa hücreli banklar tercih edilir.
Açık akışlı hücre şekli tercih edilir.	Hücreden hücreye akış şekli kullanılır.

2. MEKANİK FLOTASYON MAKİNELERİ

Flotasyon makinelerini Mekanik makineler, Havalı (Pnömatik) makineler, Köpük ayırıcıları, Kolon flotasyonu ve Elektro-flotasyon makineleri olmak üzere 5 ana gruba ayırmak mümkündür (Kaya, 2000). 1980’li yıllarda güncellik kazanan kolon flotasyonu (Ötaya ve Soto, 1992), yerini günümüzde Jameson flotasyon hücreğine bırakmıştır (Şahbaz vd, 2007; Ata ve Önder, 1997). Ancak bu makalede sadece mekanik flotasyon makineleri açıklanacaktır.

Flotasyonda kullanılan en yaygın makine tipi mekanik makinelerdir. Hava bir pervane yardımıyla pülp içinde dağıtılmaktadır. Bu makineler mükemmel karıştırma

yapılmaktadır. Yüksek kapasiteye uygun olmasından dolayı, mekanik makineleri iyileştirme ve yeni dizaynlar elde etmeye yönelik çalışmalar yapılmıştır (Podopnik vd, 1985; Gorain vd, 1997). Flotasyonun başarısı için tane kabarcık karşılaşmasını, yapışmasını ve köpük bölgesi içine değerli minerali taşıma ihtimali artırılmalıdır (Yoon, 1991; Arbiter vd, 1969; Harris, 1976; Wills, 1988; Bischofberger ve Schubert, 1998). Makro açıdan bunu başarmanın en önemli yolu flotasyon makinesinin performansını arttırmaktır. Şekil 1'de en yaygın mekanik flotasyon makine ve hücre şekilleri gösterilmektedir. Mekanik flotasyon makineleri pülp akışı, havalandırma şekli ve köpük alma şekline göre üçe ayrılmaktadır.



Şekil 1. Yaygın flotasyon makinelerinin hücre ve pervane kesit görüntüleri (Kaya, 2010).

2.1 Pülp Akışına Göre Hücreler

Açık akışlı hücreler: Pülpün hücreden hücreye geçişi sırasında herhangi bir engel bulunmamaktadır. Günümüzde 100 m³'lük hücreler mevcuttur. Büyük kapasiteli flotasyon hücrelerinin tesis içinde daha az yer kaplaması, ton başına daha az güç tüketimi göstermesi, bilgisayar ile otomatik kontrolleri kolay olması, az bakım gerektirmeleri ve kaba flotasyonda kullanılmaları gibi avantajları mevcuttur. Bu tip makinelere örnek olarak Denver, Sala, Outokumpu OK gibi makineler gösterilebilir (Young, 1982). Outokumpu Güney Afrika Madenlerinde kullanılan 100 m³'lük tank hücresini üretmiştir (Leskinen, 1998).

Hücreden-hücreye akışlı: Pülp hücreden-hücreye geçerken bir engel ile karşılaşmaktadır. Bu hücre tipi küçük kapasiteli tesislerde veya temizleme devrelerinde kullanılmaktadır. Bunların yapısı açık akışlı hücrelerden daha karmaşıktır. Hücre hacimleri genellikle 3.5 m^3 'den daha küçüktür. Bu tipe örnek olarak Denver SubA kömür flotasyon makinesi verilebilir (Young, 1982).

2.2 Havalandırma Şekline Göre Hücreler

Kendinden havalandırılmalı makineler: Pervanenin altında ve dönüş hareketinin meydana getirdiği alçak basınç nedeniyle, hücre içine atmosferden hava emilmektedir. Örnek olarak Booth, Wemco ve Denver verilebilir. Güç sarfıyatı pervane dönüşü sırasında harcanan güce eşittir (Young, 1982).

Hava üflenlen makineler: Bu makinelere dışarıdan bir üfleyici veya kompresör tarafından hava verilmektedir. Bu gruba örnek olarak Agitair, Denver ve Aker verilebilir. Toplam güç sarfıyatı pervanenin çektiği güç ve hava üflemek için harcanan gücün toplamına eşittir. Verilen hava hücre içerisinde homojen olarak dağıtılmalıdır (Young, 1982).

2.3 Köpük Alma Şekline Göre Hücreler

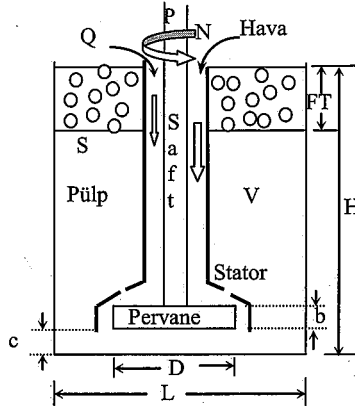
Üstten taşmalı makineler: Köpük hücrenin ağzından doğal olarak taşmaktadır.

Köpük sıyırma yapan makineler: Köpük hem taşma ile hem de sıyrıcı pedallar ile sıyrarak alınmaktadır.

3. MEKANİK FLOTASYON MAKİNELERİNDE ORANLAR

3.1 Flotasyon Makinelerinde Geometrik Oranlar

Flotasyon makineleri ve hücreleri bir takım geometrik oranlara göre üretilmektedir (Şekil 2). Bu geometrik oranlar Çizelge 2'de verilmektedir (Harris ve Lepetic, 1966).



Şekil 2. Bir flotasyon makinesinde geometrik, mekanik oranların ve hidrodinamik numaraların hesaplanması için boyutlandırılması (Kaya, 2010).

Çizelge 2. Flotasyon makine ve hücreleri için geometrik oranlar (Kaya, 2010).

İlişki	Oran	Tanım	Aralık
Pervane-Hücre Oranı	D/L	Pervane çapı/Hücre çapı	0.3 – 0.6
Pervane Oranı	b/D	Perv. Genişliği/Perv. Çapı	0.15 – 0.9
Hücre Hacmi- Boyü İlişkisi	$V = k * L^n$	V: Efektif hacim, k ve n her grup makine için sabit	$2 < n < 3$, $n_{ort} = 2.6$ $0.6 < k < 1.3$, $k_{ort} = 0.9$
Hücre Alanı- Hücre Hacmi Oranı	S/V	S: Hücre kesit alanı	Yüksek tenörlü cevherde yüksek S/V, Düşük tenörlü cevherde ve temizleme devresinde düşük S/V oranı.

3.2 Flotasyon Makinelerinde Mekanik Oranlar

Flotasyonda mekanik oranlar pervane tasarımı, çalışma ve güç tüketimi ile ilişkilidir. Mekanik oranlar Çizelge 3’de verilmektedir (Harris ve Khandrika, 1985).

Çizelge 3. Flotasyon makinelerinde mekanik oranlar (Kaya, 2010).

İlişki	Denklem	Tanım	Aralık
Pervane Çevre Hızı	$s = \pi D N$	D : Per. çapı, N : Perv. hızı	335–550 m/dk
Güç Yayma Oranı	P/V	P : Tüketilen ortalama güç V: Birim hücre hacmi	0.5–0.2 kw/m
Güç Oranı	P_{al}/P_1	P_{al} : Havaalı ortamda güç tüketimi P_1 : Havasız ortamda güç tüketimi	

3.3 Flotasyon Makineleri için Hidrodinamik Oranlar

Hidrodinamik olaylar flotasyon verimini çok etkilemektedir. Flotasyon hidrodinamiği Çizelge 4’de verilen bir grup numaralarla ifade edilmektedir (Arbiter vd, 1969; Schubert and Bischofberger, 1978; Kaya 1986a).

Çizelge 4. Hidrodinamik numaralar (Kaya, 2010).

Grup Numarası	Denklem	Tanım	Özellikler	Aralık
Weber Numarası	$We = \frac{\rho N^2 D^3}{\gamma}$	İç Kuvvetler Yüzey Gerilimi Kuvveti	Hava dağıtım kapasitesini etkiler	
Hava Akış Numarası	$A_n = \frac{Q}{ND^3}$	Hava Miktarı Pervane Çevre Hızı	Yükselme hızı-hız	0.01-0.2
Reynolds Numarası	$Re = \frac{\rho ND^2}{\mu}$	İç Kuvvetler Viskozite Kuvveti	Akış rejimleri arasındaki geçişi ifade eder	10^6-7*10^6
Güç Numarası	$P_n = \frac{P}{\rho N^3 D^5}$	Uygulanan Kuvvetler İç Kuvvetler		0.5-5
Froude Numarası	$F_n = \frac{N^2 D}{g}$	İç Kuvvetler Gravite Kuvveti	Süspansiyon sağlamanın bir ölçüsüdür	0.1-5

ρ : Ortam yoğunluğu (t/m³), N : Pervane hızı (dev/dk), D : Pervane Çapı (m),
 μ : Ortam viskozitesi (Pa/sn), γ : Yüzey gerilimi (N/m²), Q : Hava miktarı (m³/dk),
P : Güç tüketimi (kws/m), g : Yer çekimi ivmesi (m/sn²),

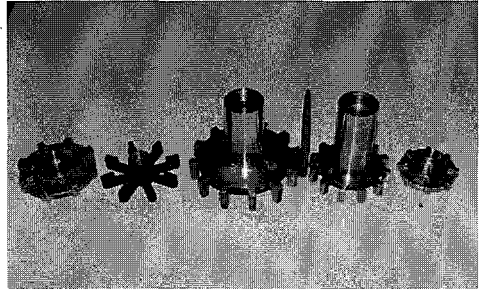
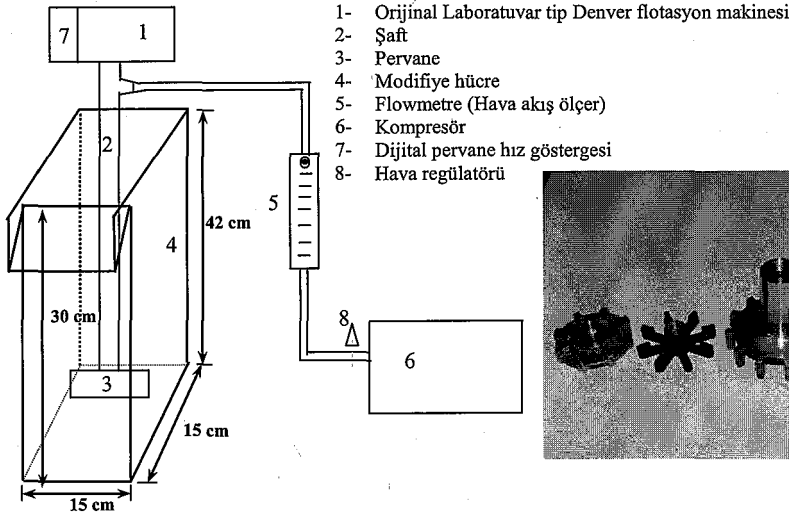
4. DENEYSEL TASARIM VE ÇALIŞMALAR

4.1 Deney Düzeneği

Deneysel çalışmalar orijinal laboratuvar tip Denver Flotasyon makinesinde gerçekleştirilmiştir. Modifiye Flotasyon Hücresi (MH) Denver 5L hücresine benzer şekilde, kesit alanı 15x15 cm olan buna karşılık hücre boyu yerden 30 cm yükseltilmiş ve peliksizglasdan üretilmiş bir hücredir. Deney düzeneği, hücrenin boyutları ve pervane şekilleri Şekil 3'de gösterilmektedir. Deneysel çalışmalarda kullanılan düzeneğin derin bir pülp ve köpük bölgesi oluşturması, sakin bir pülp-köpük arayüzeyi meydana getirmesi ve etkin karıştırma için kanatlı pervaneden yararlanılması gibi üstünlükleri vardır (Bentli, 2000).

Modifiye flotasyon hücresinde kendiliğinden havalandırmalı ve hava üflemleri olarak pervane tipi, pervane hızı, hava miktarı ve köpürtücü miktarları için geometrik, mekanik ve hidrodinamik olaylar araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda, Modifiye Hücre (MH), 4.5 lt'lik Orijinal Büyük (OBH) ve 3 lt'lik Orijinal Küçük (OKH) hücre olmak üzere üç farklı tipte hücre ve bununla beraber pervane şeklinin bu oranlara etkisini görebilmek amacıyla Kanatlı Pervane (KP), Orijinal Büyük (OBP) ve Orijinal Küçük Pervane (OKP) olmak üzere üç çeşit pervane denenmiştir.

Denver flotasyon makinesinde pervane hızı, hücre büyüklüğüne ve pervane çapına bağlı olarak değişir. Pervane hızı arttıkça, hücreye hava çekiş miktarı da artmaktadır. Yüksek hız fazla enerji tüketimine neden olacağından, hızı arttırmak yerine, az bir basınçla hava göndermek daha faydalı olmaktadır.



Şekil 3. Flotasyon deneylerinde kullanılmak üzere tasarlanan deney düzeneği ve kullanılan pervanelerin ve şaftların görünüşü (Bentli, 2000).

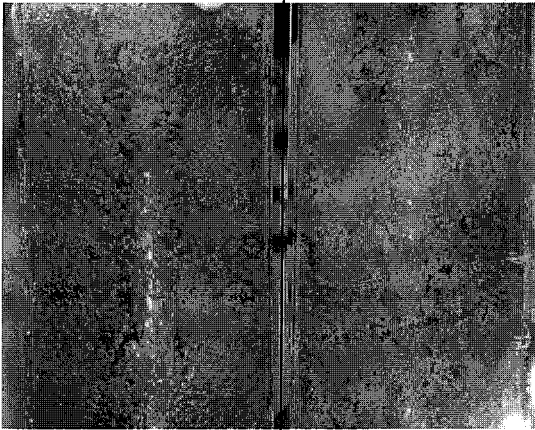
4.2 Hidrodinamik Olaylar

4.2.1 Kabarcık boyutu

Şekil 4'de modifiye hücre içerisinde hava-su sistemi için 900 dev/dk pervane hızında farklı hava akış miktarında köpürtücü verilmeden gerçekleşen kabarcık boyutlarının fotoğrafı gösterilmektedir. Fotoğraflar görüldüğü gibi hava miktarı arttırıldıkça kabarcık boyutları arasında belirgin bir farklılık tespit edilmiştir. 2 lt/dk hava hızında kabarcıklar hücre içine daha homojen bir şekilde yayılmışken kabarcıkların boyutları 5-9 mm, 8 lt/dk hava hızında ise kabarcık boyutları 3-5 mm arasında ölçülmüştür. Bu durum kaba, temizleme ve süpürme devreleri için istenen şartların sağlanabileceğini göstermektedir.

4.2.2 Atmosferden hava kapma

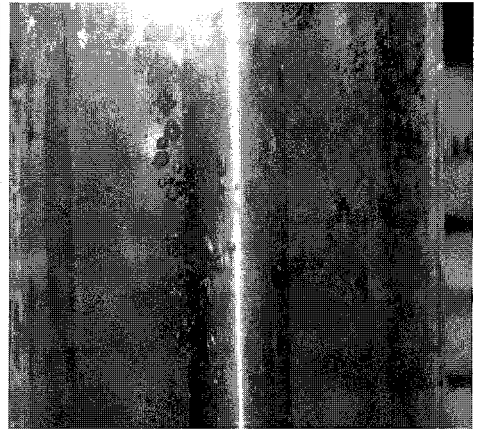
Kanatlı pervanede düşük hızlarda bile atmosferden hava kapma görülürken diğer pervanelerde tespit edilememiştir. Bu da kanatlı pervane ile daha düşük hızlarda çalışılabileceğini göstermektedir. Şekil 5'de hava kapmanın modifiye hücrede resmi gösterilmektedir.



a) 2 lt/dk

b) 8 lt/dk

Şekil 4. Hava-su sisteminde 900 dev/dk pervane hızı için, a) 2 lt/dk ve b) 8 lt/dk hava akış miktarlarında kabarcıkların durumları.

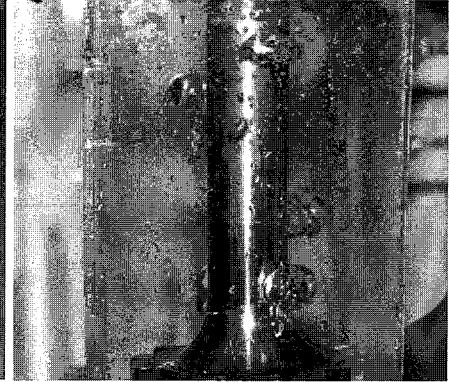


Şekil 5. Köpürtücü ve hava verilmeksizin 900 dev/dk'da kanatlı pervaneye atmosferden hava kapmanın görünümü (Bentli, 2000).

4.2.3 Pervane ve hücre tabanı arasında hava boşluğunun (Kavitasyon) meydana gelmesi ve düşük pervane hızlarında kanallanma

Flotasyon hücresinde pervane dönüşü esnasında, dönen pervane ve hücre tabanı arasında çok büyük bir kesme kuvveti (shear stress) meydana gelmektedir. Bu nedenden dolayı pervane altında hava boşluğu oluşmaktadır. Şekil 6'da pervane altında meydana gelen hava boşluğu görülmektedir. Hava boşluğunun (air gap) maksimum çapı yaklaşık 4-5 cm kadardır.

Hava boşluğu küçük bir girdapla başlamaktadır ve pervanenin altında büyük bir sıkıştırılmış küre olarak gelişmektedir. Pervane hızı artırıldığında, hava boşluğu sıkıştırılmış bir elipsoide doğru değişim göstermektedir. Hava boşluğu, şiddetli dönmenin neden olduğu elipsoid kürelerden büyük kabarcıklar çıkmasına neden olmaktadır. Hava kabarcığının bulunuşu büyük kabarcık üretimi nedeniyle mahzurludur. Bu durumun tam aksine Şekil 7’de ise düşük pervane hızlarında havanın yeterince dağıtılamaması nedeniyle gerçekleşen kanallanma (flooding) görülmektedir.



Şekil 6. Köpürtücü ve hava verilmeden 900 dev/dk’da kanatlı pervanenin altında hava boşluğunun meydana gelişi.

Şekil 7. Modifiye hücrede düşük pervane hızlarında (500dev/dk) gerçekleşen kanallanma.

4.3 Çalışma Şartları İçin Geometrik, Mekanik ve Hidrodinamik Numaralar

Flotasyon hücrelerinde en önemli hidrodinamik parametreler gaz holdup (tutunum) ve kabarcık boyutunun belirlenmesidir. Modifiye hücre ile gaz holdup ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Bentli ve Kaya, 2002). Bu çalışmada hesaplanarak elde edilen geometrik oranlar Çizelge 5’de, mekanik oranlar Çizelge 6’da ve hidrodinamik numaralar ise Çizelge 7’de verilmektedir. Hesaplanan değerler modifiye hücre (6.25 lt), orijinal büyük ve küçük hücre, kanatlı pervane, orijinal büyük ve küçük pervane içindir. Aşağıda hesaplamalar sırasında kullanılan sabit ve değişken değerler verilmektedir.

Sabit Değerler:

Kanatlı ve büyük pervane çapı (D) = 0.094 m,

Küçük pervane çapı (D) = 0.072 m

Hücre genişliği (L) = 0.15 m

Kanatlı ve büyük pervane genişliği (b) = 0.015 m

Küçük pervane genişliği (b) = 0.01 m

k = 0.9 ve n = 2.62

Modifiye hücre kesit alanı (S_{MF}) = 0.15 m x 0.15 m

Orijinal büyük hücre kesit alanı (S_{OBH}) = 0.16 m x 0.16 m

Orijinal küçük hücre kesit alanı (S_{OKH}) = 0.14 m x 0.14 m

Tüketilen ortalama güç (P) = 0.75 kwh

Ortam yoğunluğu (ρ_l) = 1000 kg/m³

Yüzey gerilimi (γ_{su}) = 72.8 N/m²

Yüzey gerilimi ($\gamma_{su-köpürtücü}$) = 35 N/m²

Dinamik vizkozite (μ) = 0.005 (25 °C)
Yerçekimi ivmesi (g) = 9.81 m/sn²

Değişken Değerler:

Pervane hızı (N) = 700, 900, 1100, 1300 dev/dk

Hava akış oranı (Q) = 2, 4, 6, 8 lt/dk

Köpürtücü miktarı = 8, 16, 24, 32 ppm

Pervane şekli = Kanatlı, orijinal büyük ve küçük pervane

Çizelge 5. Flotasyon makinesi, modifiye hücre ve pervaneler için geometrik oranlar.

Hücre Şekli	İlişki	Pervane Şekli			
		KP ve OBP		OKP	
		Oran	Değer	Oran	Değer
Modifiye Hücre (MH)	Pervane-Hücre Oranı (D/L)	0.094/0.15	0.63	0.072/0.15	0.48
	Pervane Oranı (b/D)	0.015/0.094	0.16	0.01/0.072	0.14
	Hücre Hacmi-Boyut İlişkisi ($V = k * L^n$)	$0.9 \times 0.15^{2.62}$	6.25 lt	$0.9 \times 0.15^{2.61}$	6.4 lt
Orijinal Büyük Hücre (OBH)	Hücre Alanı-Hacmi Oranı (S/V)	225/6250	0.036	225/6400	0.035
	Pervane-Hücre Oranı (D/L)	0.094/0.16	0.59	0.072/0.16	0.45
	Pervane Oranı (b/D)	0.015/0.094	0.16	0.01/0.072	0.14
	Hücre Hacmi-Boyut İlişkisi ($V = k * L^n$)	$0.8 \times 0.16^{2.84}$	4.35 lt	$0.8 \times 0.16^{2.85}$	4.25lt
Orijinal Küçük Hücre (OKH)	Hücre Alanı-Hacmi Oranı (S/V)	256/4350	0.06	256/4250	0.06
	Pervane-Hücre Oranı (D/L)	0.094/0.14	0.67	0.072/0.14	0.51
	Pervane Oranı (b/D)	0.015/0.094	0.16	0.01/0.072	0.14
	Hücre Hacmi-Boyut İlişkisi ($V = k * L^n$)	$0.8 \times 0.14^{2.86}$	2.9 lt	$0.8 \times 0.14^{2.87}$	2.8 lt
	Hücre Alanı-Hacmi Oranı (S/V)	196/2900	0.07	196/2800	0.07

Çizelge 6. Flotasyon makinesi, modifiye hücre ve pervaneler için mekanik oranlar.

Hücre Şekli	İlişki	Pervane Hızı (dev/dk)	Pervane Şekli			
			KP ve OBP		OKP	
			(m/dk)	(Kwh/lt)	(m/dk)	(Kwh/lt)
Modifiye Hücre (MH)	Pervane Çevre Hızı (s)	700	206.7	0.055	158.3	0.029
	$s = \pi D N$	900	265.8	0.078	203.6	0.042
		1100	324.8	0.105	248.8	0.067
		1300	383.9	0.120	294.1	0.086
Orijinal Büyük Hücre (OBH)	Güç Yayma Oranı (P/V)		0.75/6.25	0.12	0.55/6.4	0.086
	Pervane Çevre Hızı (s)	700	206.7	0.048	158.3	0.020
	$s = \pi D N$	900	265.8	0.071	203.6	0.037
		1100	324.8	0.102	248.8	0.054
		1300	383.9	0.115	294.1	0.082
Orijinal Küçük Hücre (OKH)	Güç Yayma Oranı (P/V)		0.5/4.35	0.115	0.35/4.25	0.082
	Pervane Çevre Hızı (s)	700	206.7	0.042	158.3	0.015
	$s = \pi D N$	900	265.8	0.055	203.6	0.032
		1100	324.8	0.073	248.8	0.046
		1300	383.9	0.103	294.1	0.078
	Güç Yayma Oranı (P/V)		0.3/2.9	0.103	0.22/2.8	0.078

Çizelge 7. Flotasyon makinesi, modifiye hücre ve pervaneler için hidrodinamik numaralar.

Hücre Şekli	Grup Numarası	Pervane Hızı (dev/dk)	Hava Miktarı (lt/dk)	Pervane Şekli KP ve OBP	OKP
Modifiye Hücre (MH)	Weber Numarası	700	---	Köpürtücüsüz We=5.59	Köpürtücüsüz We=2.51
				Köpürtücü We=11.63	Köpürtücü We=5.23
	$We = \frac{\rho N^2 D^3}{\gamma}$	900	---	Köpürtücüsüz We=9.24	Köpürtücüsüz We=4.15
				Köpürtücü We=19.22	Köpürtücü We=8.64
		1100	---	Köpürtücüsüz We=13.81	Köpürtücüsüz We=6.20
				Köpürtücü We=28.71	Köpürtücü We=12.90
Orijinal Büyük Hücre (OBH)		1300	---	Köpürtücüsüz We=19.28	Köpürtücüsüz We=8.66
				Köpürtücü We=40.11	Köpürtücü We=18.02
	Hava Akış Numarası	700	2	0.0034	0.0077
			4	0.0069	0.0153
			6	0.0103	0.0230
			8	0.0138	0.0306
Orijinal Küçük Hücre (OKH)	$A_n = \frac{Q}{ND^3}$		10	0.0172	0.0383
		900	2	0.0027	0.0060
			4	0.0054	0.0119
			6	0.0080	0.0179
			8	0.0107	0.0238
			10	0.0134	0.0298
		1100	2	0.0022	0.0049
			4	0.0044	0.0097
			6	0.0066	0.0146
			8	0.0088	0.0195
			10	0.0110	0.0243
		1300	2	0.0019	0.0041
			4	0.0037	0.0082
			6	0.0056	0.0124
			8	0.0074	0.0165
			10	0.0093	0.0206
Reynolds Numarası		700		$1.237 \cdot 10^6$	$0.257 \cdot 10^6$
		900		$1.590 \cdot 10^6$	$0.933 \cdot 10^6$
		1100		$1.944 \cdot 10^6$	$1.140 \cdot 10^6$
		1300		$2.297 \cdot 10^6$	$1.348 \cdot 10^6$
	$Re = \frac{\rho ND^2}{\mu}$				
Froude Numarası		700		1.30	1.00
		900		2.16	1.65
		1100		3.22	2.47
	$F_n = \frac{N^2 D}{g}$	1300		4.49	3.45

5. SONUÇLAR

Flotasyon ile zenginleştirmede yüksek verim ve tenörde konsantr elde etmek için, yüzey ve kolloid kimyası, süspansiyon dengesi gibi mikro düzeyde incelenen özellikler kadar makro açıdan incelenen flotasyon makine tasarımı, devre tertibi, hidrodinamik, kinetik olaylar ve mekanik değişikliklerin test edilmesi gereklidir. Flotasyonla zenginleştirilecek cevherin başarısının artırılması hücrenin hidrodinamik olayların iyi bilinmesi ile mümkündür. Aslında flotasyon hidrodinamiği önemli bir parametre iken birçok kez araştırmacılar tarafından test edilmemektedir. Araştırma esnasında tasarlanabilecek değişikliklerle, verimde %1-5 arasında iyileşmeyle ekonomikklik artırılabilir. Deneysel çalışmalarda tasarlanan düzeneğin iyi anlaşılması sayesinde, özellikle sert linyit flotasyonunda, orijinal hücrelere göre daha iyi performans sağlandığı tespit edilmiştir. Örneğin Değirmisaz linyit kömürleri orijinal hücrede %30.32 küllü lave %77.57 yanabilir verimle kazanılırken, modifiye hücrede %27.26 küllü lave %81.09 yanabilir verimle yüzdürülmektedir (Bentli ve Kaya, 2004).

Son yıllarda flotasyon kullanan işletmeler, flotasyon makinelerini kolay kontrol edilebilir hale getirmekte, hacimlerini arttırmak ve işletme maliyetlerini azaltmaktadırlar. Flotasyon makine tasarımını gerektiren diğer nedenler, kompleks ve ince taneli cevherlerin değerlendirilme isteği, çevresel kaygılar, artan artık miktarları gibi nedenlerdir.

KAYNAKLAR

- Akar A.** (1985) *Cevher Hazırlama Tesis ve Dizaynı*, Dokuz Eylül Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. MM/MAD-85 EY 01, İzmir, 271 s.
- Amand, F.J.S.** (1999) Hydrodynamics of deinking flotation, *International Journal of Mineral Processing*, Vol.56, No.1-4, pp 277-316.
- Arbiter, N., Harris, C.C. and Yap, R.F.** (1969) Hydrodynamics of flotation cells, *AIIME Transactions*, Vol. 244, pp 134-148.
- Ata S. ve Önder Y.Ü.** (1997) Yeni bir flotasyon teknolojisi: Jameson flotasyon hücresi, *Madencilik*, C. 36, No. 4, s 21-29.
- Atak, S.** (1990) *Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması*, İTÜ Vakfı Kitap Yayın No:34, İstanbul, 222 s.
- Aytekin, Y., Yamık, A. ve İpekoğlu, Ü.** (1988) Cevher hazırlama ve zenginleştirmedeki gelişmeler, *Akdeniz Üniversitesi Isparta Müh. Fak. Dergisi*, Maden Müh. Seksiyonu, Yamık (ed), S. 1, Isparta, s 1-13.
- Bentli, İ.** (2000) *Flotasyon Makine Tasarımı*, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir, 215 s.
- Bentli, İ. ve Kaya, M.** (2000) Flotation hydrodynamics, *8th Int. Mineral Processing Symp. Mineral Processing on the Verge of the 21st Century*, Özbayoğlu, Hoşten, Atalay, Hiçyılmaz, Arol (Eds), Antalya, 263-268.
- Bentli, İ. ve Kaya, M.** (2004) Kütahya-Değirmisaz -0.5 mm linyit kömürünün modifiye flotasyon hücresinde zenginleştirilmesi, *Türkiye 14.Kömür Kongresi*, Aydın, Çolak (Eds), Zonguldak, s. 229-237.
- Bischofberger, C. and Schubert, M.** (1996) On the microprocesses air dispersion and particle-bubble attachment in flotation machines, *Aufbereitungs Technik*, Vol. 37, No. 5, pp 193-202.
- Gorain, B.K., Franzidis, J.P. and Manlapig, E.V.** (1997) Studies on impeller type, impeller speed and air flow rate in an industrial scale flotation cell: effect of bubble surface area flux on flotation performans, *Minerals Engineering*, Vol. 10, No. 4, pp 367-379.

- Harris C.C.** (1976) Flotation machines in flotation, *Gaudin Memorial Volume, SME-AIME*, Vol. 2, pp 753-815.
- Harris C.C. and Khandrika S.M.** (1985) Flotation machine design: impeller-stator interaction, *Powder Technology*, Vol. 43, pp 273-278.
- Harris C.C. and Lepetic V.** (1966) Flotation cell design, *Society of Mining Engineering*, September, pp 67-72.
- Jameson, G.J.** (2010) New directions in flotation machine design, *Minerals Engineering*, Vol. 23, No.11-13, pp 835-841.
- Kaya M. and Laplante A.R.** (1986a) Investigation of batch and continuous flotation kinetics in a modified Denver laboratory cell, *Canadian Metall. Quarterly*, Vol.25, No.1, pp1-8.
- Kaya M. and Laplante A.R.** (1986b) Factors influencing design, hydrodynamics, mixing, residence time distribution, scale-up, selection and sizing of mechanical flotation machines, *Mineral Separation Systems*, Seminar, McGill University 32 p.
- Kaya, M.** (2010) Flotasyon El Kitabı, *Osmangazi Üni. Müh.-Mim. Fak.*, Eskişehir, 200 s.
- Kaya, M. and Kurama, H.** (1999) The role of flotation in waste recycling/recovery, 8th *Balkan Mineral Processing Conference*, Belgrade, Yugoslavia, pp 729-736.
- Kaya, M. and Laplante, A.R.** (1989) Froth washing in mechanical flotation cells, 21st *Canadian Mineral Processors Meeting (CMP)*, pp 497-541.
- Koivistoinen P.** (1991) High grade flotation machine, 17th *International Mineral Processing Congress*, Dresden, Almanya, pp 227-235.
- Leskinen, T.** (1998) Large cell flotation improved beneficiation, *Industrial Minerals*, July, pp 55-57.
- Nelson, M. G. and Lelinski, D.** (2000) Hydrodynamic design of self-aerating flotation machines, *Minerals Engineering*, Vol. 13, No.10-11, pp 991-998.
- Önal G., Acarkan, N. ve Güney A.** (1996) Cevher hazırlamadaki yeni gelişmeler, 21.Yüzyıla Girerken Türkiye Madenciligi, Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas, s 157-170.
- Öteyaka B. and Soto, H.** (1992) Modelling of negative bias column for coarse particle flotation, *Proceedings of 4th Int. Proc. Sym.*, Özbayoglu (ed.), Antalya, Turkey, V:1, pp 315-326.

- Parga, J.R., Mercado, H., Ojeda, H. and Salazar, A.** (1996) New flotation cell for precious metal recovery, *Changing Scopes in Mineral Processing*, Kemal, Akar, Canbazoglu (eds), Balkema, pp 365-370.
- Podobnik, D.M., Dunstan, P.L. and Lawrence, G.A.** (1985) Performance characteristics of large flotation mechanisms operating in a copper slime circuit, *Aufbereitungs Technik*, Vol. 11, pp 652-659.
- Ross, V.E.** (1997) Particle-Bubble attachment in flotation froths, *Minerals Engineering*, Vol.10, No. 7, pp 695-706.
- Schubert, H.** (2008) On the optimization of hydrodynamics in fine particle flotation, *Minerals Engineering*, Vol.21, No.12-14, pp 930-936.
- Schubert, M. and Bischofberger, C.** (1978) On the hydrodynamics of flotation machines, *Int. Journal of Mineral Processing*, Vol. 5, Elsevier, pp 131-142.
- Şahbaz O., Demir, U., Karagüzel, C., Çınar, M., Uçar, A. ve Kelebek Ş.** (2007) Flotasyon makineleri ve özellikleri: Genel bir bakış, *1.Maden Makineleri Sempozyumu*, Kütahya, s 47-60.
- Wills, B.A.** (1988) *Mineral Processing Technology*, Pergamon Press 4th Edition, New York, 584 p.
- Yoon R.H.** (1991) Hydrodynamic and Surface Forces in Bubble-Particle Interactions, *17th International Mineral Processing Congress*, Dresden, Germany, pp 17-31.
- Young P.** (1982) Flotation machines, *Mining Magazines*, January, pp 35-59.

BANTLI KONVEYÖRLERİN EMNİYETLİ VE DAHA VERİMLİ İLETİMİ

SAFER AND MORE PRODUCTIVE BELT CONVEYOR OPERATIONS

Michael TENZER, *Martin Engineering, Walluf, Almanya*

İlker TAN, Oğuzhan CEMOĞLU, *Martin Engineering, İstanbul*

ÖZET

Maden işletmelerinde ihtiyaç duyulan daha emniyetli, daha temiz ve daha üretken bantlı konveyör işletilmesi işletmeler için oldukça önemlidir. Bantlı konveyörlerde iş emniyeti, toz – döküntü problemleri çözümleri, bant kaymasının sebepleri ve çözümleri, transfer noktaları ve şut dizaynları, bantlı konveyörlerin bakımı gibi konular da bu anlamda doğru uygulamalarla değerlendirilmelidir.

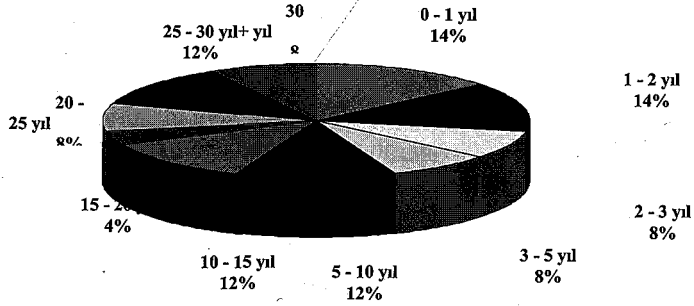
ABSTRACT

More cleaner, safer and productive necessity for mines of belt conveyor operations are quite important for mining administrations. In belt conveyors, work safety, solution of dust-spillage problems, the reason of mistracking and solutions, transfer points and shot designs, maintenance must be evaluated correctly.

1. BANTLI KONVEYÖRLERDE İŞ EMNİYETİ

Bantlı konveyörler çevresinde yaşanan iş kazaları maden işletmelerinde yaşanan iş kazalarının arasında en önde gelenlerdendir. Bantlı konveyörler sektörde çok yaygın bir kullanıma sahip olduğu için genellikle bantlı konveyör etrafında rahat ve tedbirsiz davranışlar sıklıkla gözlemlenmektedir. Örneğin 2,2 m/s hızla çalışan bir bantta elindeki bir metal alet ile tahrik tamburuna yapışmış malzemeyi temizlemek isteyen işçi elindeki metal aleti sıkıştırır ise; elinin tepki hızını saniyenin dörtte üçü kabul ederse, işçinin eli aleti bırakmadan önce 1,6 metre hareket eder. Böyle bir durumda işçi en iyi ihtimalle sakat kalarak yaşamını sürdürebilir.

2004 yılında Amerika Maden Bürosu'nun maden işletmelerinde yaptığı bir araştırma bantlı konveyörlerin ne kadar tehlikeli ekipmanlar olduğunu göstermiştir. Aşağıdaki tabloda (Şekil 1) görüldüğü üzere iş tecrübesinin az ya da çok olması bantlı konveyörlerle ilgili iş kazalarının gerçekleşmesinde azaltıcı bir rol oynamadığını açıkça göstermiştir. 0-1 yıl arasında iş tecrübesine sahip bir çalışan ile 25-30 yıl arasında iş tecrübesine sahip çalışan hemen hemen aynı oranda bantlı konveyörle ilgili iş kazasına maruz kalmıştır.

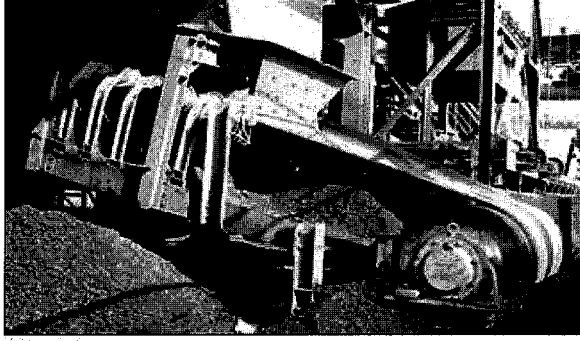


Şekil 1. İş tecrübesine göre bantlı konveyör iş kazası oranları.

İşletmeler bantlı konveyörlerin güvenli olarak işletilebilmesi için kusursuz bir emniyet yönügeresine ve filozofisine sahip olmalıdır.

2. TAŞINAN MALZEMENİN KONTROLÜ

Konveyörlerde taşınırken kaçan malzeme pek çok tesiste günlük rastlanan bir olaydır. (Şekil 2). Transfer noktalarındaki döküntü veya toz çıkışı; bandın boşaltma noktasından sonra banda yapışan ve daha sonra konveyör dönüşünde geri taşınan malzeme, hava akımı içerisindeki toz ve bandın yükleme bölgesinde bant üzerine dökülen malzemenin bant ile şut duvarı arasından konveyör etrafına dökülmesi ile ortaya çıkar. Geri taşınan malzeme konveyörün altına düşerken, döküntüler yanlara düşer, toz ise konveyörün üzerindeki bileşenler de dahil olmak üzere her şeyin üzerine birikir.



Şekil 2. Transfer noktalarında kaçak malzeme.

Konveyörler ilk kullanıldıklarından beri tesislerde kaçak malzemeler olmuştur. Dolayısıyla onların varlıkları işin bir parçası olarak kabul edilmektedir. Çalışanlar, malzeme iletim sistemlerinden kaçan malzeme sorununa, bıkmış bir halde bakabilirler. Bunun kirlilik ve tehlike olduğunu bilirler, ancak bunu kontrol etmek için etkili, pratik ve etkin sistemleri bulamamışlardır. O yüzden, problemleri transfer noktalarından ve tesis içindeki diğer kaynaklardan gelen döküntü ve tozu, işlerin rutin ve değiştirilemez bir gidişi olarak kabul etmişlerdir. Kaçak malzeme tesisin çalıştığının bir işareti haline gelmiştir: “para kazanıyoruz, dolayısıyla kaçak malzeme var.”

Bir zamanlar, kirlilik (ister bacalardan, ister transfer noktalarından gelsin) endüstriyel gücün bir işareti olarak görülürdü. Ancak şimdi bu sorunlar kötü yönetim ve israfın bir göstergesi olarak biliniyor. Aynı zamanda, bu kirlilik verimlilikte ve nihai sonuçların iyileştirilmesinde bir fırsat sunmaktadır.

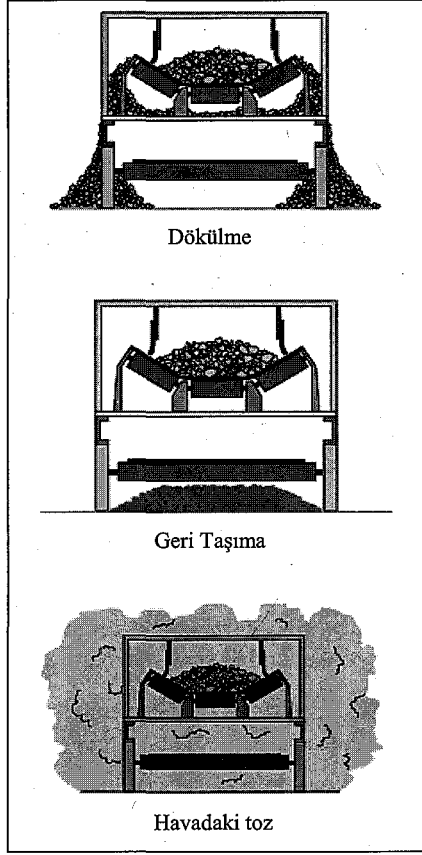
Kontrol edilmeden bırakıldıklarında, kaçak malzemeler bir konveyörün (ve dolayısıyla bir tesisin) verimliliği, üretkenliği ve karlılığı üzerinde sürekli artan bir kaybı temsil eder. Konveyör sisteminden kaybedilen malzemeler tesise pek çok maliyet çıkarır. Aşağıdakiler bunlardan birkaç tanesidir.

2.1 Azalan İşletme Verimi

Herhangi bir işletmedeki en pahalı malzemenin banttan dökülen malzeme olduğu söylenir. Bantlı konveyörlerde malzeme kaçağı olduğunda, toplanması ve sisteme yeniden yerleştirilmesi gerekir. Artıklar genel maliyetleri ve dolayısıyla da üretim maliyetini artırır. Döküldükten sonra, malzemenin bantta tekrar taşınması daha zor ve daha pahalıdır.

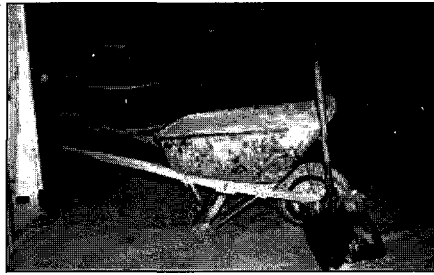
2.2 Artan Konveyör Bakım Masrafları

Bir konveyörden malzeme kaçması, konveyör sisteminin kendisinde bazı sorunlara yol açar. Sorunlar, sık servis ve bileşenlerin değiştirilmesi gibi bakım maliyetlerini artırır.



Şekil 3. Toz ve döküntü problemi.

İlk ve en belirgin ek masraf, temizlik maliyetidir. Bu maliyet malzemeyi kürekleyen veya süpüren ve bunu banda geri yerleştiren personel masrafını da içerir (Şekil 4). Takip etmesi daha zor olan, ancak dahil edilmesi gereken bir faktör de, personel dikkatini temizliğe verdiği için gerçekleştirilemeyen diğer işlerin maliyetidir. Bant hattının temizlenmesi gereksinimi dolayısıyla diğer önemli bakım faaliyetleri gecikebilir.



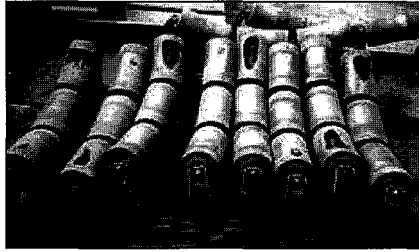
Şekil 4. Kaçak malzemenin temizlenmesi.

Malzeme kaçarken, çeşitli konveyör bileşenleri ve yakındaki diğer ekipmanlar üzerinde birikir. Makaralar kilitlendiklerinde veya malzemelerin altında gömülü kaldıklarında bozulurlar (Şekil 5). Yatak üzerindeki sızdırmazlık elemanları ne kadar iyi olursa olsun, ince malzemeler eninde sonunda bunların arasından makara yatağına gireceklerdir. Yataklar takıldıklarında, bandın sabit çalışması sonucu şaşırtıcı bir hızla makara dış yüzeyini kesecektir. Bu da takılan makara üzerinde bandın yumuşak alt tarafına kötü hasar verebilecek ustura keskinliğinde bir kenar oluşturur (Şekil 6). Bu “kilitlenmiş” makaralar ve tamburlar da bandın sürtünmesini artırarak, konveyörün güç tüketimini büyük ölçüde artırırlar.

Kaçak malzemelerle karşılaşan makaralar bazen beklenen aşınma ömürlerinden önce değiştirilirler. Bu da ekipman masrafları, montaj için ilave işgücü masrafı ve yapılmayan üretim masrafı cinsinden ek masraflar getirir.



Şekil 5. Kaçak malzeme ve yükleme bölgesi.



Şekil 6. Bandın aşınan makaralarından bir görünüm.

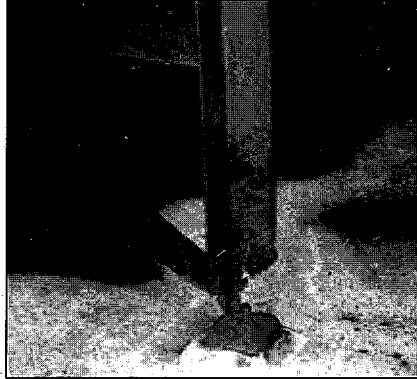
Başka bir tehlike de tamburların ve makaraların yüzeyinde malzeme birikmesinin bandın merkezden dışarı kaymasına neden olabilmesidir. (Şekil 7). Bant ana şaseye sürtünebilir, hatta kendi üzerine kıvrılabilir. Bu durum hemen fark edilmez ise, hasar değerli bandın büyük uzunluklarını mahvedebilir, hatta ana şaseye, rulo istasyonlarına zarar verebilir. Malzemelerin dönen bileşenler üzerinde birikmesi bant kaymasına, bu da bandın ve diğer ekipmanların zarar görmesine ve personel yaralanması tehlikesine yol açabilir. Bant kayması aynı zamanda üretimde kesintiler de yaratır, çünkü bandın durdurulması, tamir edilmesi ve çalışmaya yeniden başlamadan önce yeniden hizalandırılması gerekir.



Şekil 7. Malzeme birikmesi, makara arızaları ve bant kayması.

Bu sorunların en rahatsız edici yanı, kendilerini tekrar eder duruma gelmeleridir. Dökülme makaralar üzerinde birikmelere yol açar; bu bandın hattan çıkmasına neden olur; bu da daha fazla dökülmeye neden olur.

Başka istenmeyen durum ise, kaçak malzemelerin bir soruna yol açıp, sonra da bunun belirtilerini gizlemesidir. Örneğin, nemli malzemelerin konveyör yapısı etrafında birikmesi paslanmayı hızlandırırken, aynı zamanda tesis personelinin sorunu gözlemlemesini zorlaştırabilir (Şekil 8). En kötüsü düşünülürse, bu felaketle sonuçlanabilecek bir hasara yol açabilir.



Şekil 8. Kaçak malzemelerin tesis zemininde birikmesi.

2.3 Azalan Tesis Güvenliği

Endüstriyel kazalar, hem personel sağlığı hem de üretim hacmi ve verimi açısından çok maliyetlidir.

2.4 Çalışanların Morali

Bir kişinin işiyle ilgili belirli ayrıntıları, işyerinden aldığı tatmin miktarını büyük ölçüde etkilerken, fiziksel ortam da bir işçinin çalışma yerine karşı olan duygularını etkiler. Temiz bir tesis, kişinin işyeri hakkında övünmesini kolaylaştırır. Sonuç olarak,

çalışanların morali daha iyi olur. Daha yüksek moralli işçilerin işe zamanında gelmeleri ve görevlerinde daha iyi çalışmaları daha olasıdır. Eğer iş yerleri, örnek gösterebilecekleri bir yerse, insanlar gurur duyma eğilimi gösterirler ve orayı bu şekilde tutmaya çalışırlar.

2.5 Azalan Kalite

Kaçak malzemeler tesisi, prosesi ve nihai ürünü kirletebilir. Yerden toplanan malzemeler bozunmaya veya kirlenmeye maruz kalmış olabilirler. Malzemeler hassas ekipmanlar üzerinde birikerek sensör okumalarını ters etkileyebilir.

Ek olarak, kaçak malzemeler tesis kalitesinde negatif bir faktör oluşturur. Kaçak malzemeler, çalışanların genel çabaları için kötü bir örnek teşkil eder. Son yıllarda popülerleşen, herhangi bir şirket "Toplam Kalite" sinin veya kalite iyileştirme programlarının evrensel ve en temel ilkesi, her görevin her kısmının, kalite standardını sağlayacak şekilde gerçekleştirilmesidir. Eğer çalışanlar bir işlemin bantlı konveyör gibi bir parçasının verimsiz bir şekilde çalıştığını (etrafı berbat ettiğini, tesisin geri kalanını kaçak malzemelerle kirlettiğini) görürlerse, kusursuz performanstan daha azını kabullenmeye başlayacaklardır. Negatif bir tutum takınabilir ve sorumluluklarının yerine getirilmesinde daha gevşek veya dikkatsiz davranabilirler.

Kaçak malzemeler, şirket kalite programlarının ortadan kaldırmaya çalıştığı dikkatsizce uygulamaların gözle görülür bir örneğini oluştururlar.

2.6 Dış Baskı

Temiz bir işletme OHSAS, EPA ve diğer yasal mercilerin istenmeyen ilgisini daha az çeker ve çevre aktivite grupları için daha az hedef oluşturur. Bu da yasal cezaları, avukat ücretlerini ve halka ilişkiler programlarına olan gereksinimi azaltarak, maliyet tasarrufu sağlar.

2.7 Kaçak Malzeme Maliyeti Hakkında Araştırma

1989 tarihli, *Dökme Malzeme İşleme Tesislerindeki Toz, Kir ve Dökülmenin Maden Endüstrisine Maliyeti* başlıklı bir rapor, Birleşik Krallık'ta alüminyum, kok kömürü, kireç taşı, çimento ve porselen kili işleyen sekiz tesisi incelemiştir. Makine Mühendisleri Birliği için düzenlenen bu araştırma konveyör üzerinde taşınan her bir ton malzeme için, malzemede 10 kg bir kaybın yanı sıra, önemli miktarda ek maliyet masrafının bulunduğunu göstermiştir.

Bu genel maliyet dört bileşenin toplanmasıyla belirlenmiştir. Bu bileşenler aşağıdakileri içermektedir:

1. Kaybedilen malzemenin değeri (malzemenin yüzde biri olarak hesaplanır).
2. Dökülmenin temizlenmesi için harcanan işgücü maliyeti, ki bu her üretilen iş tonu başına ortalama 0.12 \$'dır.
3. Dökülmeden kaynaklanan ek bakım için parça ve işgücü maliyeti, ki bu her üretilen iş tonu başına ortalama 0.08 \$'dır.

4. Dökülen malzemenin yeniden işlenmesi, tozlu ortamlardan dolayı personelin gerekli tıbbi kontrollerinin maliyeti, vs belirli endüstrilere özgü özel maliyetler; bunlar her üretilen iş tonu başına ortalama 0.18 \$'a karşılık gelmektedir.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kaçak malzemelerin yarattığı maliyetler anlaşıldığında, konveyörlerdeki ve transfer noktalarındaki malzeme kontrolünün, bantlı konveyörler ve bu konveyörlere dayanan işlemler için büyük bir yarar sağlayacağı açıktır. Ama bu kontrolün gerçekleştirilmesinin güç, korunmasının ise daha da güç olduğu görülmüştür.

Bu durumda gerek duyulan, toplam malzeme kontrolü için planlı ve sürdürülen bir yaklaşımdır. Bu, çoğu işlem için maliyetleri azaltmak ve verimlilikle karlılığı arttırmak için bir fırsattır.

Toplam malzeme kontrolü, malzemeleri bant üzerinde ve sistem içerisinde tutmanız demektir. Malzemeyi ona ihtiyaç duyduğunuz yere, malzeme kaybı veya aşırı enerji kaybı, zamanından önce ekipman arızası veya aşırı bakım masrafı olmadan götürürsünüz. Toplam malzeme kontrolü tesis verimliliğini artırır ve işletme maliyetlerini azaltır.

Foundations Eğitim Programı ticari bir nitelik taşımamakla beraber, konveyör bantları ile ilgili yaşanan tüm sorunların nedenlerini çözümleri ile birlikte almaktadır.

Bu programı kapsamında;

- Kaçak malzemeyi kontrol altında tutarak bantlı konveyörlerin daha emniyetli ve verimli olarak işletilmesinin sağlanması
- İş emniyetinin önemi ve alınması gereken tedbirler
- Kaçak malzemenin kaynakları ,sebepleri ve kontrol altına alınması
- Bant hasarlarının ,bant kaymalarının sebepleri ve iyileştirme yöntemleri
- Dökülüş noktalarındaki malzeme kaçaklarının önlenmesi
- Dökülüş noktası dizaynında dikkat edilmesi gereken hususlar

anlatılmaktadır.

KAYNAKLAR

Swinderman, R. Todd And Marti, Andrew D. And Goldback, Larry J. (2002)
Foundations 3 "The Practical Resource for Total Dust & Material Control"
Library of Congress Number: 2002090139, Neponset, Illinois, USA, 216 p.

TÜRKİYE'DE KÖMÜR VE DOĞALTAŞ ÜRETİMİNDE KULLANILAN BAZI KAZI MAKİNELERİNİN PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

PERFORMANCE EVALUATION OF MECHANICAL EXCAVATORS EMPLOYED IN TURKISH COAL AND DIMENSION STONE INDUSTRY

Osman Zeki HEKİMOĞLU, *Muğla Üniversitesi, Müh. Fakültesi, Maden Müh. Böl.,
Kötekli, Muğla*

ÖZET

Mekanizasyon, pahalı yatırımına karşın yüksek üretim için kömür ve doğaltaş sektörünün vazgeçilmez ögesidir. Bu nedenle uzun vadede verimli çalışma için uygun makine seçiminin yapılması gerekir. Bu bildiride Türkiye'de kömür ve doğaltaş endüstrisinde kullanılan tamburlu kesici-yükleyiciler, döner kepçeli kazıcılar ve zincirli kollu mermer ve doğaltaş kesme makinelerinin bir performans değerlendirilmesi anlatılmaktadır. Bu makinelerle karşılaşılan sorunlar ve öneriler sunulmuştur. İncelemeler sonucunda anılan bu makinelerin orijinal keski dizilim düzeninin verimli bir kesme için yetersiz olduğu anlaşılmış ve bu nedenle değiştirilmesi önerilmiştir.

ABSTRACT

Mechanization, has been an inevitable means of unit operations in high-scale coal and dimension stone industry, though requiring high capital investment. Proper machine selection is, therefore, very important for the efficiency of long-term operations. This paper sets out a performance evaluation of mechanical excavators such as drum shearer loaders, bucket wheel excavators and chain saw machines, employed in Turkey for coal and dimension stone production, respectively. Drawbacks encountered with these machines are outlined and recommendations were given. It was concluded that the original pick lacing arrangements of the machines of these types need be modified for efficient and effective machine performance.

1.GİRİŞ

Endüstride makineleşme doğal olarak madencilik sektöründe de önemli ölçüde yer almıştır. Makineleşme ile madencilikte güvenlik ve konforun yanı sıra yüksek kapasiteli üretim elde edilmiştir. Madencilik sektöründe kullanılan makine ve donanımlar, işletilen ocağın büyüklüğüne uygun olacak şekilde çoğu kez sipariş üzerine yapılmaktadırlar. Bu nedenle madencilik endüstrisinde kullanılan makineler ve donanımların yatırım maliyetleri genel olarak, diğer endüstriyel sektörlerle oranla daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Madencilik sektöründe üretim projeleri yapılırken makine seçimi konusunda özen gösterilmesi bu bağlamda büyük önem taşımaktadır.

Türkiye’de madencilik endüstrisinde makine kullanımı önceki dönemlere oranla artış göstermiştir. Özellikle linyit işletmeciliğinde termik santrallerin talebini karşılamak amacıyla tam mekanize kömür üretim yöntemleri yaşama geçirilmektedir. Burada doğal olarak yüksek üretim kapasitesine sahip makine ve donanımların kullanımı söz konusu olmaktadır. Türkiye’de linyit üreten büyük kuruluşlarda yüksek kapasiteli mekanik kazı makineleri kullanılmaktadır. Yeraltında tam mekanize uzun ayak yönteminde kazı işlemleri tamburlu kesici ve yükleyiciler ile gerçekleştirilirken, açık ocak yöntemiyle üretim yapan bazı işletmelerde ise döner kepçeli kazıcıların kullanıldığı gözlenmektedir. Sözü edilen bu makinelerin ilk yatırım maliyetleri yüksektir. Mermer ve doğaltaş endüstrisinde, tel kesme yönteminin yanı sıra tungsten karbür keskiiler kullanarak ocakta üretim yapmaya uygun mekanik kesiciler kullanılmaktadır. Zincirli kollu kesme makineleri (Chain saw machines) olarak adlandırılan bu mekanik kazı makineleri yerüstü ve yer altı doğaltaş ve mermer üretiminde önemli kolaylık sağladıklarından ötürü çok kullanışlıdır. Bu makinelerin Türkiye’deki kimi mermer ve doğaltaş ocaklarında geniş kullanım alanı bulunduğu gözlenmektedir.

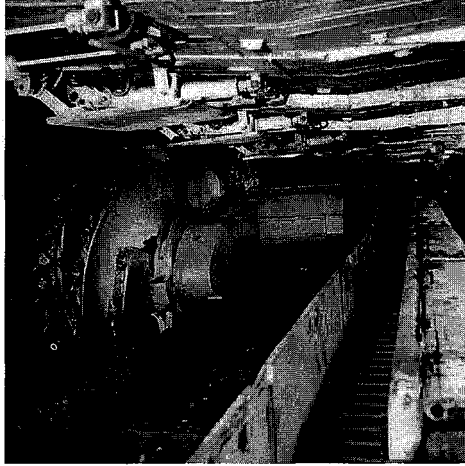
Kömür üretimi Türkiye’de özellikle termik santralleri beslemek amacıyla madencilik sektöründe önemli bir yere sahiptir. Ülkemizde yüksek üretim kapasiteli birçok kömür işletmeleri bulunmaktadır. Bu işletmelerde ilk yatırım maliyeti pahalı olan makine ve donanımlar kullanılmaktadır. Daha önce yapılan araştırmalarda tam mekanize uzun ayak yer altı üretim yöntemiyle çalışılan ocaklarda kullanılan tamburlu kesici ve yükleyiciler ile yerüstü kömür üretiminde kullanılan döner kepçeli kazıcıların (ekskavatörlerin), kesme performansları konusunda bazı sorunlarla karşılaşıldığı anlaşılmıştır.

Bunun yanı sıra yapılan gözlemler sonucunda, mermer ve doğaltaş endüstrisinde kullanılan zincirli kollu kesme makinelerinin performanslarında da bazı sorunların var olduğu anlaşılmıştır. Ülkemizde mermer ve doğaltaş üretimi ve teknolojisi, ulusal ekonomiye katma değer sunan önemli bir sektör haline gelmiştir. Yukarıda sözü edilen kömür ve doğaltaş endüstrisinde kullanılan makinelerin çalışma verimlerinin yükseltilmesi ve geliştirilmesi bu sektörler için kuşkusuz büyük yararlar getirecektir. Bu bildiride Türkiye’de kömür üretiminde önemli yeri olan tamburlu kesiciler ve döner kepçeli kazıcılar ile doğaltaş üretiminde kullanılan zincirli kollu kesme makinelerin kesme performansları konusunda karşılaşılan bazı sorunlar verilmiş ve getirilebilecek çözümler tartışılmıştır.

2. KÖMÜR ÜRETİMİNDE KULLANILAN MEKANİK KAZI MAKİNELERİ

2.1. Tamburlu Kesici-yükleyiciler

Bu makineler, tam mekanize uzun ayak yöntemiyle çalışan yer altı kömür işletmelerinin vazgeçilmez kazı makineleridir. Kesici tamburlar, kazdıkları kömürü yine bu tamburlar üzerindeki yükleme spiralleri yardımıyla üzerinde hareket ettiği ayak içi zincirli konveyörüne dökerler (Şekil 1). Boyut ve kapasiteleri kömür damarının kalınlığı ve işletmenin üretim miktarına bağlı olarak değişir. Günümüzde toplam kurulu motor güçlerinin 2000 kW değerini aştıkları ve damar eğimine bağlı olarak 5 m den yüksek damar kalınlıklarında kullanıldıkları gözlenmektedir. Çalışma ve makine parametrelerine bağlı olarak kesme hızları önceleri 6-7 metre/dakika civarında iken günümüzde 20 metre/dakika'yı geçtiği görülmektedir.



Şekil 1. Tamburlu kesici yükleyici (Eickhoff).

Tamburlu kesiciler gibi mekanik kesme yapan kazı makinelerinde makineye çeşitli konumlarda etkiyen kuvvetler keski-kömür ya da kayaç ara yüzeyinde oluşan kesme kuvvetlerinin büyüklüğüne ve doğrultularına bağlı olarak değişirler. Dolayısı ile verimli makine performansı için keski kuvvetlerinin etkin şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Keski kuvvetlerinin kontrolü ise keski parametrelerinin yanı sıra kesici tambur tasarımı olarak adlandırılan keskinin tambur üzerinde uygun şekilde düzenlenmeleriyle elde edilir. Tambur tasarımında keskinin spiraller halinde dizilimi olurlar. Keskinin tamburlar üzerindeki dizilimi tasarlanırken oluşturulacak kesme spiral düzeninin yükleme spiral parametreleriyle uyumlu olmasına özen gösterilir. Kesme ve yükleme parametreleri arasında uyumsuzluk olması durumunda, tambur tasarımında ilke olarak kesme düzenine öncelik tanınır. Böyle durumlarda yüklemeyi kolaylaştırmak için tamburlar üzerine yükleme kalkanı ve benzeri yardımcı aksesuarların kullanımına gidilir. A.B.D.'de yüksek teknolojilerle donatılmış bazı yer altı kömür işletmelerinde bir adet tam mekanize uzun ayak panosundan aylık kömür üretiminin 1 milyon ton civarına ulaştığı gözlenmektedir (Özdemir, 1997). Bu tür

işletmelerde kullanılan yüksek üretim kapasiteli tamburlu kesicilerde, kesme hızına ve tamburun dönme hızlarındaki artışlardan ötürü bazı yükleme sorunlarıyla karşılaşmaktadır. Genel olarak tamburlar üzerindeki keski dizilimi uygun olarak yapılamadığı zaman aşağıdaki sorunlarla karşılaşmaktadır;

- Yüksek keski kuvvetleri oluşur. Bunun sonucunda makineye gereksiz tepki kuvvetleri etkiyerek makinenin kesme hızı düşer.
- Yüksek kesme titreşimleri oluşur. Bunun sonucunda makinenin çalışma ömrü azalır ve sıklıkla oluşan makine arızalarıyla ayak verimi düşer.
- Yüksek miktarda ince malzeme ve solunabilir toz oluşumu söz konusu olur.
- Keski harcaması artar.

Tamburlar üzerindeki etkin ve verimli bir keski dizilimi (pick lacing) için bazı tasarım parametrelerinin özenle göz önüne alınması gerekir. Bu parametreler genel olarak keski kollar arasındaki yanal ve çevresel uzaklık, toplam keski sayısı, toplam spiral sayısı, spirallerin sarılma açısı, ardışıklı keski sayısı (tracking cutters; numbers of tools per line) ve keski eğim açısıdır (Hekimoğlu, 1984, 2005; Hekimoğlu and Fowell, 1991; Hekimoğlu and Ozdemir 2004). Ancak uygulamada tamburlar üzerindeki keski diziliminin verimli bir çalışma için çoğu kez yetersiz kaldığı gözlenmektedir. Ülkemizde yüksek kapasiteli tam mekanize yer altı kömür üretimi daha önce Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) Kurumu'na bağlı olan ancak sonra özelleştirilen Ankara Çayırhan'da ki Orta Anadolu Linyitleri İşletmesi'nde başlamıştır. Burada kullanılan tamburlu kesici yükleyicilerle bazı kesme sorunlarıyla karşılaşmıştır. Bunu gidermek için tamburlar üzerindeki yapımçı firmanın orijinal keski dizilimleri geliştirilen bir yöntemle tarafımızca yeniden tasarlanarak değiştirilmiş ve yeraltında denenmiştir. Yapılan değişiklik sonucu makinenin toplam performansında Çizelge 1.'de gösterildiği gibi yüksek artışlar elde edilmiştir (Hekimoğlu, 1991; Hekimoğlu and Tiryaki 1997, 1998).

Çizelge 1. Orijinal tambur ve yeniden tasarlanan tamburun performans karşılaştırılması.

	Üretici Firmanın Orijinal Tamburu	Yazar tarafından tasarlanan tambur
Çalışma süresi	5 ay (Aşınma nedeniyle tambur değiştirildi)	6 ay (Tambur halen çalışabilir durumda)
Yapılan toplam üretim (t)	77 676	133 120
Ortalama üretim (t/Vardiya)	215	286
1000 t kömür için keski harcaması	11	6
Makinenin kesme hızı (m ³ /dak):		
Eğim aşağı	2 741	4 243
Eğim yukarı	1 645	3 646

Tamburlarda yalnızca keskilerin yeri ve konumu üzerinde yapılan ve işletmeye hiç maliyet getirmeyen bu değişiklik ile makinenin kesme hızı artmış, keski harcaması ve solunabilir toz oluşumu düşmüş, makine arızaları en aza indirgenerek tamburlu

kesicinin genel performansında kayda değer bir artış elde edilmiştir (Hekimoğlu v.d, 2002, 2003).

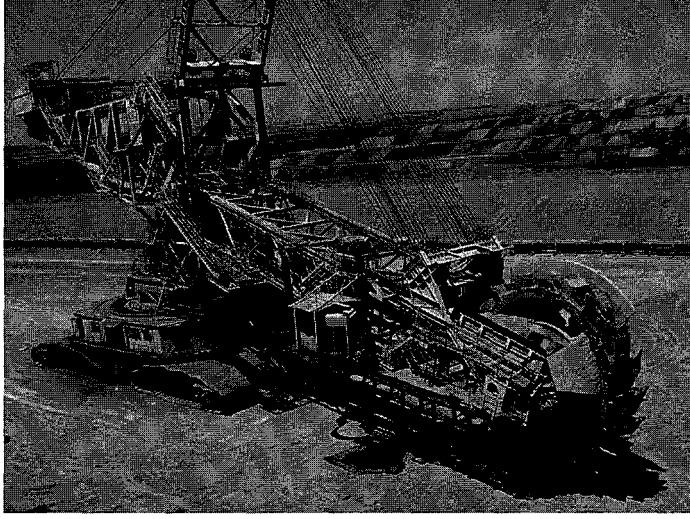
Çayırhan Kömür İşletmelerinde yapılan ve yukarda anlatılan tambur tasarım değişikliklerinden alınan çok iyi sonuçlara karşın, dünyada şu anda kullanılan tamburlu kesicilerin keski dizilimleri incelendiğinde etkin ve verimli bir kesme performansı için gerekli bazı özellikleri halen tam anlamıyla taşımadıkları görülmektedir. Tamburlu kesicilerde özellikle spiraller üzerinde yer alan keski için, ardışıklı keski sayısının spiral sayısının yarısına ya da bazı durumlarda üçte birine eşit olmasının gerektiği daha önce yapılan çalışmalarda önemle vurgulanmıştır (Hekimoğlu v.d, 2002, 2003). Bu gerçeğe karşın dünyada kullanılan tamburların büyük çoğunluğunda bu tasarım ilkesine uyulmadığı görülmektedir. Ayrıca bu tamburların neredeyse tümünün tork ve kesme titreşimleri açısından yeterli düzeyde dengelenmemiş oldukları görülmektedir. Türkiye’de çeşitli kömür ocaklarında kullanılan tamburlu kesicilerin keski dizilim tasarımlarında ne yazık ki yukarda sözü edilen bu olumsuz tasarım parametrelerinin halen var olduğu gözlenmektedir.

2.2 Döner Kepçeli kazıcılar (Ekskavatörler)

Döner kepçeli kazıcılar açık ocak yöntemiyle çalışan kömür işletmelerinde yüksek üretim elde etmek için kullanılan sürekli kazıcı ve yükleyici makinelerdir. Keski türü (drag tools) kesici kullanan her mekanik kazı makinesi gibi sert malzemelerin kazısına uygun değildir. Bu makinelerde en önde bulunan dev bir dönel çarkın üzerine radyal konumlu yükleme kovaları ve bunların üzerinde yer alan kesiciler bulunur (Şekil 2.). Dönme sırasında kesiciler tarafından kazılan malzeme kovalara dökülerek oradan da makinenin üzerinde bulunan bant konveyör yardımıyla gerideki taşıma birimlerine aktarılmaktadır.

Türkiye’de yalnızca, daha önce TKİ Kurumu’na bağlı olan Afşin-Elbistan Linyitleri (AEL) İşletmesi’nde uygulanmaya konulmuş ve halen aynı yerde kullanılmaktadır. Söz konusu işletmede kömür üretiminde ve dekapaj da kullanılmaktadır. Yumuşak malzemelerde önemli sorunlar ortaya çıkmamakta olup özellikle kazının zorlaştığı nispeten sert oluşumlarda bazı sorunlarla karşılaşmaktadır. Söz konusu sorun, daha çok döner kepçenin gövdesi üzerinde oluşan gerilme çatlakları şeklinde gözlenmekte ve bu sorunun giderilmesi için gövde üzerine kaynak yapılmaktadır.

AEL İşletmesi’ndeki döner kepçeli kazıcılarda, yükleme kovalarının ön ucundaki iki köşenin her birine birer adet büyük boyutlu keski yerleştirilmiştir (Şekil 3.). Döner çark sağa doğru hareket ederken yalnızca sağdaki keski kazı yapmakta ve aynı şekilde sol yöne hareket ederken de yalnızca sol köşedeki keski kesme işlemini gerçekleştirmektedir. Yani kesme işlemi kazı yönünde yalnızca tek bir keski tarafından yapılmaktadır. Yumuşak malzemeler kazılırken keskiye etkiyen kesme kuvvetleri makul düzeyde dengelenebilmektedir. Ancak sert malzemelerle karşılaşıldığında keski zorlanması nedeniyle kova üzerinde asimetrik bir yüklenme oluşması söz konusu olabilmektedir. Var olan makine ve kazı koşullarında bu tür bir yük makine elemanları tarafından yeterli şekilde dengelenemediğinden doğal olarak sorunlara neden olabilmektedir.



Şekil 2. Döner Kepçeli Kazıcı (Afşin Elbistan Linyit İşletmesi).

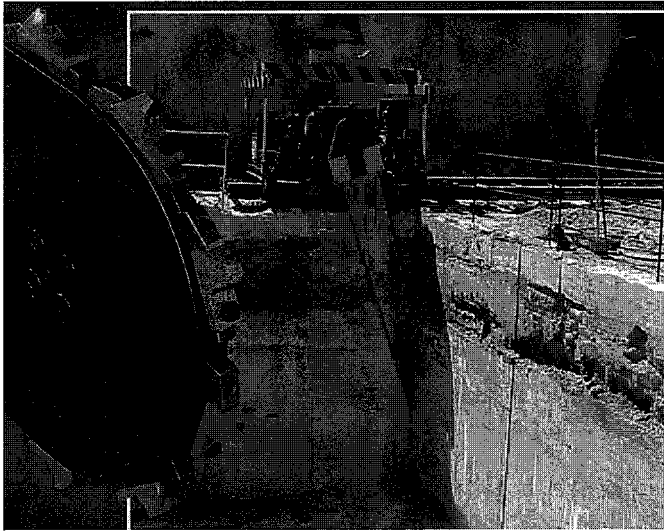


Şekil 3. Yükleme kovaları ve keskiler.

AEL İşletmesi'ndeki döner kepçeli kazıcılardaki bu sorunun çözümü için sürekli kaynak yapmak yerine, kova uçlarındaki mevcut kesicilerin kazı işlemindeki yeterliliğinin araştırılması yararlı olacaktır. Özellikle sert malzemelerin kazısı sırasında kova üzerine etkiyen tepki kuvvetlerinin dengelenmesi amacıyla keskilerin tip ve konumlarının yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir. Sert olarak nitelendirilen kayaç malzemelerinin özellikleriyle birlikte makine parametreleri dikkate alınarak yapılacak ayrıntılı bir dinamik ve kinematik analiz sonucu makinenin performansında önemli bir iyileştirme sağlanabilir. Ters durumda, bu sorunun sürekli karşılaşımla olasılığı çok fazladır.

3. MERMER VE DOĞALTAŞ ÜRETİMİNDE KULLANILAN MEKANİK KAZI MAKİNELERİ

Mermer ve doğaltaş ocaklarında blok üretiminde çeşitli tür ve kapasitede kesici makineler kullanılmaktadır. Bunlardan zincirli kollu kesme makineleri mekanik anlamda kesme yapan ve kullanım açısından diğer kesme makinelerine göre bazı avantajlar sağlayan tiplerdir. Bu makineler, daha çok kömür üretiminde kullanılan potkabaç makineleri olarak adlandırılan kazıcıların bir başka versiyonu olarak da tanımlanabilir. Zincirli kollu kesme makineleri ince kalınlıklı yassı ve uzun bir kolun kenarı üzerinde dönen sonsuz bir zincir düzeninden oluşmaktadır (Şekil 4.). Kesme işlemi zincir işlevini gören elemanların üzerine yerleştirilen küçük boyutlu tungsten karbürü keskiiler tarafından gerçekleştirilmekte, kazılan malzeme ise yine zincir elemanlarınca ortamdan uzaklaştırılmaktadır.



Şekil 4. Zincirli kollu mermer kesme makinesi ve kesme kolu (Fantini Spa).

Zincirli kol, kramayer dişli düzeni gibi (rack and pinion) benzeri bir raylı sistem üzerinde hareket eden makine gövdesine bağlıdır. Kesici kolun uzunluğu 8 m'ye kadar çıkabilmektedir. Yerüstü ve yer altı ocaklarında kullanılabilen tipleri bulunmaktadır. Zincirli kolun kesme kalınlığı 38 – 42 mm civarında gözlenmektedir.

Bu makineler, tungsten karbür tipli keskiilerle kazı yaptıklarından, kesme performanslarının da bu açıdan incelenmesi yararlı olacaktır. Yapılan incelemelerde yassı tipli dikdörtgenler prizması ya da kesik piramit şeklindeki keskiilerin kullanıldığı görülmektedir. Keskiiler aşındıkça konumları değiştirilerek keskin uçlarla kesme yapılmasına olanak verilmekte ve böylece bir adet keskidenden köşe sayısı kadar yararlanılabilmektedir. Uygulamada bu tür makinelerin çok kullanışlı olmalarına karşın kesme hızlarının düşük düzeyde oldukları belirtilmektedir. Bu durum, zincirli kollu kesme makinelerinin diğer alternatif kazı yöntemlerinin pek de önünde olmadığı gerçeğini sergilemektedir.

Zincirli kollu mermer ve doğaltaş kesme makinelerinin düşük kesme hızını araştırmak amacıyla Türkiye'deki kimi mermer ve doğaltaş ocaklarında kullanılan bu makinelerin tasarımları incelenerek bir performans analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda bir keskinin etkin kesme derinliğinin 0,5 mm nin çok altında olduğu saptanmıştır. Bu değer tungsten karbürülü kesiciler kullanan bu tür makinelerin aşırı verimsiz şekilde çalıştığının bir ölçüsü olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca keskinin yanlış konumlanmaları nedeniyle birçok keskinin kesme yerine çok gereksiz sürtünme yaparak makineye aşırı yükün etkimesine ve dolayısı ile yüksek aşınmanın yanı sıra kesme hızının da düşmesine neden oldukları görülmektedir. Keskinin bireysel geometrik konumlarının da yetersiz oldukları ve bunun bireysel keski kuvvetlerinin gereksiz artmasına neden oldukları gözlenmiştir. Bu sorunların giderilmesi amacıyla makinenin kinematik parametreleri dikkatlice göz önüne alınarak keski diziliminin ve tasarımlarının kesinlikle gözden geçirilmesi gerekir. Bu konu ile ilgili çalışmalar sürdürülmektedir.

4. SONUÇ

Bildiride ele alınan, kömür ile mermer ve doğaltaş sektöründe kullanılan bazı mekanik kazı makinelerinin performans verimliliği ile ilgili öneriler aşağıdaki gibi özetlenebilir;

Yeraltı kömür üretiminde kullanılan tamburlu kesici yükleyicilerin tamburlarındaki keski dizilim tasarımlarının yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir. Dünyada uygulamada var olan tambur keski dizilimlerinin verimli olmadığı ve toplam makine performansına uygun olmadığı anlaşılmıştır.

Türkiyede yerüstü kömür işletmesinde kullanılan döner kepçeli kazıcı ile sert olarak nitelendirilen malzemelerin kazımında karşılaşılan sorunun çözümü için keski tasarım şeklinin yeniden gözden geçirilmesi yararlı olacaktır.

Türkiyede mermer ve doğaltaş ocak üretiminde kullanılan zincirli kollu kesme makinesinin kesme hızlarının düşük olduğu anlaşılmıştır. Bu durum makinenin kinematik parametreleriyle uyumlu olmayan ve yanlış konumlu keski dizilim düzeninden kaynaklanmaktadır. Bu makinelerin var olan keski dizilim düzeni değiştirilmeyip makinenin kinematik parametreleriyle uyumlu hale getirilmediği sürece kesme hızının verimli olarak artırılması olanağı bulunmamaktadır.

KAYNAKLAR

Hekimoğlu, O.Z. (1984) "Studies in the Excavation of Selected Rock Materials", Department of Geotechnical Engineering. Ph.D Thesis. University of Newcastle Upon Tyne, England.

Hekimoğlu, O.Z. (1990) Kesici Uçlarla Yapılan Mekanik Kazıda Verimli Kesme Prensipleri, 2. *Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Ankara.

Hekimoğlu, O. Z. (1991) OAL Müessesesindeki Tamburlu Kesiciler ve Karşılaşılan Sorunlar, *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 12. Kongresi*, Ankara, 1991.

- Hekimoglu, O. Z., and Fowell R. J.** (1991) Theoretical and Practical Aspects Of Circumferential Pick Spacing on Boom Tunnelling Machine Cutting Heads. *Mining Science and Technology*, 13(1991) 257-270 Elsevier Science Publisher B.V. Amsterdam.
- Hekimoglu, O.Z. and Tiryaki, B.** (1997) "Investigations into the Effects of Drum Vibration on the Performance of Coal Shearers" , *Transactions of IMM*, Section A, Vol. 106, pp. A91-A94, August, London.
- Hekimoglu, O.Z and Tiryaki B.** (1998) "In-situ Investigations on Shearer Drum Design", *CIM Bulletin*, Vol. 91, Number 1018, pp 225-228.
- Hekimoglu, O.Z., Tiryaki, B. and Ayhan, M.** (2002) Reducing Respirable Dust and Fines through Shearer Drum Design in Coal Mines, *CIM Bulletin*, Vol. 95 (1059), pp 119-123.
- Hekimoglu, O.Z. Ayhan, M. ve Tiryaki, B.** (2003) Laboratory and In-Situ Investigations of Tracking Cutters For Computer-Aided Design Of Shearer Drums, *CIM Bulletin*, Vol. 96 (1073), pp 72-75.
- Hekimoglu, O.Z. and Ozdemir, L.** (2004) Effects of Angle of Wrap on the Performance of Continuous Miners and Drum Shearers, *Trans. Inst. Min. Metall. A*, Vol. 113, No. 2.
- Hekimoglu, O.Z.** (2005) Aspects of Tool Lacing for Mechanically Rock and Coal Excavating Machines. 9th. International Research/Expert Conference TMT 2005, Antalya, Turkey.
- Özdemir, L.** (1997) Kişisel görüşme, İTÜ, İstanbul, Türkiye.

ÇAYIRHAN YERALTI LİNYİT İŞLETMESİ G SAHASINDA HAZIRLIK ÇALIŞMALARININ DEĞERLENDİRMESİ

EVALUATION OF DEVELOPMENT WORKS AT G FIELD IN ÇAYIRHAN UNDERGROUND COAL MINE

Ergin KAHRAMAN ve Oktay ERARSLAN , *Park Termik A.Ş., Ankara*

ÖZET

Yüksek yatırım gerektiren madencilik sektöründe; verimliliği arttırmak, hazırlık ve işletme maliyetlerini düşürmek için makine ile kazı kaçınılmaz hale gelmiştir. Son yıllarda, özellikle hazırlık çalışmalarında galeri açma makinelerinin kullanımı işletme verimlerinin ciddi ölçüde artmasına sebep olmuştur. Hazırlık işlemlerinde kullanılan kazı ve nakliyat ekipmanları, uygulanan tahkimat sistemi gibi faktörler işlem süresini ve üretimi etkilemektedir. Bu nedenle, işletme verimini etkileyen bu faktörlerin incelenmesi gerekir. Bu çalışmada, mekanize kazı sisteminin kullanıldığı Çayırhan Yeraltı Linyit İşletmesi G sahasında hazırlık çalışmaları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek işletme verimine etki eden faktörler belirlenmiştir.

ABSTRACT

Mechanic excavation in mining sector that requires high investments has become unavoidable to increase productivity and decrease both the opening development galleries and operational costs. Recently, the using of roadway cutting machine in especially development works has resulted in increase of operational productivity. The excavation and haulage equipments used in development works and applied support affect the operational duration and production cycle. Therefore, these factors affecting the productivity of plant have to be examined. In this study, the development works applied in the G field at Çayırhan Underground Mine were analyzed. The factors affecting the productivity of the underground mine were determined by assessment of the obtained results.

1. GİRİŞ

Yeraltı kömür madenciliğinde uzun kazı arınlı yöntemlerden uzun ayak madenciliği yaygın olarak kullanılmaktadır. Uzun ayak madenciliğinde teknolojik gelişmelere bağlı olarak tam mekanize sistem uygulaması önem kazanmaya başlamıştır. Tam mekanize uzun ayak yöntemi klasik uzun ayak yöntemine göre ciddi verimlilik getirmiştir. Tam mekanize uzun ayaklarda kömür üretimi, hazırlık ve üretim aşamalarından oluşmaktadır.

Yeraltı madenciliğinde hazırlık çalışmaları cevhere ulaşmak amacıyla gerekli yolların açılması olarak tanımlanabilir. İşletmelerin kuruluş yıllarında üretime başlanılabilmesi ana olarak hazırlık çalışmalarının tamamlanması ile olanaklıdır (Eyyüboğlu E.M., Bölükbaşı N.,2004). Ocak üretiminin istenilen seviyede gerçekleştirilebilmesi için hazırlık çalışmalarının ilerleme hızları önemlidir. İlerleme hızına kazı-nakliyat sisteminde kullanılan ekipmanların özellikleri, ocak jeolojik koşulları, hidrojeolojik koşullar ve tahkimat sistemi gibi bir çok faktör etki etmektedir.

Yeraltında yapılan hazırlık işleri, yapılan işin amacına göre ana yollar, taban yolları ve klavuzlar olarak adlandırılmaktadır.

Yeraltı hazırlık çalışmalarında ilerleme hızlarında en büyük etken arında kazı ve yükleme işini yapabilen galeri açma makineleridir. Ülkemizde galeri açma makinesi (GAM) ilk olarak 1977 yılında Türkiye Kömür İşletmelerine bağlı olarak OAL işletmesinde kullanılmıştır (Eyyüboğlu E.M., Bölükbaşı N., 2004). 2000 yılından sonra OAL işletmesinin işletme haklarını alan Park Grubu tarafından mekanize sistemde iyileştirmeler yapılmıştır. İşletmede GAM'nın kullanıldığı mekanize kazı verimli bir şekilde sürdürülmektedir.

Park Grubu, 1996 yılında B ve C sahalarının üretim projesini, yatırımlarını ve işletmeciliğini almış, daha sonra A ve F sahalarının rehabilite edilerek işletilmesini, 2004 yılında da G sahasının proje ve yatırım safhalarını takiben üretim çalışmalarını üstlenmiştir.

Çalışma kapsamında, G sahasında hazırlık çalışmaları incelenerek, 2006-2010 yılları arasında açılan taban yolları ve ayak montaj klavuzlarının detaylı analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında değerlendirmeler yapılmıştır.

2. ÇAYIRHAN MEKANİZE SİSTEMİ

2.1. Sahanın Genel Özellikleri

Çayırhan Linyit İşletmesi, Ankara İli Nallıhan İlçesine bağlı Çayırhan Beldesi' nde faaliyet göstermektedir (Şekil 1). İşletme, Ankara' ya 122 km mesafede olup Ankara-Nallıhan yolu üzerinde bulunmaktadır. Yeraltından tam mekanize üretim yöntemi ile yılda ortalama 5,5-5,8 milyon ton tüvenan kömür üretimi yapılmaktadır. Üretilen linyit kalitesindeki kömür Park Grubu tarafından işletilen 620 MW gücündeki Çayırhan Termik Santrali'nin kömür ihtiyacını karşılamaktadır.



Şekil 1. Çayırhan yer bulduru haritası.

Yaklaşık 400 milyon ton kömür bulunan Çayırhan havzasında kömür, bir ara kesme (silttaşı) ile ayrılarak iki damar halinde konumlanmıştır. Bu iki damarın 150 m altında henüz işletmeye alınmamış ve kalınlığı 2-11 m arasında değişen üçüncü bir kömür damarı bulunmaktadır. Üst kömür için sahanın batısında iki damar arasında ara kesme kalınlığı 1,2-1,8 m kalınlığında iken sahanın doğusunda ara kesme kalınlığı 0,5-1 m arasında değişmektedir. Bu nedenle sahanın batısında (B sahası) iki damar ayrı ayrı çalışacak şekilde planlanırken sahanın doğusunda ise (C ve G sahaları) tek ayak şekilde planlanmış ve makine-ekipman seçimi buna göre yapılmıştır (Aydın Y., 2000; Çavuşoğlu İ., 2009).

2.2. Üretim Çalışmaları

Çayırhan Linyit İşletmesinde üretim, geri dönüşlü-göçertmeli tam mekanize uzun ayak sistemi ile gerçekleştirilmektedir. Ayak uzunlukları 220 m civarında, pano boyları ise 1100-3200 m arasında değişmektedir.

Uygulanan üretim yönteminde;

- i. taban yolu ihtiyacını en aza indirmek,
- ii. rezervlerin daha etkin kullanılmasını sağlamak,
- iii. kömürün kendiliğinde yanma riskini azaltmak

amaçlarıyla her sahada panoların alt taban yolları bir sonraki pano için üst taban yolu olacak şekilde planlanmıştır (Aydın Y., 2000; Çavuşoğlu İ., 2009).

Çayırhan havzasında bulunan ana faylar (Kuzey Fayı, Davutoğlu Fayı ve Doğan Dede Fayı) ve arazinin senklinal yapısı dikkate alınarak havza sektörlerine ayrılmıştır. Çayırhan Linyit İşletmesi tarafından işletilmekte olan sahalarda (B, C ve G sektörü) üç vardiya tam mekanize sistem üretim gerçekleştirilmektedir. Ayakta kömür üretimi L tipi çift tamburlu kesici-yükleyici makine ile yapılmaktadır. Ayak tahkimat sistemi olarak kalkan tipi yürüyen tahkimatlar (shield) kullanılmaktadır.

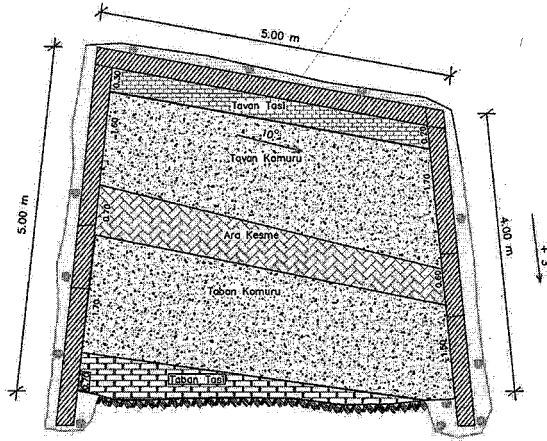
Yer üstünden, üretim yapılan ayaklara insan ve malzeme nakliyatı yerkars ve tekkars sistemi (monoray ve kulikar) ile yapılmaktadır. Ayakta üretilen kömür zincirli konveyörlerden bant konveyörlere aktararak, bant konveyörlerle yer üstüne nakledilmektedir.

Ocak ana havalandırma sistemi olarak emici tip cebri havalandırma yapılmaktadır. Baca, klavuz ve sökül ayakların havalandırmasında ise üfleyci tip vantilatörlerle tali havalandırma sistemi kullanılmaktadır (Kahraman E., vd., 2011).

2.3. Hazırlık Çalışmaları

Her sektörde bir ana nakliye galerisi yardımıyla üretim panoları oluşturulmaktadır. Ana nakliye galerileri taşa ve kömürde sürülmektedir. Üretim panolarını birbirinden ayıran galerilere "taban yolu" adı verilmektedir. Taban yolları (baca), kömür damarının yüksekliğine eşit olarak kömür içerisinde yapılan hazırlık çalışmalarıdır. Ayak kurulması amacı ile, alt taban yolunu üst taban yolu ile birleştiren klavuzlar açılmaktadır.

Taban yollarının boyutları ve taban yolu açılması sırasında kesilen kayaç birimleri tipik olarak G-310 taban yolu için Şekil 2'de sunulmuştur. Taban taşı yeşil marndan (kıltaşı) oluşmaktadır. Ara kesme adı verilen yapı tüfitik kumtaşından oluşmaktadır. Tavan taşı ise ince kumtaşı, kalker bantları ve kıltaşından (liniyit boyamalı açık kahve kıltaşı) oluşmaktadır.



Şekil 2. G-310 taban yolunun en-kesit görünümü.

İşletmede taban yollarının kazısı tek kollu galeri açma makineleri (GAM) ile yapılmaktadır. Ayak montaj klavuzlarının açılmasında hem GAM ile kazı hem de klasik (delme-patlatma yöntemi) kazı yapılmaktadır. Ayak montaj klavuzlarının açılması iki veya üç kademeli olarak gerçekleştirilmektedir. Klavuzlar GAM ile taban yolu kesitinde açılmakta daha sonra delme-patlatma kazısı ile ayağın kurulabileceği genişliğe getirilmektedir (Klavuz genişletmesi). Delme-patlatma ile yapılan kazılarda antigrizu özellikli patlayıcı maddeler kullanılmaktadır. Patlatma işlemi manyeto yardımıyla elektrikli kapsül kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Patlatma işleminde kullanılan su dolu kartuşlar sıkılama görevini yapmakla beraber, toz oluşumunun kaynağında bastırılmasına katkıda bulunmaktadır.

İşletmede gerçekleştirilen hazırlık çalışmalarında üç farklı tipte, 8 adet GAM (2 adet Dosko Mk2A, 5 adet Dosko Mk2B ve 1 adet Pk9r) kullanılmaktadır. Bu makineler kömürde ve basınç dayanımı düşük olan (50 MPa dan küçük) kayalarda verimli çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. İşletmede kullanılan galeri açma makinelerine ait bazı teknik özellikler Çizelge 1’de verilmektedir.

Çizelge 1. İşletmede kullanılan kollu galeri açma makinelerinin bazı teknik özellikleri (Tatar Ç., 1984; Çetin O., Eyyüboğlu E.M., 1994; Bilim N., 2007).

Makine Özellikleri	Dosko Mk2A	Dosko Mk 2B	Pk9r
Makine boyutları(Uz*yük*en)(m)	7,17*1,64*2,8	10,2*2*3	7,2*1,85*2,8
Maksimum kazı kesiti(yük*gen)(m)	4,09*5,76	5,4*5,76	3,9*6,28
Toplam güç (kW)	150	224	186
GAM toplam ağırlığı (ton)	23,4	44	32
Kesici kafanın motor gücü (kW)	67	112	93
Kafanın dönme sayısı (dev/dak)	68	58	61-99
Makinenin yürüme hızı (m/dak)	7,2	8,4	2
Çıkabileceği maksimum eğim	14°	14°	10°
Nominal çarpma basıncı (bar)	105-140	140	-
Hidrolik sistem motoru (kW)	56	112	15
Zemin basıncı (kg/cm ²)	1,5	1,19	0,96
Yükleme sistemi	Sıyırıcı konveyör	Toplayıcı kol/yıldız	Toplayıcı kol

Taban yolları açılmasında ilk 100 m’de kazı nakliyatı zincirli konveyörlerle yapılmaktadır. 100 m ilerlemeden sonra kazı nakliyatı bant konveyörler ile gerçekleştirilmektedir. Nakliyat ekipmanlarına kömürün yüklenmesi GAM ile sağlanılmaktadır. Klavuz genişletme kazılarında patlatma sonrası kazı malzemesinin zincirli konveyöre yüklenmesinde yandan boşaltmalı elektrikli hidrolik yükleyici (Eimco) kullanılmaktadır.

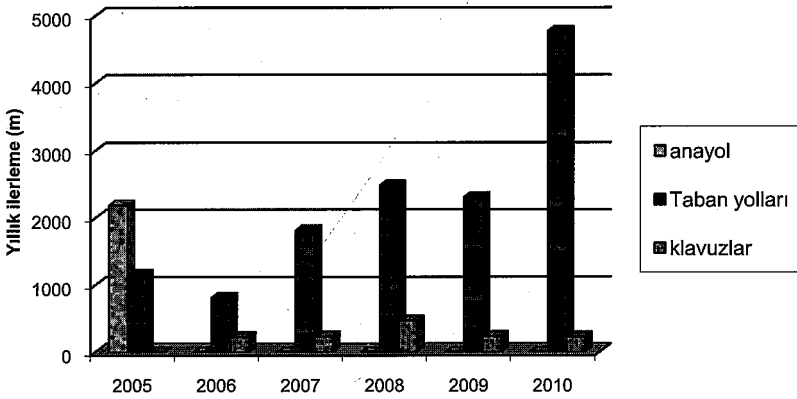
Kazı çalışmalarında yaklaşık 1,2 m’lik ilerlemeden sonra maksimum 1m aralıklarla tahkimat çalışması yapılmaktadır. Ana yolların tahkimatı kavisli geçmeli (TH) bağlar şeklinde gerçekleştirilmektedir. Geçmeli bağlarda verimlilik için kelepçe tasarımı ve uygun bir şekilde bağlanması önemlidir. Uygun bağlamada, çalışma mesafesi ve kelepçe somunlarına uygulanan buru (tork) kritik faktörlerdir. Geçme bağların kullanımında iç içe geçmiş çakışma mesafesi 500 mm. den az olmamalıdır. Tork değeri, 36 kg/m’ lik TH bağlar için 500 Nm olmalıdır. Sıkılama tork değerinin artırılması ile geçme bağların kayma yükleri artmaktadır. 500 Nm ile torklanmış bağların yaklaşık 300 kN’ luk bir bir düşey yük karşısında alçalmaya başlayacağı öngörülmektedir (Özarslan A., 1995). Taban yolları açıklık kesitleri damar ve tabaka eğimine uygun olarak açılmakta ve trapez çelik tahkimat ile desteklenmektedir. Bu tahkimat, tavanda GI-120 profiller (boyunduruk), yan direk olarak da geçmeli (TH) bağlar şeklinde uygulanmaktadır. Yardımcı tahkimat elemanı olarak, tavandan ve yan duvarlardan akmaların önlenmesi amacıyla, tavana ve yan duvarlara 0,5*1 m boyutlarında çelik hasır yerleştirilmektedir. Ayrıca, çelik fırça ve sıkılama takozları da tahkimat işinde yardımcı tahkimat olarak kullanılmaktadır.

Sahada hazırlık çalışmalarına 2004 yılında ana nakliye yolunun yapımı ile başlanılmıştır. Üretim çalışmalarına paralel olarak hazırlık çalışmalarına yoğun bir şekilde devam edilmektedir.

Ocakta G-01, G-02 ve G-03 panoları taban yollarının açılması sırasında üretim planını etkileyen faylarla karşılaşmıştır. En büyüğü 14,5 m atıma sahip olan bu faylardan dolayı “ayak atlatma” olarak adlandırılan işlem yapılmaktadır. G-01, G-02 ve G-03 panoları için atılan kısımlar Şekil 3’de görülmektedir. Ayak atlatma, faylı bölgede ayak üretim kazısı yapmadan faylı bölgeyi geçme işlemidir. Ayağın atlatılabilmesi amacıyla “fay öntü ayak montaj klavuzları” açılmaktadır. Fay öntü klavuzların kazısı da, diğer ayak montaj klavuzlarının açılması ile aynı şekilde gerçekleştirilmektedir.

3.1. Hazırlık Çalışmalarının Yıllara ve Amaçlarına Göre Değerlendirilmesi

Sahada hazırlık çalışmaları kapsamında toplam 21.349 m galeri açılmıştır. Şekil 4’te açılan galerilerin yıllara göre ilerleme miktarları sunulmuştur.



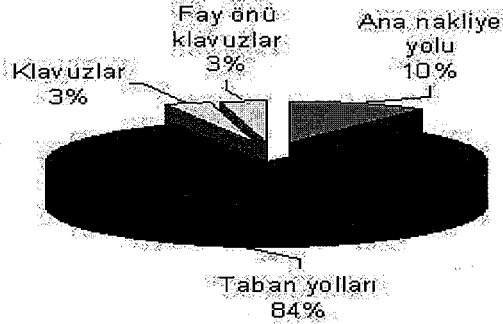
Şekil 4. Yıllara göre yapılan hazırlık çalışmaları.

Hazırlık çalışmalarının yıllara göre farklılıklar gösterdiği grafikten görülmektedir. 2008 yılından sonra ocakta taban yolu açımında çalışmalara ağırlık verildiği görülmektedir. 2010 yılında G sahasında hazırlık çalışmalarına ağırlık verilmiş ve taban yolları yapımında 4.773 m’ye ulaşılmıştır. 2010 yılında ocakta 2 adet Dosko Mk2B GAM ve 1 adet Pk9r GAM ile taban yolu açımı çalışmaları eş zamanlı olarak yürütülmüştür. Ayak montaj klavuz açma çalışmaları 2008 yılında diğer yıllara göre fazla olsa da, genel olarak çok fazla değişiklik arz etmemektedir. Sahada klavuz açma çalışmaları ayak üretim çalışmalarına bağlı olarak yürütülmektedir.

Ocakta 4007 ana nakliye galerisinin taşa açılması planlanmıştır. Fakat, ana nakliye galerisinin kazısı sırasında ilerlemeye bağlı olarak iki farklı noktada kömür kesilmiştir. Ayak montaj klavuzları tamamen kömürde açılmıştır. Taban yollarının açımında planlama kömür içerisinde ilerleme olmasına rağmen, ana nakliye yolundan kömür damarının kotuna ulaşıncaya kadar taşa ilerleme yapılmaktadır. Ayrıca G 109-209-

210-310 ve G 410 bacalarda karşılaşılan faylar nedeniyle taban yollarında taşa (yan kayaçta) ilerlemelerde gerçekleştirilmiştir.

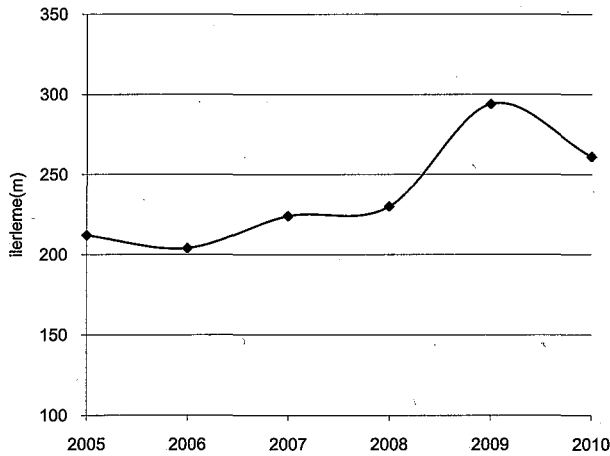
Şekil 5' te açılan galerilerin amaçlarına göre dağılımları görülmektedir. Ocakta bugüne kadar yapılan hazırlık çalışmalarının en önemli kısmını % 84'lük oran ile taban yolları açılmasının oluşturduğu grafikten görülmektedir.



Şekil 5. Açılan galerilerin amaçlarına göre dağılımları.

3.2. Galeri İlerleme Hızlarının Değerlendirilmesi

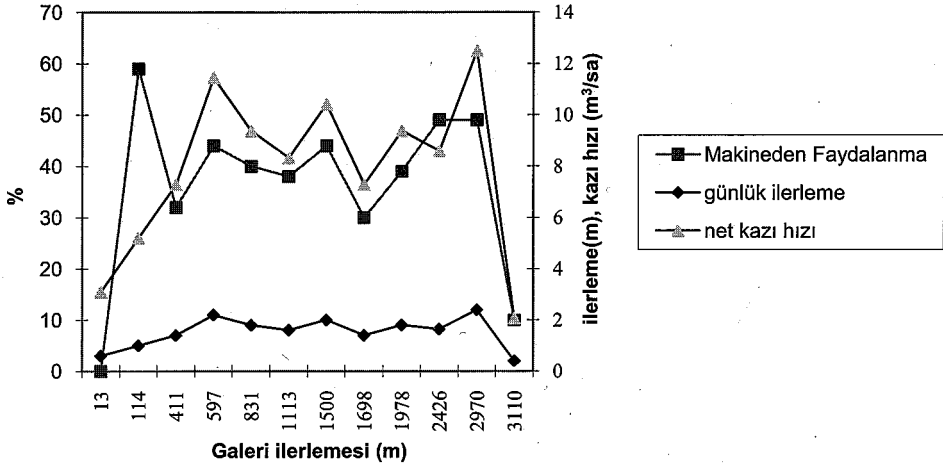
Galeri açma makinelerinin kullanıldığı taban yollarının açılmasında yıllara göre en iyi aylık ilerlemeleri Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 6. Taban yolu açımında yıllara göre en iyi aylık ilerlemeler.

Taban yollarında GAM ile yapılan kazılar incelendiğinde, en iyi aylık ilerleme 2009 yılında G 310 bacada (2.100 ve 2.400 m. ilerlemeleri arasında) gerçekleştirilmiştir. Şekil 7'de Dosko Mk2B GAM kullanılarak 25 m² kesitinde açılmış G-310 bacası için ilerlemeye bağlı olarak (rastgele seçilen ilerlemelerde) net kazı hızının değişimi

incelenmiştir. Grafikte, $12,5 \text{ m}^3/\text{sa}$ kazı hızına ulaşılan 2970 metrede, GAM ile yapılan kazı süresinin (makineden faydalanma oranı) % 49 olduğu görülmektedir.



Şekil 7. G-310 bacada ilerlemeye bağlı olarak net kazı hızının değişimi.

Galerilerin başlangıç safhasında (ilk 20 m.) GAM' nın montajının yapılabilmesi için gerekli kazı alanı, klasik delme-patlatma yöntemi ile açılmaktadır. Şekil 7'de, 13. metre için makineden faydalanma oranının % 0 olduğu görülmektedir.

3.3. Zaman Etüdları

İşletmede vardiyalarda yapılan bütün çalışmalar düzenli olarak yerüstü kontrol merkezinden takip edilmekte ve kayıtları tutulmaktadır. G sahasında yapılan hazırlık çalışmalarına ait zaman etüdları ile ilgili veriler yerüstü kontrol merkezinden alınarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında taban yolları ve klavuzlar için zaman etüdları detaylı olarak incelenmiştir.

3.3.1. Taban Yolları İçin Zaman Etüdları

Taban yolları ile ilgili olarak yapılan değerlendirmelerin sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Sadece G 809 baca Pk9r GAM ile açılmış, diğer bütün taban yollarının açımında Dosko Mk2B GAM kullanılmıştır. Çizelgede galeride ilerlemeye engel olan duruşların % olarak dağılımları da sunulmuştur. GAM ile tarama çalışması, galerilerin başlangıç safhasında delik delme ve patlayıcı şarjı için harcanan zaman "net kazı zamanı" ismiyle incelenmiştir. Galerilerde su drenajı için harcanan süre, istikamet vermek için topoğraf çalışmasında geçen süre ve maden duraklama çalışmaları "diğer işler" başlığı altında incelenmiştir. Nakliyat ünitelerinin uzatımı ise, galeri ilerledikçe kazı nakliyatında kullanılan bant konveyörün ve/veya zincirli konveyörün uzatılması çalışmalarını kapsamaktadır.

Çizelge 2. Taban yolları için zaman etüdleri.

Açıklama/Galeri Adı	G 210 Baca	G 310 Baca	G 410 Baca	G 810 Baca	G 809 Baca
Tarih	10/2006 4/2008	01/2008 09/2009	04/2009 12/2010	09/2009 12/2010	01/2010 12/2010
Kullanılan Makine	Dosko Mk 2B	Dosko Mk 2B	Dosko Mk 2B	Dosko Mk 2B	Pk9r
Galeri uzunluğu (m)	3.123	3.110	2.294	1.553	1.416
Fili Çalışma Günü	474	428	396	243	214
Kesit(m ²)	25	25	25	25	16
Ortalama aylık ilerleme(m)	197,66	222,14	173,79	194,13	198,6
İşçilik performansı (cm/yevmiye)	16	18	17	21	21
Net kazı zamanı (%)	31,65	39,31	37,8	37,12	53,33
Toplam duruşlar (%)	68,35	60,69	62,2	62,88	46,67
Kazı hızı (m ³ /sa)	6,86	7,57	6,04	6,64	4,40
Keski sarfiyatı (keski/1000ton)	2,00	2,64	5,76	6,62	5,77
Tahkimat çalışması (%)	24,89	26,41	24,64	24,64	19,46
Vardiya değişimi (%)	15,38	12,23	14,77	14,77	7,54
Bakım (%)	3,94	3,38	3,5	3,5	2,49
Mekanik arıza (%)	4,24	2,11	2,58	2,58	4,64
Elektrik arıza (%)	1,79	0,56	1,04	1,04	1,97
Nakl. üniteleri uzatımı (%)	4,71	3,99	3,95	3,95	3,37
Kazı malzemesini konveyöre yükleme (%)	0,72	1,5	1,95	1,95	2,33
Genel yan işler (%)	8,44	10,03	9,32	9,32	4,43
Diğer işler (%)	4,24	0,48	1,13	1,13	0,45

Çizelgede işçilik performanslarında 21 cm/yevmiye düzeyine ulaşıldığı görülmektedir. Kazı hızında Pk9r GAM için G-810 bacada 4,40 m³/sa kazı hızına ulaşılmıştır. Dosko Mk2B GAM için ise 7,57 m³/sa kazı hızı değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. G 210 bacada diğer işler için harcanan zaman % 4,24 ile diğer bacalara göre daha fazladır. Bu duruma neden olan su çekimi için harcanan sürenin (30.615 dak) çok fazla olmasıdır. G 410 bacada su geliri daha fazla olmasına karşın, su drenajında daha etkili mücadele yöntemleri uygulanarak su gelirin ilerlemeye etkisi azaltılmıştır. G 410 bacanın senkinalın tabanında açılması nedeniyle su geliri ve tavan basınçları çok fazladır. Bunun sonucunda bacada tahkimat aralıkları birçok yerde 75 cm olarak dizayn edilmiş ve GAM'nın gerisinde kalan kısımlarda ek tahkimat çalışmaları yapılmıştır. Yapılan bütün bu ilave çalışmalar nedeniyle daha fazla çalışan tertip edilmektedir. 13.351 yevmiye işçilik tertibinin yapıldığı bacada işçilik performansı 17 cm/yevmiye olarak bulunmuştur.

3.3.2. Ayak Montaj Klavuzları İçin Zaman Etüdleri

G sahasında ayak montaj klavuzları, GAM ile 25m² kesitte açılmakta, daha sonra delme-patlatma yöntemi ile genişletme kazısı yapılarak 35 m² kesite (ayak kurulabilmesi için yeterli kesit) ulaşması sağlanılmaktadır.

Çizelge 3'de klavuz açma ve genişletme işlemleri sırasında yapılan çalışmaların süreleri ile ilgili zaman etüdleri sunulmuştur. GAM kullanılarak G-02 klavuzun kazısında 3,92

m^3/sa ile diğer klavuzlara göre en yüksek kazı hızına ulaşılmıştır. Yine, aynı klavuzun genişletme kazısında $1,66 m^3/sa$ kazı hızına ulaşılmıştır. G-03 klavuz genişletmesinde eğimin yüksek olmasından dolayı yandan boşaltmalı hidrolik yükleyici verimli kullanılamadığından konveyöre yükleme süresi % 20,42 değerine yükselmiştir.

Çizelge 3. Ayak montaj klavuzları için zaman etüdüleri.

Açıklama/Klavuz Adı	G-01 Klavuz	Genişletme kazısı	G-02 Klavuz	Genişletme kazısı	G 03 Klavuz	Genişletme Kazısı
Tarih	1/2006- 4/2006	4/2006- 6/2006	04/2008- 5/2008	05/2008- 06/2008	10/2009- 12.2009	01/2010- 03/2010
Kullanılan Makine/ kazı yöntemi	Dosko Mk2B	Delme- patlatma	Dosko Mk2B	Delme- patlatma	Dosko Mk2B	Delme- patlatma
Fiili Çalışma Günü	95	78	59	56	71	75
Galeri uzunluğu (m)	221	221	223	223	228	228
Kesit(m^2)	25	10	25	10	25	10
Ortalama aylık ilerleme(m)	29,97	85,06	112,7	119,25	100	95,58
İşçilik performansı (cm/yev)	4,69	8,10	13,44	11,19	7,54	9,4
Net kazı zamanı (%)	17	25,84	31,65	24,73	30,12	30
Toplam duruşlar (%)	83	74,16	68,35	75,27	69,88	70
Kazı hızı (m^3/sa)	2,43	1,18	3,92	1,66	3,45	1,33
Net Kazı Zamanı (%)	17	25,84	31,65	24,73	30,12	30
Tahkimat Süresi (%)	14,19	20,53	25,12	15,53	16,79	15,57
Vardiya Değişimi (%)	13,68	21,63	19,12	20,75	16,73	15,48
Bakım (%)	27,6	0	4,16	0	2,77	0,43
Mekanik Arıza (%)	2,63	0,25	2,8	0,27	2,07	3,34
Elektrik Arıza (%)	0,83	1,2	1,17	0,25	0,37	0,75
Nakl. üniteleri uzatımı (%)	4,08	0	5,41	0	0,77	0,06
Kazı malzemesini konveyöre yükleme (%)	6,17	18,05	0,52	16,91	3,69	20,42
Genel yan işler (%)	11,36	12,02	7,69	20,8	26,54	13,84
Diğer işler (%)	2,46	0,48	2,36	0,76	0,15	0,11

GAM ile yapılan ayak montaj klavuzu çalışmalarında G-02 klavuz açımında 13,44 cm/yevmiye, yine aynı klavuzun genişletilmesinde delme-patlatma yöntemiyle kazıda ise 11,19 cm/yevmiye değerine ulaşılabilmektedir.

G sektöründe kömürün damar eğimi 7° - 27° nin arasında değişmektedir. Eğimin etkisi en fazla GAM ile klavuz açılması işlemlerinde önem kazanmaktadır. GAM' nın 14° nin üzerinde eğimlerde çalışabilmesi, tabana ankrajlanabilen, tavan ve taban tabakaları arasında hidrolik direklerle sıkılabilecek şekilde dizayn edilmiş özel bir aparat ile sağlanılmaktadır. İşletme bünyesinde GAM' na montajlanabilen, bu özel aparatla beraber 30° eğime kadar GAM kullanılabilmektedir. G-01 klavuzda Dosko MK2B GAM aparat olmadan yüksek eğimde çalıştırıldığı için net kazı hızı $2,43 m^3/sa$ olarak bulunmuştur. G-03 klavuzda aparat kullanılarak yapılan kazıda kazı hızı $3,45 m^3/sa$ düzeyine çıkarılmıştır. Aparatın ileri alınması işlemi yaklaşık 1 vardiya civarında sürdüğü için G-03 klavuzda genel yan işler % 26,54 değerine yükselmiştir.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

- Planlama aşamasında yeterli sondaj olmamasından dolayı tespit edilemeyen en büyüğü 14,5 m atımlı olan fayların, taban yollarının sürülmesi sırasında tespit edilebilmesi geri dönüşümlü çalışmanın avantajı olarak değerlendirilebilir. Ocakta karşılaşılan faylar hazırlık çalışmalarını ve üretimi olumsuz etkilemiştir. Hazırlık çalışmalarında % 3 fazladan ayak montaj klavuzu (fay önü klavuzlar) açılmasına neden olmuştur (Şekil 5).
- Kömürde GAM kullanılarak taban yolu kazısında, Dosko Mk2B nin kullanıldığı bacalarda ortalama kazı hızı $6,78 \text{ m}^3/\text{sa}$, Pk9r nin $4,40 \text{ m}^3/\text{sa}$ olduğu tespit edilmiştir. Aynı formasyonda çalışan bu iki makinenin pratik gözlemlerle elde edilen kazı hızları karşılaştırıldığında Dosko Mk2B ile çalışılması durumunda kazı hızının % 54 daha fazla olacağı sonucuna ulaşılmaktadır.
- G-810 bacada Pk9r ile yapılan 16 m^2 kesitli kazı çalışmasında keski sarfiyatı 0,44 keski/m olarak hesaplanmıştır. Çayırhan' da yapılan bir çalışmada, Pk9r GAM ile açılan 16 m^2 kesitli bir galeride kesici kafa dizaynında yapılan iyileştirmelerle (keski sarfiyatında % 300 lük azalma) keski sarfiyatı 0,69 keski/m olarak hesaplanmıştır (Hekimoğlu O.Z., vd., 2000). Her iki çalışmada bulunan keski tüketimleri arasında önemli bir farklılık yoktur.
- 16 m^2 kesitindeki G-809 bacada Pk9r GAM ile yapılan kazı çalışmasında işçilik performansı 21 cm/yevmiye olarak hesaplanmıştır (Çizelge 2). Dosko Mk2B GAM nın kullanıldığı 25 m^2 kesitli diğer bacalarda ortalama işçilik performansı 18 cm/yevmiye olarak hesaplanmıştır. 2004 yılında Eyyüboğlu ve Bölükbaşı tarafından yapılan çalışmada, işçilik performansları 16 m^2 kesitli galeride Pk9r GAM için 5,28 cm/yevmiye ve Dosko Mk2B GAM ile açılan 16 m^2 kesitli galeride 7,97 cm/yevmiye olarak hesaplanmıştır. İşletme bünyesinde mekanize sistemde zamanla yapılan iyileştirmelerin ve mekanizasyon konusunda uzmanlaşmanın olumlu etkileri görülmektedir.
- Senklinal tabanında açılan G 410 bacada su geliri ve tavan basınçlarının fazlalığı, ek tahkimat (kilit tahkimatı, kaya saplamaları vb.) yapılmasını ve bağ aralıklarının azaltılmasını zorunlu kılmıştır. Su gelirinin fazlalığı dolgu saplamaların kullanılmasını güçlendirmesine karşın, sürtünmeli kaya saplamalarının kullanımı ile ilgili çalışmalara devam edilmektedir. Bütün bu ilave çalışmalar sonucu daha fazla çalışan tertip edildiğinden bacada işçilik performansı (17 cm/yevmiye) diğer bacalara göre düşüktür.
- Su gelirinden dolayı daha zayıf taban taşı koşullarına sahip G 410 bacada bağların tabanla temasını artırarak, tabana batmaları önlemek amacıyla taban plakası kaynatılmış TH profiller kullanılmıştır.
- Galeri uzunluğu arttıkça makine ile kazıda çalışma hızı artmakta ve dolayısıyla maliyetler azalmaktadır. Taban yolu açımında kazı hızı, ayak montaj klavuzları açımında kazı hızına göre yaklaşık iki kat daha fazla olduğu görülmektedir. Ayak montaj klavuzlarında klasik (delme-patlatma) ve makine ile kazı

karşılaştırıldığında makine ile kazının (Dosko Mk2B) üstünlükleri Çizelge 3' de görülmektedir.

- Dosko Mk2B için 14° olan maksimum çalışma eğimi, yer altında kullanılan özel aparatla 30° eğime kadar çıkarılmıştır. G-03 klavuzda aparat kullanımı ile G-01 klavuzla göre net kazı hızında % 42 lik artış olduğu yapılan etüdlerden anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

Aydın, Y., Kaygusuz, Y. (2000) Modern Teknolojiyle Donatılan Park Teknik Çayırhan Kömür İşletmesinin Tanıtılması, Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, s. 117-128.

Bilim, N. (2007) Çayırhan Yer altı Kömür Ocağında Kazı Makinalarının Performanslarının Araştırılması ve Kayaç Özellikleri İle İlişkilendirilmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.

Çavuşoğlu, İ., Şenfilo, L., Tarhan, Ş. ve Turan, H. (2009) Çayırhan Yer altı İşletmelerinde Yüksek Arınlı Mekanize Uzunayakların Üretim Hızının İncelenmesi, Türkiye 2. Maden Makineleri Sempozyumu, Zonguldak, s. 129-142.

Çetin, O., Eyyüboğlu, E. M. (1994) Tam Mekanize Galeri Açma Çalışmalarının CPM İle Planlanması, Madencilik Dergisi, Sayı 4.

Eyyüboğlu, E. M., Bölükbaşı, N. (2004) TKİ-OAL Çayırhan İşletmesinde Hazırlık Çalışmalarının Değerlendirilmesi, Türkiye 14. Kömür Kongresi, Zonguldak.

Hekimoğlu, O. Z., Ayhan, M., Tiryaki, B. (2000) Türkiyede Kayaç ve Kömür Kesmede Kullanılan Mekanik Kazı Makinelerinin Performanslarının Değerlendirilmesi, Türkiye 5. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Isparta, s. 99-103.

Kahraman, E., Erdem, H. H., Sığircı, C. (2011) Çayırhan Linyit İşletmesi Yer altı Çalışanları İçin İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitim Kitabı, Teknik Not, Ankara, s. 31-32.

Özarslan, A. (1995) Uzunayak Kömür Madenciliğinde Tabanyollarının Tasarımı İçin Bir Mühendislik Klavuzunun Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.

Tatar, Ç. (1984) Çayırhan Bölgesinde Mekanize Kömür Üretimi ve Galeri Açmanın Pratik Sonuçları, Türkiye 4. Kömür Kongresi, Zonguldak.

ÇEŞİTLİ MAGMATİK KAYAÇLARDA UÇ AŞINMA İNDEKSLERİ İLE KAYAÇ ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ BAĞINTILAR

CORRELATIONS BETWEEN BIT WEAR INDEX AND ROCK PROPERTIES OF DIFFERENT MAGMATIC ROCKS

M. Kemal ÖZFIRAT, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Müh. Böl., İzmir*
Hayati YENİCE, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Müh. Böl., İzmir*

ÖZET

Aşınma, kazı sırasında birbirine temas eden kayaç ile keski arasındaki sürtünme kuvvetinden oluşan, kayaçta parçalanma kayaca göre daha sert olan metal uça kütle kaybı olarak ortaya çıkan bir olaydır. Keski aşınması, kayaç ve keski özelliklerine bağlıdır. Çalışmada, dokuz farklı noktadan magmatik kökenli kayaç numunesi kullanılmıştır. Örneklerin fiziksel, mekanik özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra, numunelerin DRI (delme oranı indeksi) ve AV (aşınma değeri) değerleri ile BWI (uç aşınma indeksi) değerleri bulunmuştur. Sonuç olarak, çalışılan magmatik kayaçların yoğunluk, sertlik, tek eksenli basma dayanımları, çekme dayanımları ile BWI ve AV değerleri arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Çalışmada Minitab istatistik programı kullanılmıştır.

ABSTRACT

Wear, appears as the mass loss of metal bit caused by friction between the rock and cutting bit during the excavation of the bit. Bit wears depend on the properties of the rock and bit. In this study, nine different igneous rock samples from different points of origin were used. Physical and mechanical properties of samples were determined. After that, DRI (drilling rate index), AV (abrasion value) and BWI (bit wear index) values of samples were found. As a result, meaningful relationships were figured out between density, hardness, uniaxial compressive strength, Brazilian tensile strength, BWI and AV values of samples. Minitab Statistical program have been used in the study.

1. GİRİŞ

Uç aşınma indeksi yapılan üretim çalışmalarında uç değiştirme zamanlarını belirlemede, uç maliyetlerini belirlemede ve uçların zamanında değiştirilerek kazı verimliliğini sağlamak açısından önemlidir. Kayaçların fiziksel, mekanik, kimyasal özellikleri ile uç aşınma indeksi, delinebilirlik oranı ve diğer özellikler arasında ilişkiler literatürde yapılmış çalışmalar tarafından araştırılmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar genellikle tünel kazı performans analizleri için yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda doğal taşlar üzerine aşınma, uç tüketimlerini tahmin etme üzerine araştırmalar fazla değildir. Doğaltaş sektöründe elmas tel kesme yönteminde, zincir kollu kesme makinaları için keski tüketimleri söz konusudur.

Uç aşınma indeksini etkileyen birçok faktör vardır. Teknik ve kayaca bağlı olarak yapılan çalışmalarda kesin sonuçlar elde edilemez. Ancak, sonuçlar uç aşınma değerlerini etkileyen parametreler ile ilgili tahmini sonuçlar elde edilmesini sağlar (West, G., 1989; Atkinson, H., 1993; Brook, N., 1993; Nelson, P.P., 1993). Bruland 1998'de delinebilirlik test metodlarını tünel kazılarında uç aşınmaları için kullanmıştır. Ersoy 2003'te PDC (polycrystalline diamond cutters) ve WC (tungsten carbide) uçlar için spesifik enerji üzerine çalışmıştır. Aşınma değerini etkileyen parametrelerin başında petrografik özellikler gelmektedir. Bazı araştırmacılar çalışmalarında, Rosiwall ve Mohs sertliklerinin korelasyonunu vererek uç aşınma indekslerini tahmin etmeye çalışmışlardır (Thuro K., Plinninger, R.J., 2003). Yaralı 2008'de yaptığı çalışmada kayaçların aşındırıcılıklarını belirleme üzerine çalışmıştır. Çopur vd. 2009'da doğaltaş sektöründe kullanılan zincirli kesme makinalarında köşe keskinin davranışları ve aşınmalarını incelemiştir.

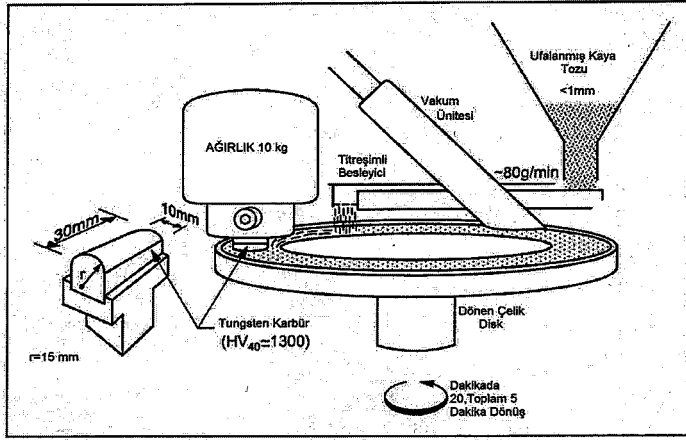
Çalışmada dokuz farklı noktadaki magmatik kökenli numunelere uç tüketimini belirlemeye yönelik aşınma değeri (AV) ve delme oranı indeksi değeri (DRI) deneyleri yapılmıştır. Bulunan değerlerden uç aşınma indeksleri (BWI) hesaplanmıştır. Daha sonra uç aşınma indeksleri ile kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki bağlantılar incelenmiş, bulunan bağlantılar ile sonuçlar verilmiştir.

2. AŞINMA DEĞERİNİN (AV) BULUNMASI

Yaklaşık 2 kg'lık temsili kaya numunesi veya kırılmalık testinden biriktirilen malzeme deneyde kullanılır. Deneyde kullanılacak numunenin tane boyutu dağılımı % 99 < 1 mm ve % 70 ± 5 < 0.5 mm olmalıdır. Diskin yüzeyinde, ince ve üniform bir aşındırıcı toz tabakası kaplanacak kadar titreşimli besleyici hızı ayarlanır (Şekil 1).

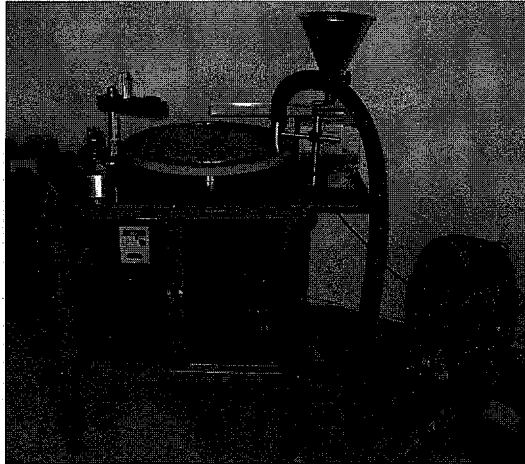
Tungsten karbür test parçaları dikkatlice temizlendikten sonra 0,001 g hassasiyetli terazide tartılır ve deneyden önceki aşındırıcı ucun kütlesi kaydedilir. Daha sonra test başlatılır ve 5 dakika teste devam edilir. Disk 5 dakika sonunda 100 tur döndükten sonra tungsten karbür uç çıkartılarak tekrar tartılır. Aradaki kütle farkının değeri AV değerini verir.

Deney 2-4 kez tekrar edilir. Yapılan deneylerin aritmetik ortalaması alınır. Her deneyde bulunan sonuçların son değeri 5 birimden fazla farklılık göstermemelidir.



Şekil 1. Aşınma değeri deney düzeneği (Dahl, 2003).

Deney boyunca, disk yüzeyine titreşimli besleyiciden beslenen malzeme tungsten karbür ucun altından geçtikten hemen sonra vakumlanır. Diğer taraftan yeni malzemenin disk üzerine beslenmesine devam edilir (Şekil 2).

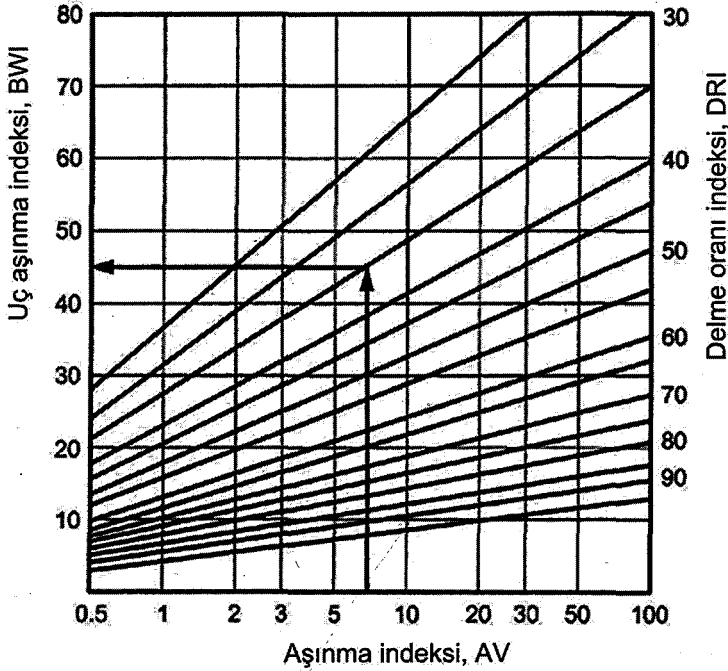


Şekil 2. Deney setinin görüntüsü.

3. KESKİ AŞINMA İNDEKSİ (BWI)

Keski aşınma indeksi değeri, üretimde kullanılacak kazı makinalarının keski dizaynlarında, keski ömürlerinin belirlenmesinde, keski değiştirme zamanlarının belirlenmesinde kullanılabilecek bir değerdir. Keski aşınma indeksini belirlemek için Şekil 3'teki grafik kullanılır. Uç aşınma indeksi değeri için numunelerin önce delme oranı indeksi (DRI: Drilling Rate Index) değerleri sonra aşınma değerleri belirlenir. Daha sonra Şekil 3'teki grafik yardımıyla keski aşınma indeksi bulunur. Çizelge 1'de

Dahl, 2003 tarafından uç aşınma indeksine göre kayaların sınıflandırıldığı değer aralıkları görülmektedir.



Şekil 3. Keski aşınma indeksinin belirlenmesi (Dahl, 2003).

Çizelge 1. Kayaların keski aşınma indekslerine göre sınıflandırılması (Dahl, 2003).

Sınıfı	Keski Aşınma İndeksi
Aşırı Düşük	≤ 10
Çok Düşük	11 – 20
Düşük	21 – 30
Orta	31 – 44
Yüksek	45 – 55
Çok Yüksek	56 – 69
Aşırı Yüksek	≥ 70

4. DENEY ÇALIŞMALARI

Çalışılan magmatik kayaç örneklerine, fiziksel özelliklerini belirlemek için ISRM 1981'e göre yoğunluk (Y), kuru birim hacim ağırlık (KBHA), porozite (P), shore

sertliği (SS) ve mohs sertliğini belirlemek için deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan numunelerin fiziksel değerleri.

Numune	Y (gr/ cm ³)	KBHA (kN/m ³)	P (%)	SS	Mohs sertliği
Bergama Granit	2,7	26,19	1,1	90	6,5
Yeşil Bazalt	2,71	24,92	5,56	58	5-5,5
Kozak Granit	2,65	25,70	0,92	87	6,5-7
Foça Bazalt	2,74	26,39	0,18	98	6,5-7
Giresun Granit	2,68	25,90	0,71	97	6,5-7
Bianco Granit	2,6	25,70	0,68	99	7-7,5
Sipahi Granit	2,64	25,51	1,43	75	3-3,5
Blue Pearl Granit	2,76	26,59	0,12	100	6,5-7
Rosa Porrino Granit	2,55	25,70	0,6	97	6,5-7

Deneyler sonucu bulunan aşınma değeri (AV) ile delme oranı indeksi (DRI) değerleri kullanılarak hesaplanan keski aşınma indeksi (BWI) değerleri Çizelge 3’de verilmiştir. Ayrıca ISRM 1981’e göre tek eksenli basma dayanımı (TEBD), çekme dayanımı (ÇD) değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 3. Numunelerin mekanik, delme oranı, aşınma ve keski aşınma değerleri.

Numune	TEBD (MPa)	ÇD (MPa)	DRI	AV	BWI
Bergama Granit	112	10,5	57	21,00	32,5
Yeşil Bazalt	99,19	7,42	54	5,00	26
Kozak Granit	177,8	7,66	48	16,00	38
Foça Bazalt	206,4	13,82	25	18,33	72
Giresun Granit	131,5	11,2	66,5	13,50	23
Bianco Granit	156	9,5	62	46,00	31
Sipahi Granit	121	11	73	32,00	22
Blue Pearl Granit	182	13,5	47	11,00	35,5
Rosa Porrino Granit	118	8	67,5	65,50	27,5

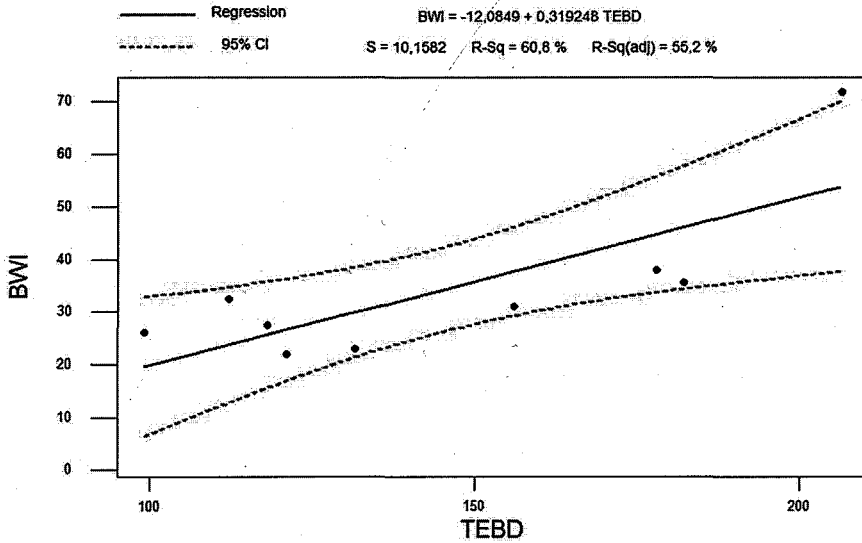
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Numunelerin yapılan deneyler sonucu hesaplanan delme oranı indeksi (DRI) ve keski aşınma indeksi (BWI) sonuçlarına göre sınıflandırmaları Çizelge 4’de verilmiştir. Çizelge 4’te görüldüğü gibi delinebilirliği düşük olan numunelerin uç aşınma indeksi değerleri yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4. Numunelerin delme oranı ve uç aşınma indeksi sınıfları.

Numune	DRI	Sınıfı	BWI	Sınıfı
Bergama Granit	57	orta	32,5	orta
Kozak Granit	48	orta	38	orta
Yeşil Bazalt	54	orta	26	düşük
Foça Bazalt	25	aşırı düşük	72	aşırı yüksek
Giresun Granit	66,5	yüksek	23	düşük
Bianco Granit	62	yüksek	31	orta
Sipahi Granit	73	çok yüksek	22	düşük
Blue Pearl Granit	47	orta	35,5	orta
Rosa Porrino Granit	67,5	yüksek	27,5	düşük

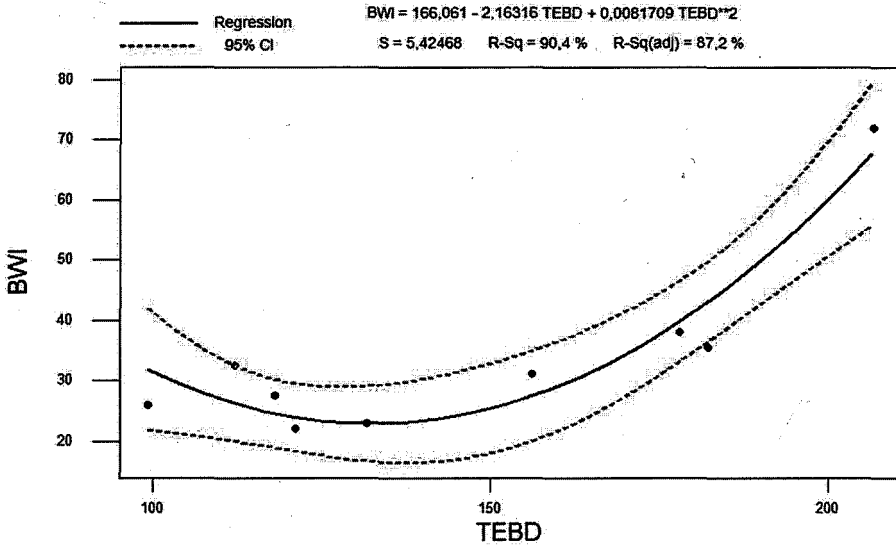
Şekil 4'te tek eksenli basma dayanımı ile uç aşınma indeksi arasındaki doğrusal ilişki görülmektedir. Doğrulama katsayısı %55,2'dir. Şekilde %95 güven aralığının dışında sadece bir numune görülmektedir. Buna göre çalışılan numunelerin dayanımları artıkça uç aşınma indeksleri artmaktadır.



Şekil 4. Numunelerin BWI ile TEBD değerleri arasındaki doğrusal ilişki.

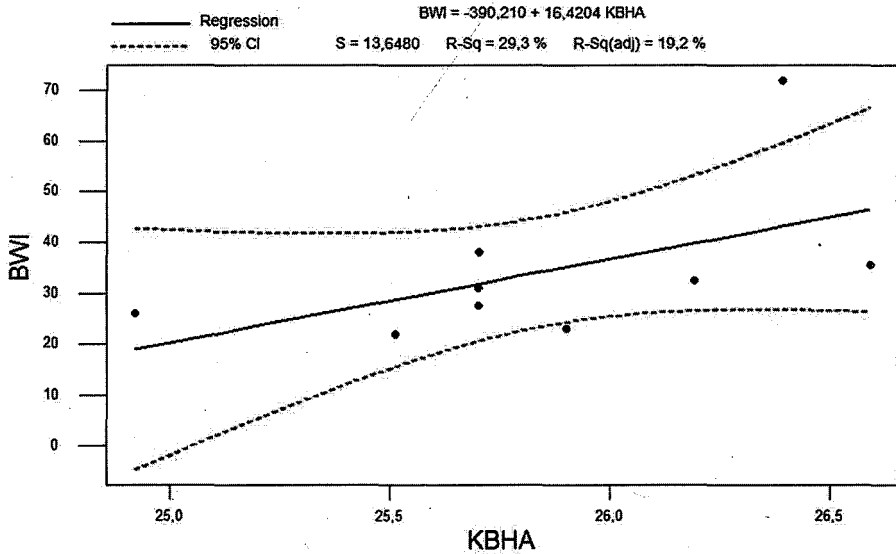
$$BWI = -12,0849 + 0,319248 TEBD \quad R^2 = \%60,8 \quad R^2 (adj) = \%55,2 \quad [1]$$

Şekil 5'te ise tek eksenli basma dayanımı ile uç aşınma indeksi ilişkisinin üssel değişimi gösterilmiştir. Doğrulama katsayısı %87,2 olarak görülmektedir.



Şekil 5. Magmatik kökenli kayaların BWI ile TEBD değerleri arasındaki üssel ilişki.

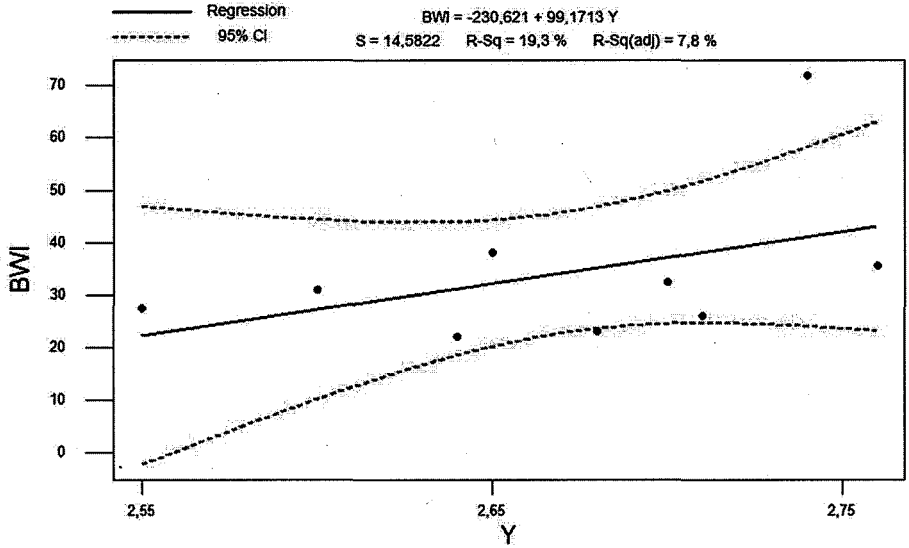
$$BWI = 166,06 - 2,16 TEBD + 0,008 TEBD^2 \quad R^2 = \%90,4 \quad R^2 (adj) = \%87,2 \quad [2]$$



Şekil 6. BWI ile KBHA değerleri arasındaki bağıntı grafiği.

Şekil 6'da kayaların kuru birim hacim ağırlığı ile uç aşınma indeksi arasında zayıf doğrusal bir ilişki görülmektedir. 3 no'lu denklemde %19,2'lik doğruluk ile verilmiştir.

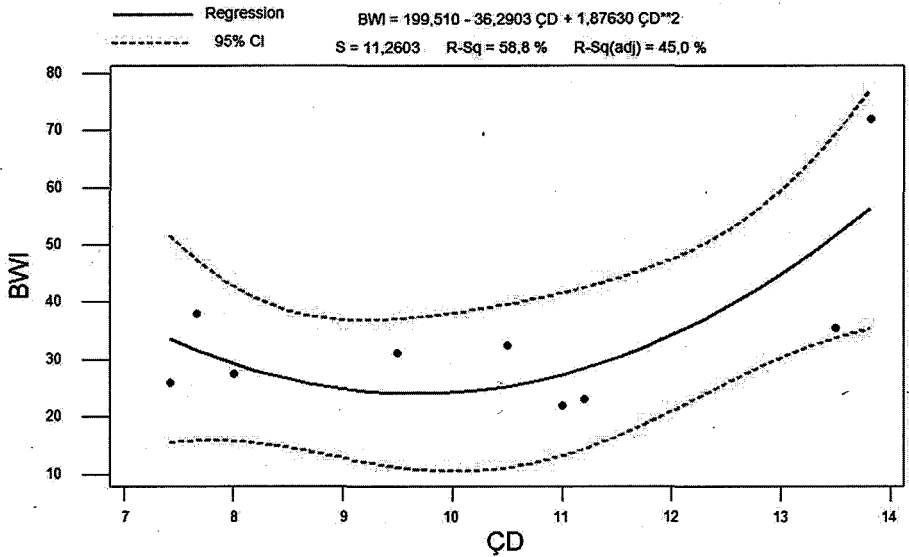
$$BWI = -390,21 + 16,42 KBHA \quad R^2 = \%29,3 \quad R^2 (adj) = \%19,2 \quad [3]$$



Şekil 7. BWI ile yoğunluk değerleri arasındaki ilişki grafiği.

Şekil 7’de kayaçların yoğunluğu ile uç aşınma indeksi arasında zayıf doğrusal bir ilişki görülmektedir. Arasındaki eşitlik 4 no’lu denklemde verilmektedir.

$$BWI = -230,62 + 99,17 Y \quad R^2 = \%19,3 \quad R^2 (adj) = \%7,8 \quad [4]$$



Şekil 8. BWI ile çekme dayanımları (ÇD) değerleri arasındaki ilişki.

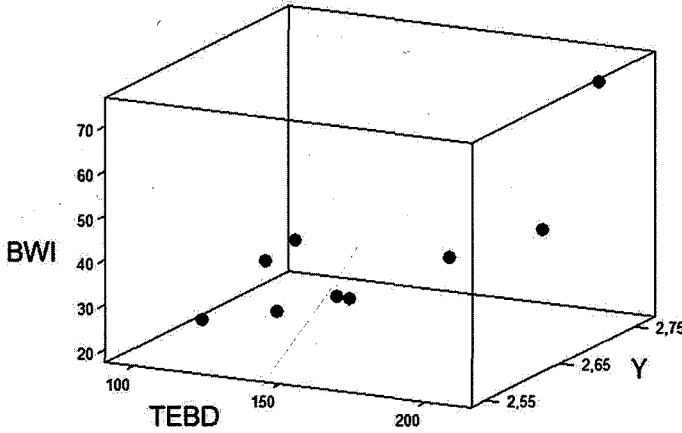
Şekil 8’de ise BWI ile çekme dayanımı arasında üssel bir ilişkinin olduğu %45 doğruluk katsayısı ile verilmiştir. Aradaki eşitlik ise (5) nolu denklemde görülmektedir.

$$BWI = 199,51 - 36,29 \text{ ÇD} + 1,876 \text{ ÇD}^2 \quad R^2 = \%19,3 \quad R^2 (\text{adj}) = \%7,8 \quad [5]$$

Tekli regresyonlar yapıldıktan sonra çoklu regresyonlarda yapılmıştır. Uç aşınma indeksinin, tek eksenli basma dayanımı ve yoğunluk cinsinden nasıl değiştiği (6) nolu denklemde verilmiştir. Grafik ise Şekil 9'da gösterilmiştir. Uç aşınma indeksinin tek eksenli basma dayanımı ve yoğunlukla %51,6'lık doğrulama katsayısı ile bağıntılı olduğu görülmektedir. Yoğunluk ve TEBD değerleri arttıkça uç aşınma indeks değerleri de artmaktadır.

$$BWI = -118 + 0,292 \text{ TEBD} + 41,0 \text{ Y} \quad R^2 = 63,7\% \quad R^2 (\text{adj}) = 51,6\% \quad [6]$$

(6) nolu denklemle göre BWI, tek eksenli basma dayanımı ve yoğunluk ile %51,6 doğruluk katsayısı ile değişmektedir.



Şekil 9. BWI ile TEBD ve Y değerleri arasındaki ilişki.

[7-9] nolu denklemlerde uç aşınma indeksinin kayaç özellikleri ile çoklu regresyon eşitlikleri verilmiştir.

$$BWI = -15,8 + 0,292 \text{ TEBD} + 0,74 \text{ ÇD} \quad R^2 = 61,8\% \quad R^2 (\text{adj}) = 49,0\% \quad [7]$$

$$BWI = -116 + 0,291 \text{ TEBD} + 0,04 \text{ ÇD} + 40,3 \text{ Y} \quad R^2 = 63,7\% \quad R^2 (\text{adj}) = 41,9\% \quad [8]$$

$$BWI = -2,8 + 0,354 \text{ TEBD} - 0,161 \text{ SS} \quad R^2 = 62,3\% \quad R^2 (\text{adj}) = 49,8\% \quad [9]$$

[10-13] nolu denklemlerde aşınma indeksinin kayaç özellikleri ile çoklu regresyon eşitlikleri verilmiştir. Aşınma değerleri ile kayaç özellikleri arasındaki bağıntıların doğrulama katsayılarının yüksek olduğu görülmektedir.

$$AV = 729 + 0,080 \text{ TEBD} - 268 \text{ Y} \quad R^2 = 78,7\% \quad R^2 (\text{adj}) = 71,6\% \quad [10]$$

$$AV = 679 - 244 \text{ Y} - 2,93 \text{ P} \quad R^2 = 82,9\% \quad R^2 (\text{adj}) = 77,2\% \quad [11]$$

$$AV = 871 + 0,0110 \text{ TEBD} + 3,65 \text{ ÇD} - 330 \text{ Y} \quad R^2 = 88,3\% \quad R^2 (\text{adj}) = 81,3\% \quad [12]$$

$$AV = 663 - 0,033 \text{ TEBD} - 3,40 \text{ P} - 236 \text{ Y} \quad R^2 = 83,1\% \quad R^2 (\text{adj}) = 72,9\% \quad [13]$$

6. SONUÇ

Yapılan çalışmaların sonucunda çalışılan kayaçlar için en güçlü bağıntı tek eksenli basma dayanımı ile uç aşınma indeksi arasında bulunmuştur. Tekli regresyonda doğrulama katsayısı her iki değişken arasında %87,2 olarak sonuçlanmıştır. Buna göre dayanımı yüksek kayaçlarda kazı yaparken oluşan uç aşınmaları ve tüketimi fazla olacaktır. Bunun dışında uç aşınma indeksi ile kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri arasında tekli ve çoklu regresyon analizlerinin bağıntıları çalışmada incelenmiştir. Son olarak aşınma değeri ile kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki çoklu regresyonlar, doğrulama katsayıları yüksek olan bağıntıları ortaya çıkarmıştır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri destekleme fonuna cihazların yaptırılmasında sağladığı maddi destek için teşekkür ederler. Ayrıca, Yrd. Doç. Dr. Olgay Yaralı'ya yardımları için, Doç. Dr. Zeki Karaca'ya numune desteği için ve deney setlerinin orijinalini geliştiren SINTEF'e teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Atkinson, H. (1993). Hardness tests for rock characterization. In: Hudson, J. (ed), *Comprehensive rock engineering. Principles, practice & projects*, Vol. 3, Pergamon, Oxford, pp. 105-117.
- Brook, N. (1993). The measurement and estimation of basic rock strength. In: Hudson, J. (ed), *Comprehensive rock engineering. Principles, practice and projects*, Vol. 3, Pergamon, Oxford, pp. 41-81.
- Bruland, A. (1998). Hard rock tunnel boring: Drillability test methods, *Project report 13A-98*, NTNU, Angleggsdrift, Trondheim, p. 23.
- Çopur, H., Balcı, C., Tumaç, D., Bilgin, N. (2009). Zincirli kesme makinalarının performans tahminine yönelik yapılan köşe kesme deneyleri ve yorumu, *Türkiye 2. Maden makinaları sempozyumu bildiriler kitabı*, M.E. Bilir, ve B. Ekmekçi (eds), Zonguldak, pp. 79-91.
- Dahl, F. (2003). *DRI, BWI, CLI Standarts*, NTNU, Angleggsdrift, Trondheim, p. 21.
- Dahl, F., Grøv, E., Breivik, T. (2006). Development of a new direct test method for estimating cutter life, based on the Sievers'J miniature drill test, *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 22, pp. 106-116.
- Ersoy, A. (2003). Automatic drilling control based on minimum drilling specific energy using PDC and WC bits, *Mining Technology: IMM Transactions section A*, Vol. 112, pp. 86-96.
- ISRM, (1981). *Rock Characterization, Testing and Monitoring-ISRM Suggested Methods*, Brown. E.T., (ed), Pergamon Press, p. 211.

Minitab (2000). *Statistical Software*, USA.

Nelson, P.P. (1993). TBM performance analysis with reference to rock properties. In: Hudson, J. (ed), *Comprehensive rock engineering, principles, practice and projects*. Vol. 4, Pergamon, Oxford, pp. 261-291.

Thuro, K., Plinninger RJ. (2003). Hard Rock Tunnel Boring, Cutting, drilling and blasting: rock parameters for excavability, *Proceedings of the 10th ISRM Int. Congress on Rock Mech.*, South Africa, pp. 1227-1234.

West, G. (1989). Rock abrasiveness testing for tunneling. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstracts*, Vol. 26, pp. 151-160.

Yaralı, O. (2008). Kayaçların Delinebilirlik ve Aşındırıcılıklarının Belirlenmesi, *Türkiye 16. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Zonguldak, pp. 65-77.

İŞ MAKİNASI LASTİKLERİ UYGUN LASTİK SEÇİMİ, DOĞRU KULLANIMI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

AVAILABLE SELECTION OF WORKING MACHINE TIRES, CORRECT USAGE AND EVALUATION

Şebnem SALGUR, *Maden Mühendisi, İzmir*

ÖZET

Açık ve kapalı maden işletmelerinde, taş ocaklarında, limanlarda ve inşaat sektöründe oldukça büyük miktarda iş makinaları ve dolayısıyla iş makinası lastikleri mevcuttur. Bu çalışmada, iş makinelerinin önemli parçalarından olan lastiğin incelenmesi, kullanımı, doğru lastik seçimi, kaplanarak tekrar kullanılabilirliği ve ülke ekonomisine katkısı, kullanım süresi bittikten sonra geri kazanımıyla ilgili bilgiler sunulmaktadır.

ABSTRACT

A huge amount working machines and tires are available in open pit mines and underground mines, stone quarries, seaports and construction sector. In this study, tire which is one of important parts of working machines is examined. Also, informations are presented about usage and accurate selection of tyre, reusable of tyre with covering, contribution of national economy and recycel after lifespan.

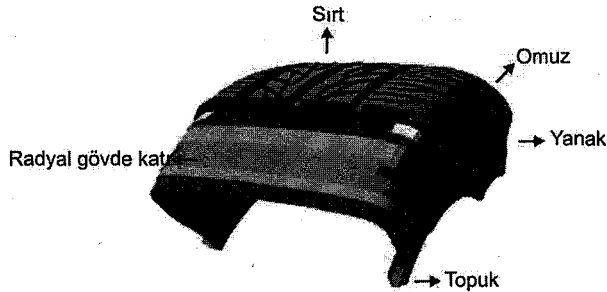
1. GİRİŞ

Lastik genel olarak, kauçuk, karbon karası, kord bezleri, çelik teller ve kimyasal maddelerden oluşmaktadır. İçerisinde, 200'den fazla hammadde bulunan yüksek teknoloji karmasık bir üründür.

Bir lastiğin başlıca işlevleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- İş makinesini ve tüm yükünü taşımak
- Kalkış ve fren anında ortaya çıkan büyük yük transferine mukavemet göstermek
- Zemine motorun gücünü aktarmak
- İş makinesini emniyetle yönlendirmek, savrulmayı engelleyerek dengede tutmak
- İş makinesinin uzun ömürlü olması için yolun pürüzlerinin etkisini azaltmak
- Operatörün işini yaparken rahat çalışmasını sağlamak

Hava basıncını lastik içinde tutan, yükü taşıyan ve sarsıntıları taşıyan kısma karkas denir. Bir lastik sırt, omuz, yanak ve topuk bölgesi olmak üzere dört ana kısımdan oluşur (Şekil 1). Sırt, lastiğin zemine temas ettiği kauçuk bölümüdür. Yola tutunmayı, çekişi sağlar, kanal ve bloklardan oluşmuştur. Üretim sırasında kuşakların üstüne yerleştirilir. İki veya tek katmanlı olup, farklı kauçuk karışımlarından meydana gelir. Lastiğin sırt deseni kalıpta, sırt karışımının şekillenmesi ile pişirme sırasında olur. Kuşak radyal lastiklerde sırt ve gövde arasında, gövdenin üst kısmında bulunan lastiği çevresel olarak sararak yapıyı kuvvetlendiren çelik, naylon vb. maddelerden oluşan lastik bileşenidir. Ana fonksiyonu, lastiğin sırt bölgesinde dengeyi sağlamak, düzensiz aşınmayı engellemek, sürtüş ve çekişe katkıda bulunmaktır. Omuz, lastiğin sırtından yanak kısmına geçiş yaptığı kalın kauçuktan yapılmış üst yanak bölgesidir. Sırt ısını dışarı atabilmek için pencere yapıdadır. Görevi gövdeyi korumaktır. Yanak, lastiğin çevresi boyunca sırt ve topuk bölgeleri arasında kalan yola temas etmeyen kauçuk kısmıdır. Lastiğin yanak kısmında mukavim ve hava etkilerine karşı dayanıklı karışım kullanılır. Gövdeyi yandan gelecek sürtünmelere karşı korur ve lastiğe esneklik sağlar. Tüm markalama ve ebat yazıları yanak üzerinde bulunur.



Şekil 1. Lastiği oluşturan bölümler.

Topuk, lastiğin janta temas eden bölgesinde bulunan lastik bileşenlerinin tümüdür. Yan yana gelmiş ve kauçuk karışımı ile birbirine bağlanmış topuk teli demeti, topuk dolgusu ve jant yastığı başlıca topuk bileşenleridir.

Lastikler gövde yapılarına göre konvansiyonel ve radyal olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Lastik teknolojisinin doğuşu konvansiyonel tip lastiklerden olmuştur. Konvansiyonel lastiklerde karkası oluşturan katlardaki “kord” lar, bir damaktan diğer damağa yaklaşık 45° lik açılarla üst üste çapraz şekilde yer alır. Bu lastiklere aynı zamanda “diagonal, bias” veya çapraz katlı” lastikler de denilmektedir. Zor esneyen, sert, yüke dayanıklı bir lastik türüdür. Lastiğin ilk üretildiği 1890’lı yıllardan bu yana günümüzde azalmakla birlikte özellikle ağır vasıtalarda başarı ile kullanılmaktadır (www.ito.org.tr).

Radyal lastikler, modern ve yüksek güçteki araçların gereksinimleri sonucu, lastik teknolojisindeki gelişmelerin ortaya çıkardığı lastiklerdir. Radyal lastiklerin yapısını meydana getiren kordlar (çelik veya rayon), bir damaktan diğer bir damağa lastik sırtının merkez hattına yaklaşık 90°’lik açılarla yer alır ve bez katlarının üstünde yaklaşık 15°’lik kuşaklar (belt) bulunmaktadır (MEGEP, 2008).

2. DOĞRU LASTİK SEÇİMİ

Açık ocak işletmeciliği, taşocağı, liman ve endüstriyel işletmeler gibi çalışma sahalarında verimlilik, karlılık ve performans artışı için düşük saat başı maliyet ve dolayısıyla uzun ömre sahip lastik seçimi oldukça önemli bir konudur. İş makinesi lastik seçiminde en önemli nokta, kullanım sahasına uygun desen ve yapıda karkasa sahip lastik seçimidir. Özellikle radyal iş makinesi lastikleri, ağır çalışma koşullarında bile üstün çekiş, koruma ve mükemmel performans özellikleri ile işletme maliyetlerini düşürmekte ve verimliliği arttırmaktadır.

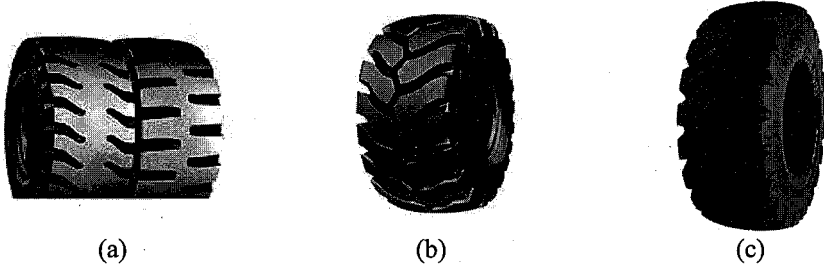
Büyük iş makinası (OTR - Off The Road) lastik üreticisi firmalar, iş makinelerinin çalışma sahalarındaki sorunları inceleyerek en uygun lastiğin kullanılması konusunda ciddi saha çalışmaları yaparak oluşabilecek sorunlara çözüm üretebilmektedirler.

Lastiğin sırt deseni, artırılmış diş derinliği, omuz yapısı, yanak deseni ve karkas yapısı bakımından hemen hemen bütün büyük üreticiler tarafından birbirine eşdeğer alternatif ürünler sunmaktadırlar. Her markanın rakip markalar için ürettiği eşdeğer yapıda lastiği vardır. Uygun lastik seçimi geliştirilmiş tutunma ve çekiş, iyileştirilmiş dengeli sürüş, darbe ve yaralanmalara karşı üstün koruma, düşük yuvarlanma direnci, düşük birim maliyet gibi avantajlar sağlamaktadır (www.tama.com.tr). Kullanılacak zemine göre üretilen lastikler farklı teknolojik yapıya sahiptir. Sürekli asfalt yolda kullanılan lastiklerin taban ve yanaklarında batık, kesik ve kopmaya karşı direnç azdır. Sadece şantiyede kullanılacak lastiklerde ise maksimum koruma vardır ancak asfaltta kullanılmaları halinde sürat ve ısıya dirençleri azdır, dolayısıyla asfaltta hemen arıza yaparlar. Hem asfalt hem de bozuk zeminde kullanılan nispeten süratle dayanıklı olan "yol içi-yol dışı" diye adlandırılan lastikler bu gibi durumlara daha elverişlidir. Asfalt lastiklerin çeker dingiller için imal edilmiş olanlarının kullanımı diş kopmaları ve taş sıkışmalarına neden olmaktadır. Bu batıklar su sızması nedeniyle çelik kuşaklarda paslanma ve ayrışmaya dolayısıyla karkasın servis dışı olmasına neden olmaktadır.

İnşaat, taşocağı, yeraltı ve açık maden işletmelerinde her türlü ağır kullanım şartlarına uygun lastikler, yükleyici (Loder) için L3- L4- L5, ağır hizmet kaya kamyonu (Earth mover) için E3-E4-E5, greyder için G2-G3 gibi ürün gruplarında üretilmektedir. Artan

rakamlar lastiğın çalışma koşullarının zorluğuna göre mukavemetinin artırıldığını ifade eder. Genel olarak madenlerde kullanılan iş makinalarında lastik seçimi madenin türüne ve çalışma zeminin özelliklerine göre yapılmaktadır.

Açık maden işletmelerinde lastiğın kullanıldığı maden makinaları yükleyici ve kaya kamyonlarıdır. Yükleyiciler için, eğer zemin sert ve keskin yapıda ise kullanılması gereken kesilmeye karşı dayanıklı özel kauçuktan yapılmış, diş derinliği arttırılmış, mümkün olduğunca düze yakın, yanak mukavemeti güçlendirilmiş bir lastik olmalıdır (Şekil 2a). Eğer ocakta çekiş gücü gerektiren bir zemin mevcut ise bu durumda çekiş ve tutunma gücü geliştirilmiş bir lastik kullanılmalıdır.



Şekil 2. Açık işletmelerde çalışma zeminine bağlı lastik seçimi ve desenleri.

Kaya kamyonları için ise, zeminin mermer ve granit gibi kesici bir yapıda olduğunu durumlarda, ulaşım yolu da gözönünde bulundurulduğunda, çekiş gücü gerektiren, kesiğe karşı dayanıklı, diş derinliği arttırılmış, agresif sırt desenli ve yanakları güçlendirilmiş radyal bir lastik tercih edilmelidir. (Şekil 2b,2c)

Yeraltı madenlerinde kullanılan lastikli maden makinaları yeraltı yükleyicisi ve yeraltı kamyonlarıdır (Şekil 3).



Şekil 3. Yeraltı işletmelerinde kullanılan lastikler.

Seçilen lastik daha çok diş derinliği arttırılmış, kesiğe dayanıklı düze yakın desende seçilmelidir (Şekil 4).



Şekil 4. Yeraltı işletmelerinde kullanılan lastik desenleri.

Taş ocağı ve çimento sektöründeki lastikli iş makinalarında kullanılan lastikler fabrikada düz zeminde çalışan bir lastikse, daha düz desen ve diş derinliği normal olan bir lastik yeterli olacaktır. Ocaklarda ise, yükleyici, greyder, kaya kamyonu, belden kırma kaya kamyonu ve scraper kullanılması durumunda, yumuşak zeminlerde çekiş gücü yüksek, çok iyi yanal tutunmaya sahip, yuvarlanma direnci düşük olan lastikler tercih edilmelidir (Şekil 5).



Yükleyici



Greyder



Scraper



Kaya kamyonu

Şekil 5. Taş ocağı ve çimento sektöründeki lastikli iş makinalarında kullanılan lastik desenleri.

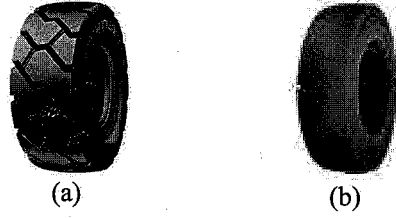
Mermer ocaklarında zorlu çalışma koşullarında ekstra dişli radyal, yüksek tork uygulamalarında maksimum aşınmaya yönelik üretilmiş olan özel kauçuk, yanak mukavemeti arttırılmış, çekişi destekleyen özel sırt desenine sahip bir lastik kullanılması uygun olacaktır. Mermer ocaklarında kesilme riski düşünülerek lastiklere zincir takılabilmektedir. Lastik koruma zincirinin amacı lastiğin yırtılma, kesilme gibi sorunlara maruz kalmasını engelleyip çalışma ömrünü uzatmak, bu sayede lastikten en yüksek performansı elde etmektir. Böylece arıza riskleri azalmakta, bakım süreleri uzamaktadır. Lastiğe takılan zincirin en büyük dezavantajı yakıt maliyetini arttırmasıdır (Şekil 6).



Şekil 6. Mermer ocağında çalışan iş makinesi ve lastiğine takılmış zincir.

İnşaat sektöründe kullanılan iş makinalarının lastik seçiminde madenler gibi agresif bir zemin olmadığı için çekiş ve tutunma özelliği yüksek olan, düşük yuvarlanma direncine sahip olan lastikler tercih edilmelidir. Ancak zeminin kesici malzemeler içermesi durumunda kesilmeye karşı güçlendirilmiş, kopma riskini de göz önüne alarak daha az diş desenli lastikler tercih edilmelidir.

Limanlarda ve konteyner sahalarında kullanılan konteyner taşıyıcılar ve liman içi çekicilerde kullanılan lastikler, zemin düz olduğu için desensiz ve esnek karkas yapısına sahip lastikler olmalıdır (Şekil 7a ve 7b).



Şekil 7. Liman ve konteyner sahalarındaki lastikli iş makinalarında kullanılan lastik desenleri.

3. LASTİKLERİNİN DOĞRU KULLANIMI, LASTİKLERDE OLUŞABİLECEK PROBLEMLER VE NEDENLERİ

Lastiğin performansını etkileyen en önemli etken lastik basıncıdır. Yanlış basınç uygulanması bir lastiğin yol tutuşuna ve frene etki edebileceği gibi lastiğin iç ısısının aşırı yükselerek aniden patlamasına yol açar. Tüm lastiklerin, soğuk ve sıcak halde iken periyodik olarak hava basınç ölçümleri yapılmalıdır. Bir araçta kullanılan tüm lastiklerin hava basıncı değerleri aynı ve lastik üreticisinin önerdiği değerlerde olmalıdır.

Akslar ve lastiklere gelen yük değerleri katalog değerlerini aşmamalıdır. Yükleme uygun boyuttaki yükleyicilerle düzgün şekilde yapılmalıdır. Öngörülenin üzerindeki yüklemeler lastiğin çabuk ısınmasına, yanak, omuz ve topuk bölgelerinde arıza vererek hızlı aşınmasına, bunu yanı sıra kullanılan karayollarının da bozulmasına sebep olmaktadır (Öz, 2010).

Çalışma hızı, iş makinası üreticisinin ve lastik üreticisinin tavsiye ettiği aralıklarında olmalı, belirtilen değerleri aşmamalıdır. Aşırı hız sırt hareket frekansını ve ani fren sıklığını arttırmakta, yol üzerindeki engellerle sıkça çarpışma yaşanarak lastik hasarlarına neden olabilmektedir. Ayrıca hızlı araç kullanımı, lastik ömrünün azalmasına ve daha fazla yakıt sarfiyatına sebep olur.

Yetersiz yol bakımı sonucunda lastik hasarları artar. Aşırı aşınma ve kesiklerin oluşması nedeniyle lastik ömrü azalır.

Sırt bölgesi bir lastiğin yola basan kısmıdır. Lastik tekerlekli bir aracın diferansiyeline bağlı tekerlerinin ölçüleri her koşulda ve mutlak anlamda eşit olmalıdır. Aksi takdirde sık sık diferansiyel arızası meydana gelecektir. Lastik eskidikçe çekiş azalır. Zamanla lastiğin üzerindeki desen aşınarak kullanılmaz seviyeye gelir. Dış derinliği 3 mm'nin altına inmiş lastikleri kullanmak can ve mal emniyeti bakımından tehlikeli olduğu gibi bir çok ülkede kanunen de yasaktır.

Lastiklerin kullanıldığı araçların bakımsız olması neticesinde mekanik ayarlarının bozuk olması, yağ kaçaqlarının olması (lastiklere yağ bulaşması neticesi kauçuğun etkilenmesi) lastik ömrünü doğrudan etkilemektedir. Aracın mekanik ve süspansiyon sistemlerindeki aksaklıklar nedeni ile direksiyon ve araç yönü aynı olmayabilir. Ön düzen bozukluğu sadece lastiklerde ekonomik kayba neden olmakla kalmaz aynı zamanda aracın süspansiyon ve döner aksamına da zarar vererek zaman içerisinde

yüksek mekanik tamir ve bakım masraflarına yol açar. Ayarsız frenler, lastiklerde düzensiz ve hızlı aşınmalarına neden olur. Ani ve sert frenlemelerde kuvvet dağılımı lastiğe göre farklı olacağından, blok tipi aşınma olması ihtimali artar.

Lastiklerin açık havada (ozon ve güneş ışınlarına doğrudan maruz kalmaları) depolanması ve uygun olmayan araçlarla taşınması (topukların veya yanakların zedelenmesi) lastik ömrünü etkiler. İş makinası lastiklerinde oluşabilecek başlıca sorunlar ve sebepleri Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. İş makinası lastiklerinde oluşabilecek başlıca sorunlar ve sebepleri.

Sorunlar	Sebepleri
Diş kauçuğunun parçalanması Topuk arızaları	Doğru seçilmeyen lastik Düşük basınçtan kaynaklanan topuk açılmaları ve doğru jantla eşleşmeme
Yanak kesilmeleri	Doğru lastik seçilmemesi, çok sorunlu maden ocaklarında, yeraltı madenlerinde, hafriyat ve hurda sahalarında lastiğin kesilerek özellikle yanak kısımlarından zarar görmesi, lastik ömrünü direk olarak etkiler ve bitirir. Bu gibi sahalarda lastiğin zincirle korunması, silikon ile doldurulması diğer çözümlerdir.
Eşit aşınmama	Doğru eşleşmeme ve hava basıncı
Lastik omuzlarının aşırı aşınması	Bozuk röt ayarı, düşük hava basıncı, uygun olmayan jant kullanımı, doğru lastik seçilmemesi
Taban merkezli aşınma, yalpalama ve vuruntu	Balans bozukluğu, uygun olmayan jant kullanımı, jant veya mekanik aksamda ayarsızlık, yüksek hava basıncı
Durma anında ve virajda lastiklerin ses çıkarması	Düşük hava basıncı
Aşırı aşınma	Ani durma ve kalkmalar, bozuk satıh, sıcaklık, hız, düşük hava basıncı

4. LASTİKLERİN KAPLANARAK TEKRAR KULLANIMI

Madencilik sektöründeki hızlı gelişim ve Türkiye’de yapımı devam eden 100’ün üzerinde baraj mevcut olduğu düşünüldüğünde, sektörde çalışan iş makinası 2010 yılı sonu itibarıyla sadece loder olarak ele alındığında yaklaşık 20.000 adet civarında olup yaklaşık 80.000 adet iş makinesi lastiğinden söz etmek mümkündür. İş makinesi lastiklerinin genel olarak fiyatların yüksek oluşu, planlanan ötesinde makine satışı dolayısıyla lastiklerin tedarik zorlukları göz önüne alındığında lastiklerin kaplanarak tekrar kullanılması zorunluluk ve ülke ekonomisi açısından da önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. İş makineleri alanında yılda 20.000’den fazla lastiğin yeniden kaplandığı bilinmektedir. Kaplama işlemi sonunda aynı lastiğin kaplama tekniğine ve kaplama kauçuğunun kalitesine göre 2 ile 4 defa kullanılabilirliği vardır. Bunda aynı zamanda karkasın kalitesi de çok önemli bir faktördür.

Lastik kaplama işlemi, lastiğin %20'lik kısmını oluşturan taban (sırt) bölgesinin aşınması durumunda yeni bir görüntü ile kaplanarak yenilenmesi sürecidir. Bu sayede dünyamızda kısıtlı bulunan doğal kaynakların önemli bir kısmından tasarruf edilmesini sağlamaktadır. Zira ortalama bir lastiğin yapılması için 33 litre petrol kullanılmakta iken aynı lastiğin kaplanması için gereken petrol 7 litre ile sınırlıdır. Lastik kaplama işlemi, milli ekonomiye büyük katkı sağlaması yanında tam manasıyla bir çevre dostu olup, çevreye atık olarak terk edilecek lastiklerin tekrar geri kazanımını da sağlamaktadır.

Bu işlem karkasın ömrünü ve kalitesini koruma açısından çok önemlidir. Kaplama türleri sıcak, soğuk ve orbit (şerit) lastik kaplama olarak üç şekilde yapılabilir. Sıcak kaplama sisteminde aşınmış kısım temizlenerek bir lastiğe pişirilmemiş sırt kauçuğu uygulanmaktadır. Lastik daha sonra bir kalıp içinde ısıtılmakta ve kauçuk pişerek yenilenmiş lastiği oluşturmaktadır. Her markanın aynı ebatla olsa, karkas yapısı ve ebatı farklıdır. Lastiğin yeniden yapılacak dış derinliği kalıplarla sınırlıdır. Yüksek sıcaklık lastiğin kaplanmasının tekrarında karkas yapısına zarar verebilir. Soğuk kaplama sisteminde önceden pişirilerek deseni verilmiş yerli veya ithal sırt kauçuklarını kullanarak fırınlarda basınçla lastiklerin yenilenmesi sistemidir. Sistemde zaman zaman ortaya sırtın karkasa iyi yapışmamasından kaynaklanan sorunlar çıkabilir. Orbit (şerit) kaplama ise 4-5 cm genişliğinde kauçuk şeritlerin karkasın üzerine istenilen kalınlıkta sarılması, otoklavda belli bir basınç ve sıcaklık altında pişirilmesi ve ardından dış açılması şeklindeki kaplama çeşididir.

Tekrar kaplanmış lastikler, son teknolojiye yapılan kaplama yöntemleri ile, yeni lastiklerle aynı güvenlik ve performans standartlarına sahiptir. Lastiklerin tekrar kaplanmasının depolama sahalarındaki kullanım alanı artması yanında daha birçok avantajı vardır. Yeni lastik üretimi için kullanılan yağ korunur ve hem satıcı hemde üretici için ekonomik faydalar sağlar. Bu lastikler yeni lastiklerle karşılaştırıldığında aynı mesafe yolu ilerlerken maliyet olarak da %50 daha ucuzdur.

Lastiklerin kaplanarak tekrar kullanımının maliyet açısından önemini aşağıdaki örnekten açıkça görmek mümkündür.

Makine : Loder
Lastik ebatı : 26,5 R 25
Kaplama türü : Orbit
Maden : Feldspat

Yeni bir iş makinasında lastiğin ömrü maden ocaklarında ortalama 4250 saat civarında olup 2011 rakamları ile fiyatı 6500 TL'dir. (kdv hariç)

Yeni lastik için birim maliyet = $6500 \text{ TL} / 4250 \text{ saat} = 1,52 \text{ TL/saat}$ olarak gerçekleşir.

Orbit kaplama ile madenlerde yeni lastik performansına eş yaklaşık 4000 saat lastik ömrü sağlanabilmektedir.

Kaplama fiyatı 2011 yılı fiyatlarıyla ortalama 2500 TL'dir. (kdv hariç).

Kaplanmış lastik için birim maliyet
= $2500 \text{ TL} / 4000 \text{ saat}$
= $0,62 \text{ TL/saat}$

5. LASTİKLERİN GERİ DÖNÜŞÜMÜ

Yeniden değerlendirilme imkanı olan atıkların çeşitli fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerden geçirilerek ikincil hammaddeye dönüştürülerek tekrar üretim sürecine dahil edilmesine geri dönüşüm denilmektedir. Lastik üretiminde kullanılan materyaller olağanüstü kuvvetlidir. Eski lastikler tekrar kaplansa bile üzerlerindeki bireysel bileşimler bağlı olarak kalır. Teknik olarak lastiğin kullanım süresi dolduğunda, ömrünü tamamladığında tüm kauçuk, çelik ve kumaş geri kazanılabilir.

Her yıl Türkiye'de yaklaşık olarak 180.000-200.000 ton civarında ömrünü tamamlamış lastik (ÖTL-ömrünü tamamlamış lastik) olduğu hesaplanmakta olup, bu lastiklerin geri kazanım/geri dönüşümünün sağlanması ekonomi ve çevre açısından çok önemlidir (www.lasder.org). Eski lastiklerin geri kazanımı için çeşitli teknikler mevcuttur. (Şekil 8).



Şekil 8. Geri dönüşüm kanalları.

Doğrudan değerlendirme birçok lastik üzerindeki dişleri aşınmadan atılmaktadır. Bunlar bir lastik deposunda toplanıp kullanılmış lastik piyasasında tekrar satışa sunulabilir. Kullanılmış ve tekrar satılabilecek lastiklerin ayrılması depolama sahasına giden lastik oranını %5-10 arasında azaltmaktadır. Lastiklerin tekrar kullanılmasının diğer basit metotları oyun yeri salıncağı ve iskelelerde gemi tamponu yapımı için kullanılmasıdır. Amerika'da bu konuda yapılan çalışmalardan birisi de lastiklerin resif olarak kullanılmasıdır. Lastik resifler balık habitatları için bir ortam yaratır ve gelgit ve fırtına olaylarının su altı alanına çevrimini sağlayarak doğal ortamına dönmesini sağlarlar. Diğer bir kullanım örneği de eski lastiklerin ev yapımında kullanılmasıdır. Bu tip bir projede 3000 atık lastik kullanılmıştır.

Malzeme olarak değerlendirme sanayinin muhtelif alanlarında ve bazı tüketim ürünlerinin üretilmesinde ikinci hammadde olarak kullanılabilirliği mümkündür. ÖTL'ler bu amaçla, bütün, parçalanmış, granül ya da toz olarak kullanılabilir. Artık bir çok ülke ÖTL'lerinin %35-40'lık bölümü malzeme geri kazanımı amacıyla kullanılmaktadır. Bu yöntemde öncelikle lastiklerin boyutlarının azaltılması gerekmektedir. Bu işlem parçalama (Shredding) ve normal hava koşullarında küçük parçalara ayırma veya çok düşük sıcaklıklarda (Cryogenic method) küçük parçalara

ayırma şeklinde temel iki yöntem uygulanarak yapılır. Kırma sonucu elde edilen malzemeler genel olarak, parça, granül ve toz(pudra) olarak bilinirler. Bunlardan bazıları el arabası tekerlekleri, çöp kutuları, bazı yük taşıma araçları tekerlekleri, çim halı sahalarında döşeme malzemesi, kaplama malzemeleri karolar, okul ve oyun sahalarında güvenlik amaçlı döşeme, spor ve rekreasyon alan kaplamaları vb.. alanlarda kullanılabilir.

Hammaddesel değerlendirme piroliz, eski lastiklerin yakıtı çevrimi için kullanılan metotlardan biridir. Teknik olarak piroliz ısı ile organik kimyasal bağların kırılması prosesidir. Lastikler ele alındığında, yani lastikler piroliz sonucu karbon siyahı, gaz, çelik ve yağa dönüşür ve daha sonra bunlar eritilir.

Ömrünü tamamlamış lastikler (ÖTL) elektrik üretim santrallerinde herhangi bir ek modifikasyon gerek duyulmadan kömürün yanında ek yakıt olarak kullanılabilir. Çimento fabrikalarında bütün ya da parçalanmış ÖTL ek yakıt olarak değerlendirilmektedir. Bu sayede lastiğin içinde yer alan her tür malzeme üretim sırasında değerlendirilebilmektedir. ÖTL yanarken belli bir enerji üretmekte, aynı zamanda lastiğin içinde yer alan, silica ve çelik tel, doğal kaynaklardan sağlanan cam kumu ve demir oksidin yerini alarak ikincil bir hammadde olarak değer ifade etmektedir. Günümüzde Avrupa'da 250-300 civarında çimento fabrikası toplam ÖTL'nin %25 kadarını yakıt olarak kullanmaktadır (www.lasder.org.tr).

6. SONUÇ

İşletmelerin en büyük giderlerini yakıt harcamalarından sonra lastik giderleri oluşturmaktadır. Doğru lastik seçimine etki eden en önemli faktörler zemin ve malzeme özelliğidir. Uygun basınç, yük dağılımı ve hız, lastiğin ömrünü doğrudan etkilemektedir. Lastiklerin doğru zamanda ve uygun şartlarda kaplanarak tekrar kullanılması ülke ekonomisine yatsınamayacak katkıda bulunmaktadır. Son yıllarda çevre bilincinin artması beraberinde ömrünü tamamlamış lastiklerin değerlendirilmesi konusunda pek çok ar-ge çalışması yapılmış ve halen devam etmektedir. Açılan geri dönüşüm tesisleri buna güzel bir örnektir.

KAYNAKLAR

<http://www.ito.org.tr/Dokuman/Sektor/1-61.pdf>

<http://www.tama.com.tr/tr/otr-is-makinası-lastik-tercihi-256.html>

M. Akif Öz, 2008, İş Makinaları Mühendisleri Birliği Dergisi, *Arkadan Boşaltmalı Kamyonlarda Lastik Tiplerinin Akaryakıt Tüketimine Etkisi Ve Karşılatırmalı Tüketim Testi*.

T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, MEGEP (Meslekî Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi), *Araca Uygun Lastik Seçimi*, Ankara 2008.

DARBELİ KIRICI SEÇİMİ İÇİN GELİŞTİRİLEN YENİ BİR LABORATUAR CİHAZININ TANITIMI

**PRESENTATION OF A NEW LABORATORY TESTING EQUIPMENT,
WHICH IS DEVELOPED FOR THE SELECTION OF IMPACT
HAMMER**

Vehbi ÖZACAR, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Böl. İzmir*
Berna ATALAYMAN, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., Jeoloji Müh. Böl. İzmir*
C. Okay AKSOY, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Böl. İzmir*
M. Sabit GÜRGEN, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Böl. İzmir*
İ. Emre CAN, *Maden Mühendisi, İzmir*
Hikmet GÜRBÜZ, *Bindevre Mekatronik Ltd. Şti., İzmir*
Bahadır ŞENGÜN, *Maden Mühendisi, İzmir*

ÖZET

Darbeli kırıcılar son yıllarda madencilik ve inşaat sektörlerinde yoğun kullanım alanı bulmaktadır. Bu nedenle, kayaçların darbe etkisi ile kırılarak kazılması konusunda bilime ışık tutacağı düşünülen yeni bir laboratuvar cihazı geliştirilmiştir. Bu cihaz ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar yorumlanarak, darbeli kırıcı seçimi için bir abak oluşturulacaktır. Bu bildiride, yeni geliştirilen cihazın tanıtımı ve yapılan ilk çalışmalar sunulmaktadır.

ABSTRACT

Impact hammers have been used intensively in mining and construction sectors in recent years. A novel laboratory testing equipment involving the subject of excavation of rocks by the effect of the impact hammer was developed. A chart will be established for the selection of the impact hammer by interpreting the tests results made with this instrument. In this paper, newly developed the testing equipment has been introduced and the initial studies have been presented.

1. GİRİŞ

Kazı makineleri mühendislik projelerinde önemli bir yere sahiptir. Gün geçtikçe kullanım alanları genişleyen bu makineler, teknoloji ve bilimdeki gelişmelere koşut olarak değişik boyutlarda, değişik gereçlerle, farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Bir matematik formülü ile bulunabilen sonuçların yer aldığı bilim alanlarından farklı olarak; madencilikte her çalışma ayrı bir özellik göstermekte, (yaklaşımı benzer olmakla birlikte) değişik çözümleri getirmektedir. Doğa ile savaşma sanatı olan madencilğin ilgi alanlarından bazıları olan tünelticilik, şev kazıları, temel kazıları vb. alanlarda “orta sert-zayıf” kaya kütlelerinin (kaya kütle parametrelerine bağlı olarak sert ve gevrek kayaların) kazılmasında darbeli kırıcılar çok sık kullanılır hale gelmiştir (Aksoy, 2009).

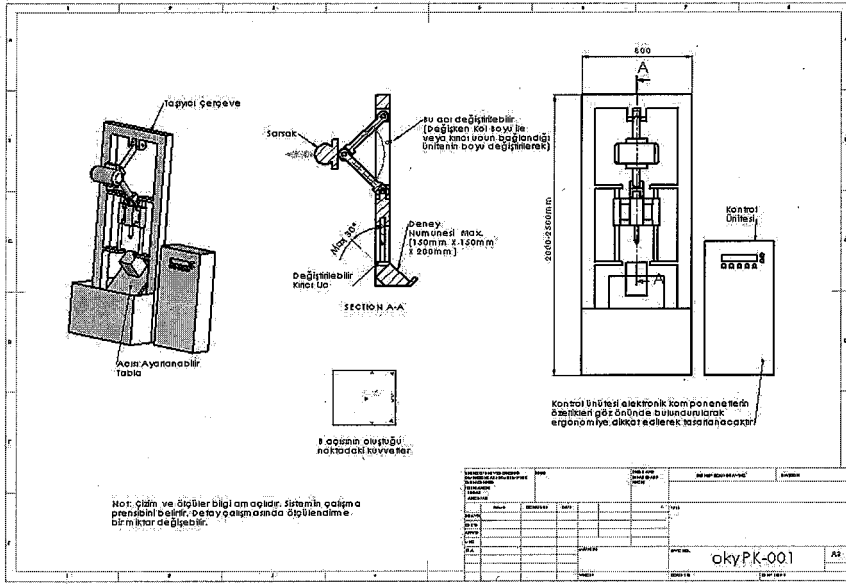
Tek eksenli basınç dayanımı 0-100 MPa arasında değişen, kırıklı ve çatlaklı, bazen zemin özelliği gösteren, bazen de diyabaz ve andezit dayklarının bulunduğu sağlam kayaç zonlarının kesildiği sığ tünellerin kazısında darbeli kırıcılar başarılı bir kazı işlemi gerçekleştirmektedir (Tunçdemir, 2007). Darbeli kırıcılar, genelde, kazı mekaniği içerisinde değerlendirilirken, kesme yerine “darbe” ilkesi ile çalıştırılırlar. Delme-patlatma ve kollu kazıcı kazısına göre, hidrolik kırıcıların ilk yatırım maliyetleri daha düşüktür. Ayrıca daha az işçiye gereksinim duyulur ve daha hızlı çalışırlar. Darbeli kırıcılar, TBM (Tunnel Boring Machine)’e göre değişik kazı ortamlarına daha hızlı uyum göstermesi ve hareketliliğinin fazla olması gibi avantajlarla çeşitli üstünlüklere sahiptirler (Nelson vd., 1993).

Çalışma kapsamında, laboratuarda değişik sahalardan alınan kaya malzemeleri üzerinde yeni tasarlanan laboratuvar düzeneği ile deneyler yapılmış ve uygun örnek boyutu belirlenmiştir. Ülkemizin değişik yörelerinden alınmış (sert-gevrek-orta sert-yumuşak) kayaç örnekleri üzerinde değişik güç, açı, vuruş frekansı ve uç tipleri (düz tip, keski tip, sivri tip ve piramit tip) ile yapılan deneylerden elde edilen değerler kullanılmıştır.

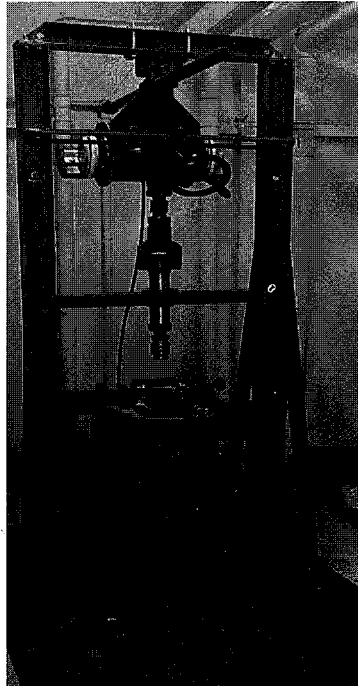
Kayaç örneğinin laboratuvar ortamında darbe ile kırılabilme koşulları ve kırılma sırasında harcanan enerjinin belirlenmesi amacıyla tasarlanan bu cihazının esas işlevi; kayaçlara değişik yük, frekans ve açılarda uygulanan kuvvet ile kırılmasını sağlamaktır. Bu kırılma sırasında harcanan enerji miktarı ile değişik kayaçların kırılabilirliği belirlenecektir. Laboratuarda elde edilen sonuçlar, saha koşulları ile birleştirilerek değişik kaya kütlelerine sahip ortamlarda, uygun kırıcı seçimi belirlenecektir.

2. DARBELİ KIRICI DÜZENEGİNİN TANITIMI

Sistem; en küçük 5cm x 5cm x 5cm ve en büyük 150 cm x 150 cm x 200 cm boyutlarındaki prizma örnek ve/veya 5-15 cm çapında silindirik deney örnekleri üzerine tekrarlayan kuvvet uygulamaktadır. Tekrarlayan kuvvet kaynağı olarak sarsak motoru kullanılmıştır. Şekil 1’de sistemin ana parçaları görülmektedir. Darbeli Kırıcı Seti’nin genel görünümü Şekil 2’de sunulmuştur.

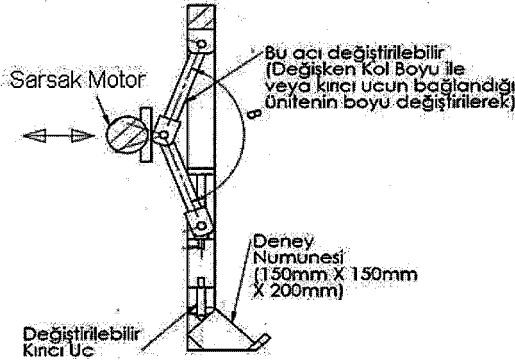


Şekil 1. Sistemin ana parçaları ve çalışma prensibi.



Şekil 2. Darbeli kırıcı setinin genel görünümü.

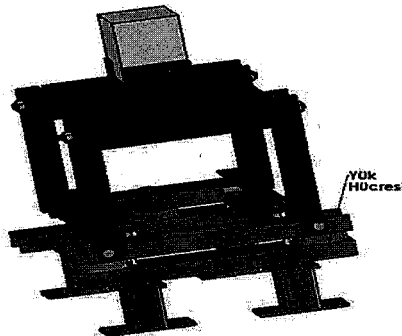
Sarsak motor kuvveti, mekanizmadaki kollar aracılığıyla deney örneğinin üzerine etmektedir. Bu kuvvete karşılık, kol açıları değiştirilerek örnek üzerine gelen yük değiştirilebilmektedir. Ayrıca, motor hız kontrolü yapılmakta ve sarsak motorunun frekansı değiştirilebilmektedir. Tüm kontroller ve ölçümler bilgisayar yardımıyla yapılmaktadır. Sistemin genel olarak çalışma ilkesi Şekil 3’de sunulmuştur.



Şekil 3. Sistemin genel çalışma şekli.

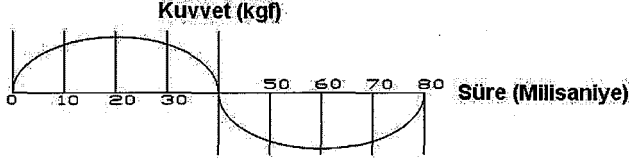
Sarsak motordan gelen kuvvetin en etkili olduğu durum yatayda etki ettiği andır. Bu konumda alet sarsak kuvveti Şekil 3’te görüldüğü gibi, ikiye ayırarak kollara dağılmaktadır. Altındaki kolun diğer ucu için kuvvet dengeleri incelenirse; deney örneği üzerine etkiyen kuvvetin, sarsak motordan kola gelen kuvvetin düşey bileşenine eşit olduğu görülür.

Deney örneğine etkiyen kuvvetin ölçülebilmesi için, örneğin bağlı olduğu masanın altına 3 adet 5000 kgf’lık yük hücreleri yerleştirilmiştir. Cihazın toplamda 15000 kgf’a kadar ölçüm yapabilme kapasitesi vardır (Şekil 4). Dinamik yükleme durumunda yük hücrelerinin zarar görmemesi için, en fazla yükleme durumu için 10 kat emniyet söz konusudur. Üretici firmanın güvenlik payı da göz önünde bulundurulursa, emniyet katsayısı daha da yüksek değere erişecektir. Ayrıca, yük hücrelerinden gelen sinyallerin diğer cihazlar (bilgisayar ve diğer elektronik teçhizat) tarafından sayısal olarak algılanabilir değerlere yükseltilmesi için ilave donanımlar kullanılmıştır.



Şekil 4. Yük hücrelerinin yerleşimi.

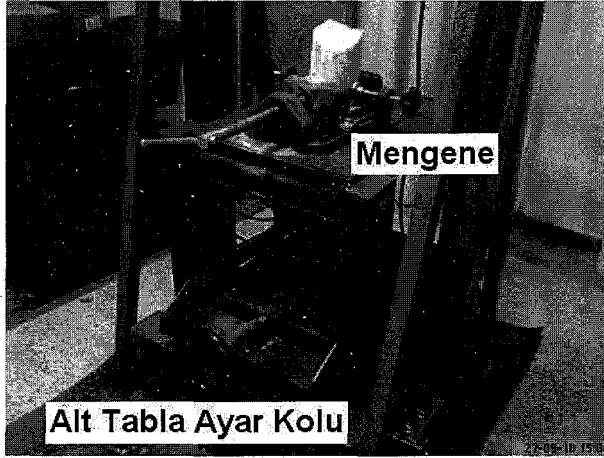
Motorun her bir periyodu en az 8 adet ölçüm ile karakterize edilmektedir. Daha düşük hızlı çalışma koşulları için her bir yükleme periyodunda daha fazla ölçüm yapılmaktadır (Şekil 5). Yapılan ölçümler, bilgisayarın seri (RS232) portundan okunarak kaydedilmektedir. Test bitiminde excel çizelgesinde gösterilmektedir.



Şekil 5. Sarsak motoru kuvvet değişimi ve ölçüm sıklığı.

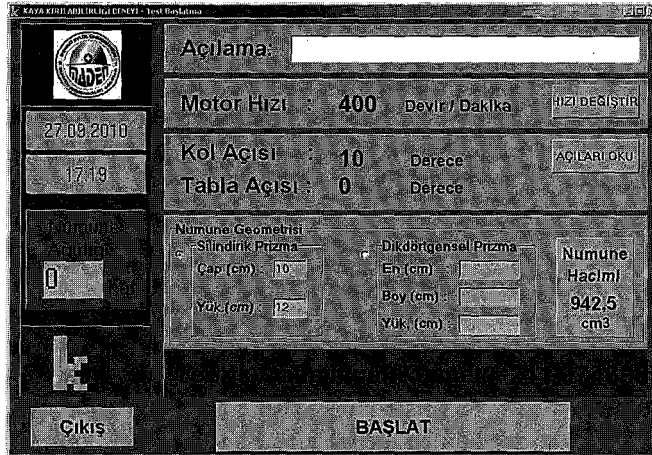
Kaydırılarak konumu ayarlanabilen mengene yardımıyla deney örneği makine üzerine bağlanmaktadır. Ayrıca, deney esnasında, deney örneğinin mungenenin çenelerinin arasında sağa-sola kaymasını engellemek için ayarlanabilen bir mekanizma vardır (Şekil 6).

Açısal yüklemeler için tablaya 30 dereceye kadar açı verilebilmektedir. Bu açı ayarı da tablanın alt tarafındaki kol yardımıyla kolayca yapılabilmekte ve değeri ayar sırasında bilgisayarda otomatik olarak görüntülenmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Örneğin bağlanması ve masa aç ayar kolu.

Kollar arasındaki açı, ayar işlemleri sırasında bilgisayar ekranında otomatik olarak görüntülenmektedir. Deney setinde gerekli kumandalar ve deney süresince gerekli kayıtların alınması, önceden de belirtildiği, gibi sistemde bulunan bir bilgisayar yardımıyla yapılmaktadır. Şekil 7'de görüldüğü gibi, deney parametreleri toplu olarak görülmektedir ve cihaz üzerinde değişiklik yapıldığında bu durum ekrana yansıtılmaktadır. Ekranda görülen parametrelere göre, örnek üzerine etkiyecek en büyük düşey kuvvet hakkında program ön bir bilgi vermektedir.

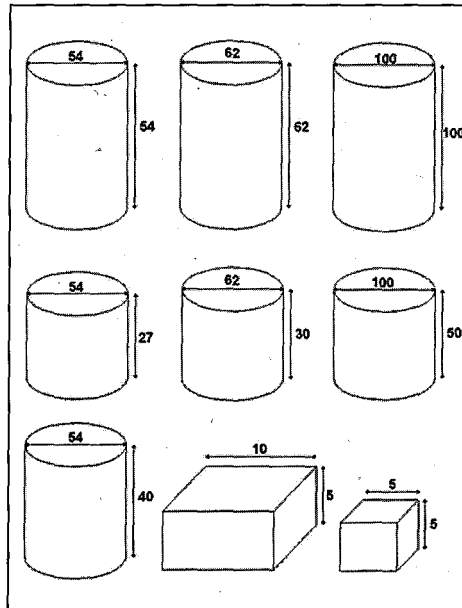


Şekil 7. Deney başlatma ekranı.

Örneğin ağırlığı, boyutu ve deneye ilişkin girilecek özel not haricindeki bilgiler makine üzerinden elektronik olarak okunmaktadır. Deney sonuçları Excel programına, program tarafından aktarılmaktadır.

3. FARKLI ÖRNEK BOYUTLARININ DARBELİ KIRICI DENEY SETİNDE DENENMESİ VE DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Darbeli kırıcı setinde deney sırasında kullanılacak örneklerin boyutlarını belirlemek üzere değişik boyutlardaki örnekler üzerinde deneyler yapılmıştır. Deney yapılan örneklerin boyutları Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Örnek boyutları(mm).

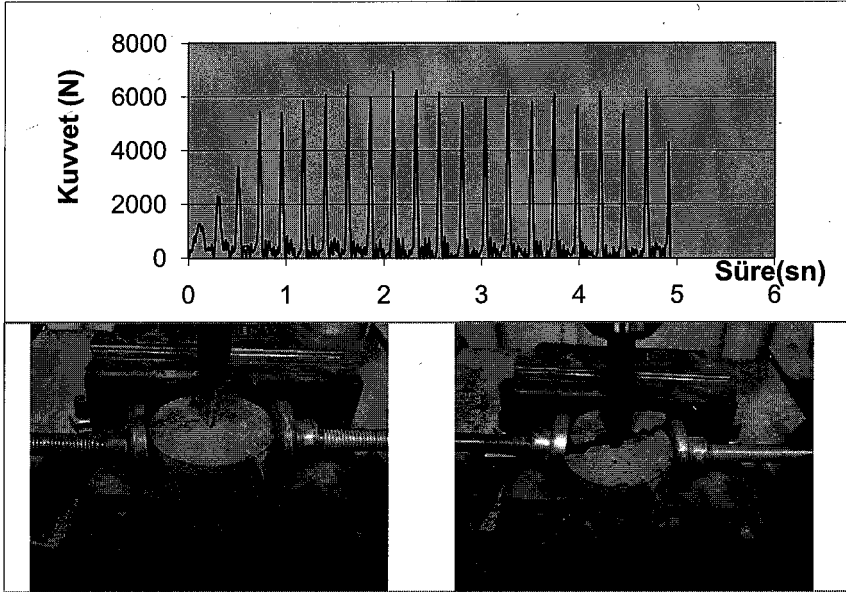
Düzenli kırılmış deney örneği ile düzensiz kırılmış deney örneğine ait aşağıda zaman-kuvvet grafikleri sırasıyla şekil 9 ve şekil 10'da sunulmuştur.

Örnek Özellikleri

Örnek No : 3-C1
Boy (cm) : 3,225
Çap (cm) : 6,258
Ağırlık (gr) : 248,22
Hacim (cm³) : 99,2
Yoğunluk (gr/cm³) : 2,502

Deney Koşulları

Vurma Frekansı (devir/dk.)	Uygulanan Kuvvet (Kgf)	Kol Açısı	Masa Açısı	Kullanılan Uç	Kullanılan Ağırlık (%)	Kırılma Enerjisi (Joule)
350	106,85	146°	0°	SİVRİ	65	367,5



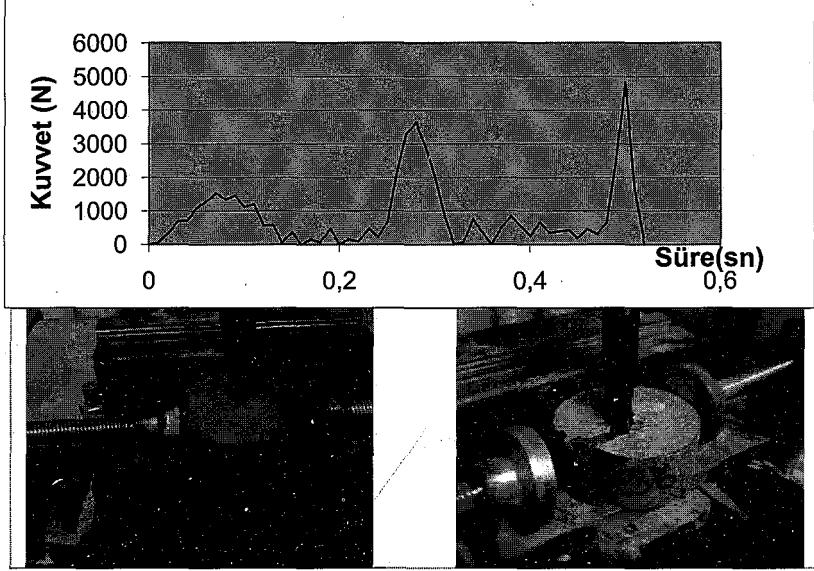
Şekil 9. 146° kol açısı % 65 ağırlık 350 devir için düzenli kırılmış deney örneğinin kuvvet-zaman grafiği.

Örnek Özellikleri

Örnek No : 3-S6
Boy (cm) : 3,0
Çap (cm) : 5,530
Ağırlık (gr) : 181,87
Hacim (cm³) : 72,1
Yoğunluk (gr/cm³) : 2,522

Deney Şartları

Vurma Frekansı (devir/dk.)	Uygulanan Kuvvet (Kgf)	Kol Açısı	Masa Açısı	Kullanılan Uç	Kullanılan Ağırlık (%)	Kırılma Enerjisi (Joule)
375	139,95	150	0	SİVRİ	65	173,16



Şekil 10. 150° kol açısı %65 ağırlık 375 devir için düzensiz kırılmış deney örneğinin kuvvet-zaman grafiği.

Şekillerden görüleceği üzere doğru okumalar Şekil 9'da tespit edilmiştir. Daha büyük boyutlu örneklerde örnek kırılmamış, uç örneğin içine batmıştır. Daha küçük örneklerde ise deney şartları oluşmadan örnekler kırılmıştır.

4. SONUÇ

Tasarımı ve yapımı gerçekleştirilen kırıcı deney setinde örnek boyutunu belirlemek üzere yapılan deneylerde en uygun Boy/Çap oranı yaklaşık 0,75 olarak belirlenmiştir. Boyu 40 mm çapı 54 mm olan söz konusu örnekler gerek deney sürecinde gerekse örnek hazırlama sürecinde en verimli boyut olarak belirlenmiştir. Geliştirilen deney cihazı henüz yeni faaliyete geçmiş olup geliştirme süreci devam etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 109M604 no'lu proje kapsamında sürdürülmektedir. Yazarlar, TÜBİTAK'a ve Bindevre Mekatronik'e çalışma süresince verdiği teknik destekten dolayı teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Aksoy, C. O.** (2009), Performance Prediction of Impact Hammers by Block Punch Index for Weak Rock Masses, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, Vol: 46(8), 1383-1388.
- Nelson P.P., Sinha S.R. & Handewith H.J.** (1993), “*Underground Structures Design and Construction Machine Excavation*”.
- Tunçdemir H.** (2007), “Hidrolik kırıcıların performans tahmini ve seçim kriterleri”, *Ulaşımda Yeraltı Kazıları 2.Sempozyumu*, 215-226, İstanbul.

NİĞDE VE KAYSERİ YÖRESİNDEKİ DEMİR CEVHERLERİNİN KAZISINDA KOLLU GALERİ AÇMA MAKİNELERİNİN PERFORMANS TAHMİNİ

**PERFORMANCE PREDICTION OF ROADHEADERS IN IRON ORES
EXCAVATION IN THE SURROUNDINGS OF NİĞDE AND KAYSERİ**

Ramazan ÇOMAKLI, *Selçuk Üniversitesi, Müh.-Mim. Fak., Maden Müh., Konya*
Sair KAHRAMAN, *Niğde Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh., Niğde*
Cemal BALCI, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fak., Maden Müh., İstanbul*
Deniz TUMAÇ, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fak., Maden Müh., İstanbul*

ÖZET

Son yıllarda, global eğilimler, çevresel etkiler ve diğer pazarlama şartları, özellikle küçük ölçekli madencilik şirketlerini daha fazla kar elde edebilme ve rekabetçi olabilme konusunda zorlamaktadır. Kollu galeri açma makineleri gibi mekanize kazıcıların kullanılması bu şirketlerin rekabet gücünü artıracaktır. Bu çalışmada, Niğde ve Kayseri yöresindeki demir cevherlerinin kazısında kollu galeri açma makinelerinin üretim kapasitesi araştırılmıştır. Öncelikle, cevherlere ait fiziko-mekanik özellikler ve İTÜ Maden Mühendisliği Bölümünde küçük ölçekli kesme deneyleri yapılarak spesifik enerji değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra, elde edilen bu değerlere göre kollu galeri açma makinesinin performansı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Ancak, uygulama durumu söz konusu olduğunda tüm madencilik faaliyetlerinin göz önüne alınması gerekmektedir.

ABSTRACT

Global trends, environmental effects and other the market conditions have been forced to especially small-scale mining companies all over the world, to be more profitable and competitive, in recent years. The competitiveness of these companies will be increased if they use mechanical miners, such as roadheaders. In this study, the production capacity of roadheaders for excavation of iron ores in surrounding of Niğde and Kayseri was investigated. Firstly, the physico-mechanical properties of ores were determined and specific energy values were calculated from the results of small-scale cutting tests carried out in mining engineering department, ITU. Then, annually production rate was calculated for the selected roadheader. However, in the case of application all mining operations must be taken into consideration.

1. GİRİŞ

İnsanların günlük yaşamda kullandığı birçok materyalin ham maddesi olan madenler ilk çağlardan günümüze çeşitli yöntemlerle üretilmektedir. Nüfusun artışıyla birlikte hammadde gereksiniminin artması madencilik alanında yeni teknolojilerin geliştirilip, uzman kişilerin yetiştirilmesini gerektirmiştir. Geliştirilen yeni teknolojilerin öncelikli amacı az sürede ve daha az enerji ile daha fazla üretim yapmak olmuştur. Bu da ancak kazının, insan gücü yerine mekanize kazıcılar kullanılarak yapılmasıyla mümkün hale gelmiştir. Geliştirilen bu mekanize kazıcılardan birisi de kollu galeri açma makineleri olmuştur.

Kollu galeri açma makinelerinin farklı alanlarda kullanılabilirliğinin araştırılması ve bu kazı yönteminin geliştirilmesi amacıyla birçok çalışma yapılmıştır ve yapılmaya devam edilmektedir. Ancak, metalik cevherlerin makine ile kazısı zor olduğu için bu çalışmalar daha çok kayaç ve kömür kazısı üzerinde yoğunlaşmıştır. Yine de literatürde yapılan bazı çalışmalar bulunmaktadır.

Yapılan bir çalışmada, Breitrack (1998), tarafından bir yer altı altın madeninde kollu galeri açma makinesinin başarıyla uygulandığı rapor edilmiştir. Ayrıca, Bilgin ve diğ. (2005) ve Tunçdemir ve diğ. (2003), yeraltı kromit ocaklarında kollu galeri açma makineleri ve hidrolik kırıcıların kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu çalışmada, mekanize kazıcıların performansı delme-patlatma üretimi ile karşılaştırılmış ve mekanize kazıcıların delme-patlatma yöntemine göre üç kat daha verimli olduğu görülmüştür. Diğer bir çalışmada ise, BillieBorate Mine şirketi delme patlatma yöntemi ile kollu galeri açma makinelerini bir arada kullanmış ve bu sistemden büyük oranda verim almışlardır (Garrett, C.R., 1985).

Yapılan bu çalışmada ise, Niğde ve Kayseri yöresinden alınan demir cevherleri üzerinde farklı deneyler yapılarak, cevherlerin fiziko - mekanik özellikleri ve küçük ölçekli kesme deneyleri yapılarak, spesifik enerji (SE) değerleri belirlenmiştir. Belirlenen bu özellikler yardımıyla, seçilen bir kollu galeri açma makinesinin bu cevherlerin kazısındaki performansı tahmin edilmeye çalışılmıştır.

2. KOLLU GALERİ AÇMA MAKİNALARI İÇİN PERFORMANS TAHMİN YÖNTEMİ

Mekanize kazı performansının tahmini için birçok araştırmacı ampirik ya da yarı - ampirik modeller önermiştir (Bilgin ve diğ., 1990, Gehring, 1989, Thuro ve diğ., 1999). Fakat yaptığımız performans tahmini işleminde sadece, Rostami ve diğ. (1994), tarafından önerilen spesifik enerji değerini kullanarak kollu galeri açma makineleri performans tahmininde kullanılan aşağıdaki model kullanılmıştır;

$$V_{ph} = \frac{HP \cdot \eta}{SE} \quad [1] \quad W_{ph} = V_{ph} \cdot \rho \quad [2]$$

Burada,

V_{ph} : Üretim miktarı (m^3 / h)

HP: Kesici kafa gücü (kW veya HP)

η : Toplam sistem verimliliği (kollu kazıcılar için genelde 0.45 - 0.55 alınır)

SE: Spesifik enerji (kWh/m³)

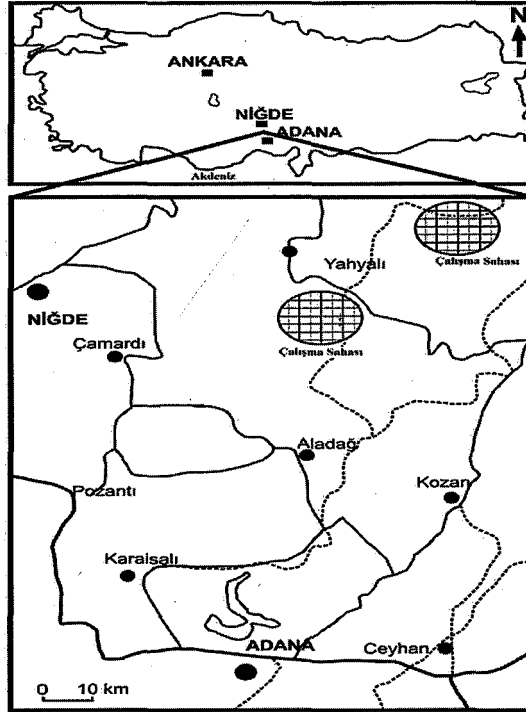
W_{ph} : Üretim miktarı (ton/h)

: Kazılacak malzemenin yoğunluğu (t/m³)

3. SAHANIN JEOLJİSİ

Numunelerin alındığı alan Yahyalı napı içerisinde. Yahyalı napı alttan üste doğru birbiriyle uyumlu Kirazlı (Silüriyen - Devoniyen), Karsavuran (Devoniyen), Ayraqlıtepe (Devoniyen), Yellibel (Karbonifer), Karlığın-tepe (Üst Permiyen), Kocatepe (Triyas) formasyonlarını kapsar (Hekimoğlu, 1998).

Bölgede oluşan demir yatakları, özellikle Dereköy ve Ayraqlıtepe bölgelerinde bilinmekte ve yapılan araştırmalarda bu bölgelerde yoğunlaşmıştır.



Şekil 1. Yer bulduru haritası ve numunelerin alındığı yerler.

Dereköy demir yatağı, Dereköy (Yahyalı - Kayseri) beldesinin 2.5 km kuzeybatısındadır. Cevher mostrası, 250 m uzunluğunda ve 50 m genişliğindedir. Cevher mostrası kırmızımsı kahverengi ince bir moloz örtüsü görülür. Cevher yaygın olarak, kovuklu, kabuğumsu, bôbreğimsi, toprağimsi, yer yer de sarkıt - dikit yapılıdır.

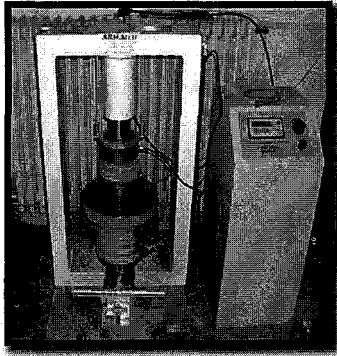
Ayraklıtepe demir yatağı, Dereköy demir yatağının 500 m doğusundadır. NE - SW uzanan cevher kuşağı, Karsavuranformasyonuna ait yeşilimsi sarı renkli feldspatlar, kuvarslı biyotitlişist - filitlerin üzerinde yer alan bir demir kabuk oluşumudur. Batı kesimde 10 -15 m genişliğe sahip olan cevher kuşağı doğuya doğru yer yer kesikliklere uğrayarak 200 m kadar devam eder. Cevher kuşağının NE kesimdeki genişliği ise 1 m civarındadır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Fiziko – Mekanik Deneyler

4.1.1. Tek eksenli basınç deneyi

Deney, çapı 38 mm, boyu 76 mm karot numuneleri üzerinde 200 tonluk preste yapılmıştır (Şekil 2). Deneyde yükleme hızı 100 kg/s olarak uygulanmıştır. Bu hız preste monte edilmiş hız ayarlama düğmesi yardımı ile deney boyunca sabit tutulmak üzere ayarlanmıştır. Daha sonra yükleme işlemine başlanarak deney aşamasına geçilmiştir. Örnek yenildiği anda yenilme yükü göstergeden okunarak kaydedilmiştir (Şekil 2). Bu işlem bütün örnekler içinde kontrollü olarak tekrarlanmıştır. Aynı tip örnekler için elde edilendeğerlerin ortalaması hesaplanarak, her bir demir cevheri için tek eksenli basınç değeri hesaplanmıştır.



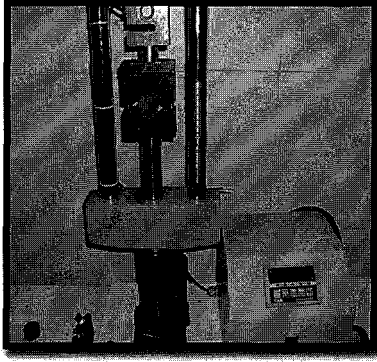
Şekil 2. Tek eksenli basınç dayanımı deneyinin yapıldığı pres.



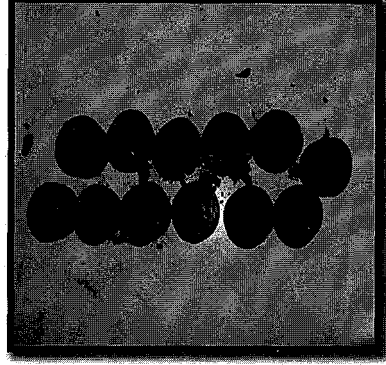
Şekil 3. Tek eksenli basınç dayanımı deneyinde kırılan numuneler.

4.1.2. Brazilian Çekme deneyi

Deney çapı 38mm, boyu 20 - 38mm karot numuneleri üzerinde yapılmıştır. Örnek, yan yüzeyleri yükleme çenelerinin arasında kalacak biçimde deney aletine yerleştirilmiştir. Yükleme ekipmanı olarak nokta yük aleti kullanılmıştır. Numuneler 15-30 saniyede kırılacak şekilde bir hızla yüklenmiştir (Şekil 4). Deneyde yükleme hızı 200 N/s olarak uygulanmıştır. Deneyde kırılan numuneler Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Brazilian çekme deneyinin yapıldığı pres.



Şekil 5. Brazilian çekme deneyinde kırılan numuneler.

4.1.3. Gözeneklilik Deneyi

Deneylerde suya doyurma ve kumpas yöntemleri kullanılmıştır. Boşluk hacmi, hesaplanırken numunelerin kuru ve suya doymuş ağırlıkları ölçülmüş ve örneklerin hacmi kumpas kullanılarak boyutları ölçüldükten sonra hesaplanmıştır. Numunelerin gözeneklilik değerleri ise, boşluk hacminin toplam hacme oranlanmasıyla bulunmuştur.

4.2. Küçük Boyutlu Kesme Deneyleri

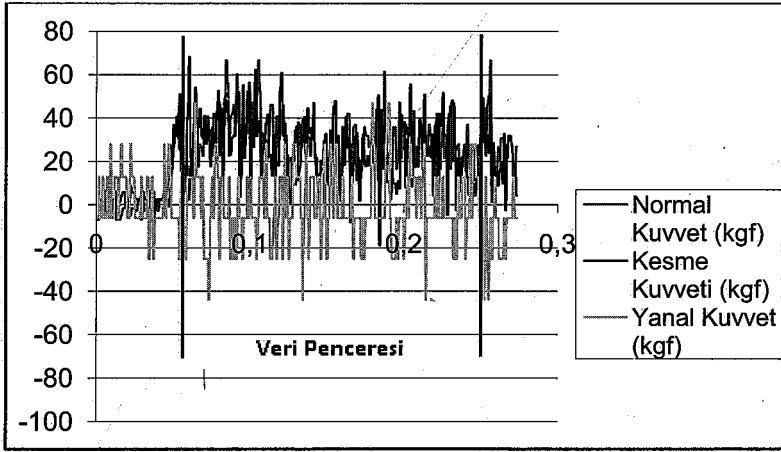
Küçük boyutlu kesme deneyi, kayaların kesilebilirliğinin tayini için McFeat – Smith ve Fowell (1977) tarafından geliştirilmiş standart bir laboratuvar deneyidir.

Küçük boyutlu kesme deneyleri yapılırken, 70 mm çapında karot numuneleri kullanılmıştır. Hazırlanan karotlar, Şekil 6' da olduğu gibi deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Numune sabitlendikten sonra kesme açısı -5° , temizleme açısı 5° ve genişliği 12.7 mm olan kama uçlu keski ile 5 mm kesme derinliğinde kesilmiştir. Kesme sırasında oluşan kuvvetler (kesme kuvveti, yanıl kuvvet, normal kuvvet) birim gerilimölçer (straingauge) ile donatılmış dinamometre yardımıyla kesme kuvvetleri kgf olarak kaydedilmiş ve kaya kesme işlemi sonunda kayıt altına alınan keski kuvvetlerinin zamana (veya kesme mesafesine) bağlı değişimini gösterir grafikler çizilmiştir.

Kaydedilen bu kuvvetlere göre çizilen grafikler örnek olarak, Menteş / Yahyalı bölgesinden alınan hematit cevherine ait grafik Şekil - 2' de gösterilmiş olup, burada FC, FR, FN kuvvetlerifarklı renklerde belirtilmiştir. Bu kuvvetlerin ortalamasının bulunması işleminde, önemli bir nokta kesme işleminin başladığı ilk anda oluşan en yüksek eğri ile kesme işlemi bitmeden önce oluşan en yüksek eğri arasında kalan değerlerin alınmasıdır (veri penceresi, Şekil 7). Tüm bu işlemlerden sonra kesme işlemi sonucunda ortalamaları hesaplanan kesme kuvvetleri çıkan pasa miktarına bölünerek spesifik enerji değerleri hesaplanmıştır. 3 farklı demir cevherine ait fiziko – mekanik ve küçük boyutlu kesme deneyleri sonucunda elde edilen değerlerin ortalamaları hesaplanarak Çizelge 1' de verilmiştir.



Şekil 6. Küçük boyutlu doğrusal kesme deneyi düzeneği.



Şekil 7. Hematit (Menteş/Yahyalı) cevherine ait kesme deneyinden elde edilen grafik.

Çizelge 1. Fiziko-mekanik ve kesme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama değerler.

Cevher Adı (Lokasyon)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Porozite (%)	TBD (MPa)	BÇD (MPa)	SE (kWh/m ³)
Hematit (Menteş/Yahyalı)	2.79	30.29	32.37	4.85	3.5
Hematit (Dünderli)	3.08	31.38	31.47	3.86	2.6
Hematit (Attepe/Yahyalı)	2.40	18.63	27.42	3.99	3.5

5. SEÇİLEN BİR KOLLU GALERİ AÇMA MAKİNESİ İÇİN PERFORMANS TAHMİNİ

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen tek eksenli basınç dayanımı sonuçlarına göre, her üç cevher de yumuşak kayaç sınıfına girmektedir. Bu yüzden seçilecek 100 kW gücünde bir kollu galeri açma makinesiyle bu cevherlerin kazılması mümkün olacaktır (Bilgin, 1994). Buna göre, 100 kW gücünde bir kollu galeri açma makinesinin seçilmesi halinde her üç cevher için yıllık üretim miktarları aşağıda hesaplanmıştır.

Hesaplamalar yapılmadan önce bütün cevherler için kazı işlemlerinin günde 3 vardiya ve her bir vardiya çalışma süresi 8 saat ve yıllık üretim yapılan gün sayısı da 270 gün olarak düşünülmüştür. Buna göre, Menteş / Yahyalı bölgesinden alınan hematit cevheri için yapılan performans tahmin işlemleri şu şekildedir;

Hematit (Menteş/Yahyalı) için;

$$V_{ph} = \frac{100kW \cdot 0.50}{3.5kWh/m^3} = 14.29m^3/h$$

$$W_{ph} = 14.29m^3/h \cdot 2.79t/m^3 = 39.87t/h$$

$$39.87t/h \times 270 \text{ gün/yıl} \times 3 \text{ vardiya/gün} \times 8 \text{ saat/vardiya} = 258357 t/yıl$$

Hematit (Dündarlı) için;

$$V_{ph} = \frac{100kW \cdot 0.50}{2.6kWh/m^3} = 19.23m^3/h$$

$$W_{ph} = 19.23m^3/h \cdot 3.08t/m^3 = 59.23t/h$$

$$59.23t/h \times 270 \text{ gün/yıl} \times 3 \text{ vardiya/gün} \times 8 \text{ saat/vardiya} = 383815 t/yıl$$

Hematit (Attepe/Yahyalı) için;

$$V_{ph} = \frac{100kW \cdot 0.50}{3.5kWh/m^3} = 14.29m^3/h$$

$$W_{ph} = 14.29m^3/h \cdot 2.40t/m^3 = 34.30t/h$$

$$34.30t/h \times 270 \text{ gün/yıl} \times 3 \text{ vardiya/gün} \times 8 \text{ saat/vardiya} = 222264 t/yıl$$

SONUÇ

Bu çalışma, Niğde ve Kayseri yöresindeki demir cevherlerinin kollu galeri açma makineleri kazılması durumunda üretim kapasitelerinin tahmin edilmesi amacıyla yapılmıştır. Küçük ölçekli kesme deneylerinden elde edilen spesifik enerji yardımıyla seçilen bir kollu galeri açma makinesi için yıllık üretim miktarı hesaplanmıştır.

Uygulamalarda ortalama 100 MPa basınç direncine sahip kırıklı çatlaklı formasyonlar, kollu galeri açma makineleri ile kazılabilmektedir. Burada incelenen cevherlerin en yüksek basınç direnci 32.37 MPa' dır. Buna göre herhangi bir kazı probleminin olacağı düşünülmektedir. Ancak, kazı için kollu galeri açma makinesinin seçilmesinden önce, yantaşınkazılabilirliği, nakliyat türü, tahkimat yöntemi, üretim yöntemi gibi diğer madencilik faaliyetlerinin de göz önüne alınması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Bilgin N., Seyrek T., Erdinc E. and Shahriar K.** (1990), Roadheaders glean valuable Tips for Istanbul Metro. Tunnels and Tunnelling, 22, 29-32.
- Bilgin, N.** (1994), "Yeraltı Kazılarında Mekanizasyon", Ulaşımda Yeraltı Kazıları 1. Sempozyumu, İstanbul, s. 53-98.
- Bilgin, N., Copur, H., Balci, C., Tuncdemir, H., Tumac, D., Feridunoglu, C.** (2005), "Selection of a Mechanical Mining System for an Underground Chromite Mine", MPES - Mine Planning and Equipment Selection and Computer Applications in the Minerals Industries, pp: 120-144, Alberta, Canada.
- Breitrick, M.E.** (1998) Using a Roadheader for Underground Gold Mining, Mining Engineering, 43-46, March.
- Charles, R. Garrett.** (1985), Development of a Roadheader Mining System at American Borate Company
- Gehring, K.H.** (1989), A cutting comparison. Tunnels and Tunnelling (November), 27-30
- Hekimoglu, O.Z., Ayhan, M., Tiriyaki, B.** (2000), An appraisal of mechanically rock and coal excavating machines employed in Turkey, Proceedings of the 5th National Rock Mechanics Symposium of Turkey, Turkish National Society for Rock Mechanics, Isparta, pp. 99-103 (in Turkish).
- McFeat-Smith, Fowel, R.J.** (1977), Correlation of Rock Properties and the Cutting Performance of Tunneling Machine, Proceedings of a Conference on Rock Engineering, Newcastle Upon Tyne, pp. 581-602.
- Rostami, J., Ozdemir, L. and Neil D.M.** (1994), Performance prediction: a key issue in mechanical hard rock mining. Min. Eng. 11, 1263-1267.
- Thuro, K. and Plinninger, R.J.** (1999) Roadheader excavation performance geological And geotechnical influences. The 9th ISRM Congress, Theme 3: Rock dynamics and tectonophysics / Rock cutting and drilling, Paris, pp. 1241-1244.
- Tuncdemir, H., Copur, H., Feridunoglu, C. and Bilgin, N.** (2003), "Possibility of Using mechanical miners in underground chromite mines' ore productions and two different examples," Proceedings of 18th International Mining Congress and Exhibition, Antalya, Turkey. 135-141.

GRANİT S/TLERİNDE PERFORMANS ANALİZİ

PERFORMANCE ANALYSIS OF BLOCK CUTTING MACHINERY (S/T) FOR GRANITE

Kerem AKSÖĞÜT, *Ece Mermer Ortaköy Granit İşletmesi, Aksaray*
Nurdan YILMAZ, *Muğla Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Muğla*
Ahmet Hamdi DELİORMANLI, *Missouri Univ. of Science and Tech., RMERC, Missouri*
Zeki KARACA, *Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Niğde*

ÖZET

Doğal taş sektöründe kesme hızı, blok kesme maliyeti üzerinde rol oynayan başlıca parametrelerden biridir. Bu parametrelerin taşıdığı önem sırası, tesisin gereksinimleri ve öncelikleri tarafından belirlenir. Bu çalışmada, endüstriyel çaplı bir blok kesme makinası (S/T) kullanılarak kesme hızının enerji tüketimi üzerindeki etkileri bir granit fabrikasında araştırılmıştır. Sonuç olarak, kesme hızının artırılması hedeflendiğinde, kesme derinliğinin azaltılıp ilerleme hızının artırılmasının güç tüketimi bakımından daha iyi bir sonuç verdiği görülmüştür.

ABSTRACT

In the stone processing industry, sawing rate is one of the main parameters economically affecting the process. However, the relative importance ranking of these parameters may vary depending on the needs and priorities of the plant. In this study, utilizing an industrial-scale block cutting machinery (S/T), the effect of sawing rate on energy requirements of a selected granite types were investigated. It was concluded that, when it is intended to achieve higher sawing rates, employing a higher feed velocity and a shallower cutting depth improves the efficiency of the process in terms of power.

1. GİRİŞ

Aşınmaya ve atmosferik koşullara karşı direnç, estetik görünümündeki zenginlik ve yüksek mekanik dayanım gibi özelliklere sahip granitlerin yapı taşı olarak kullanımı son yıllarda artış göstermektedir. Bu artışa paralel olarak, granitlerin işlenmesinde elmas soketli dairesel testerelerin kullanımı da artmaktadır. Bununla birlikte, mermer ve traverten gibi doğal taşlarla karşılaştırıldığında, sert ve aşındırıcı özellikleri nedeniyle granit türü sert taşların dairesel testerelerle işlenmesinde gerek üretim hızı, gerekse enerji tüketimi bakımından önemli farklılıklar olduğu literatürde yapılmış birçok çalışma ile ortaya konmuştur.

Granitlerin elmas soketli dairesel testerelerle kesilmesi konusundaki çalışmalar; kesme enerjisi ve kesme kuvvetleri (Ünver, 1996; Xu vd., 2002; Ersoy vd., 2005; Xu vd., 2003; Xu vd., 2001; Mamalis vd., 1979; Jennings ve Wright, 1989), testere aşınması (Konstanty, 2000, 2002; Ünver, 1996; Tönshoff ve Asche, 1997; Ertingshausen, 1985; Luo, 1997; Xu vd., 2002; Eyüboğlu vd., 2003; Ersoy vd., 2005; Tönshoff vd., 2002), soğutma suyu (Wang vd., 1995), kesilebilirlik sınıflaması (Wei vd., 2003; Hausberger, 1990), testere özellikleri (Tönshoff ve Warnecke, 1982; Lan vd., 2002) gibi başlıklar altında toplanmaktadır.

Bu çalışmada, Aksaray-Ortaköy'de üretimi yapılan ve ticari ismi Anadolu Grisi olan bir doğal taşın SIMEC NT 100+SM model 46 adet testereye sahip bir granit blok kesicisinde kesimi yapılmıştır. Kesim sırasında derinlik ve ilerleme hızları değiştirilerek özgül enerjiye bağlı kesilebilirlik performansı analizleri yapılmıştır.

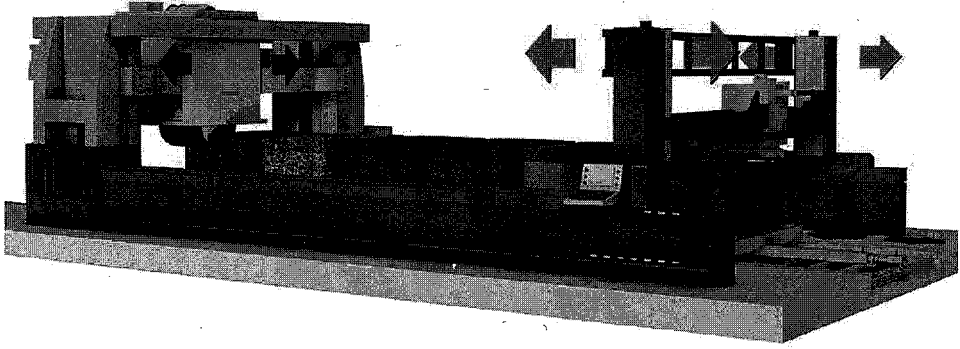
2. GRANİT S/TLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ VE OLASI SORUNLAR

Gerek granitin materyal özellikleri gerekse makine teknik özellikleri nedeniyle granit S/Tlerinde, karbonatlı doğal taş S/Tlerinden daha çok sorunla karşılaşılır. Kayaç mineral bileşimi nedeniyle granit S/Tleri (Şekil 1), karbonatlı doğal taş bloğu kesen S/Tlerden teknik ve kesme prensibi olarak farklıdır. Göreceli olarak kesme güclüğü üretim hızını düşürmektedir. Bu soruna karşı granit S/Tleri çoklu testere ile kesim yapar. Çok diskli ve yan yana üç diskli makinalarda testereler bir mil üzerine sıralanmıştır. Strip kalınlığı, diskler arasına yerleştirilen ve onları sabitleyen flanş kalınlığıyla belirlenir. Her bir testere üretim (strip) miktarını artırır.

Çok diskli granit S/Tlerin karbonatlı doğal taş S/Tlerinden bir başka farkı, arabadır (blok taşıyıcı, vagon). Çok diskli granit S/T arabasına, katarlarda olduğu gibi birden çok blok yerleştirilebilir. Amaç, birim ürün başına düşen tarama zamanını azaltmaktır. Aynı araba üzerinde bulunan blokların yüksekliği mümkün olduğunca birbirine yakın olmalıdır. Aksi halde, tarama zamanı uzar, birim maliyet artar ve kapasite düşer. Bloktaki çatlak ve anklav, kristal yığılması gibi durumlar da S/T performansında önemlidir. Jeolojik sorunlar üretimin yavaşlamasına neden olur. Bu sorunlar soketlere ve diske de zarar verebilir.

Araba üzerinde bulunan bloklar duraylı olmalı, kesme ve makine kuvvetlerinden kesim başlangıcından blok sonuna kadar etkilenmemelidir. Bloklar yerleştirildikten sonra tarama derinliği belirlenir. Bir arabada birden fazla bloğun bulunması halinde tarama

derinliği, en az yüksekliğe sahip bloğa göre belirlenir. Taramanın başlangıcında testerelerin hepsi blok içinde ilerlemez. Başlangıçta, testerelerin kesme derinliği ve ilerleme hızı düşüktür. Bütün testereler, bir soket kadar blok içine gömüldüğünde nihai kesme derinliği ve ilerleme hızı ile blok kesilir. Aksi halde, diskten soket kopmaları ve fırlamaları olabilir, disk gövde yüzeyinin düzgünlüğü bozulur.



Şekil 1. İki ayaklı Granit S/Tsi ve bağımsız yatay kesim ünitesi.

Granit S/Tlerinde kesme derinliği ve ilerleme hızı uyumlu olmalıdır. İlerleme hızının ve/veya kesme derinliğinin düşük olması üretim miktarını azaltır, birim maliyeti artırır. Düşük ilerleme hızı sonucu elmas tanecikler yüzeyleyemez ve soketlerde yalancı körlük olur. Yalancı körlükten sonra ilerleme hızı ve iniş kademesini daha da azaltmak gerekebilir. Yüksek ilerleme hızı ve/veya yüksek kesme derinliği soket kopmalarına, makine arızalarına, testere gövde terazisinin bozulmasına ve yüksek elektrik tüketimine neden olur.

Blok kesimine başlamadan önce soketlerin sayısı ve durumu kontrol edilir. Yeni soketler için kesme derinliği düşük tutulur. Elmas tanecikler yeterince yüzeylendiğinde en uygun kesme derinliği ve ilerleme hızında blok kesilir. Soketler, kesme verimliliği ve birim maliyet için önemlidir. Soket veriminde, soket içerisindeki elmas taneciklerin boyu ve sayısı, matriksin malzeme özellikleri, soketin diske bağlanma derecesi, soketin şekli (ölçüleri, geometrisi), elmas taneciklerin yüzeylenme derecesi ve granitin dokusal özellikleri önemlidir. Soket ve disk, granitin dokusal özellikleri değerlendirildikten sonra tasarlanmalıdır. Aksi halde, soketlerde kırılma, kopma, yalancı körlük, erken aşınma ve disk gövdesinde sorunlar (balans, çatlak, yırtılma) olur. Bu sorunlar amperi artırır, kapasite ve kaliteyi düşürür.

Granit S/Tlerinde testere sayısının fazla olması, birim zamanda üretim için bir gerekliliktir. Bununla birlikte, farklı minerallerden oluşmuş birden fazla bloğun aynı anda kesilmesi ve aynı mil üzerinde dönen disklere farklı yüklerin eş zamanlı kuvvet uygulaması kontrol edilemez bir durumdur. Bazı testerelerdeki soketler göreceli olarak fazla aşınırken, bazılarında da yalancı körlük oluşabilir. İlerleme hızının ve iniş kademesinin her bir disk özelliklerine uygun olması mümkün değildir. Granit S/Tlerini, karbonatlı doğal taş S/Tlerinden ayıran bir başka önemli özellik, soğutma suyudur. Granit S/Tlerinde daha fazla suya gereksinim duyulur. Testere sayısının fazlalığı, kuvars

gibi yüksek mineral sertliğine sahip minerallerin kesilmesi ve yüksek testere devri su gereksinimini arttırmaktadır. SIMEC NT 100+SM'in su gereksinimi 1600 l/dk'dır. Yeterli miktarda soğutma suyu testerele verilemezse soketler yanar ve özelliklerini kaybeder.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Endüstriyel bir çalışma olan burada, Anadolu Grisi granit blokların SIMEC NT 100+SM model (Şekil 2) bir S/Tde kesilmesi sırasında ana motor amper değişimleri gözlemlenmiştir. S/T motor gücü 300 kW'a'dır. Motorun tahrik ettiği mil üzerinde 46 testere bulunmaktadır. Testere devri 500 dv/dk'dır. Testere çapı 1300 mm dir. Her bir testere üzerinde 88 tane konik soket bulunmaktadır. Soketlerin alt ölçüsü, üst ölçüsü, uzunluğu ve kalınlığı sırasıyla 7.5 mm, 8.15 mm, 24 mm ve 12.5 mm'dir. 30 mm kalınlığında strip üretimi için iki testere arasında 33 mm kalınlığında ve 350 mm çapında flanşlar kullanılmıştır.



Şekil 2. Granit S/Tsi (SIMEC NT 100+SM).

Makine kontrol panelinden her bir kesim yolu süresince bir amper okuması yapılmış ve kaydedilmiştir. Bu araştırma sırasında planlanan strip eni 40 cm'dir. Okumalar, testere derinliğinin 20 cm'inde ve daha derinden alınmıştır. Kesme derinliği 0.1 mm aralıklarla 0.3–1.0 mm arasında sırasıyla belirlenmiştir. Her bir kesme derinliği için sırasıyla 13 m/dk, 14 m/dk, 15 m/dk, 16 m/dk ve 17 m/dk ilerleme hızı ile kesim yapılmıştır. Kesme derinlikleri ve ilerleme hızları iş güvenliği ve üretim tecrübesine bağlı olarak belirlenmiştir. Her bir kesme derinliği ve ilerleme hızı için beşer okuma yapılmıştır. Her bir kesme derinliği ve farklı ilerleme hızına ait amper değişimleri kaydedilmiştir.

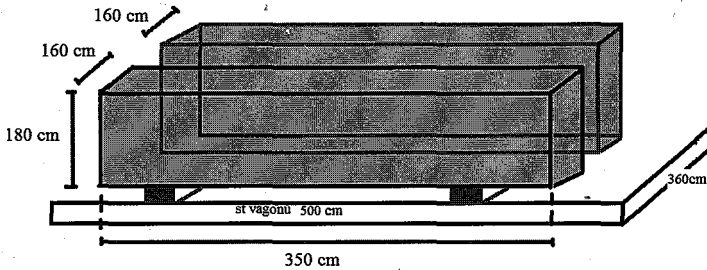
Anadolu Grisi üzerine jeolojik ve malzeme özelliklerine yönelik her hangi bir çalışma bulunmamaktadır. İlgili en yakın çalışma, Angı (2007) tarafından Anadolu Grisi ocağına yaklaşık 45 km uzaklıkta olan Yaylak graniti için yapılmıştır. Bu bağlamda, kayacın dokusal ve materyal özelliklerinin S/T performansına etkisi belirlenememiştir. Bu konu, sonraki çalışmalarda araştırılacaktır.

4.1 Kesme Deneylerinin Düzenlenmesi

Kesme deneyleri 3.5 m uzunluğunda, 1.8 m yüksekliğinde ve 1.6 m genişliğindeki granit blokları üzerinde yapılmıştır (Şekil 3). Kesme deneylerinde farklı seviyelerde kesme derinliği ($d = 0.3 / 0.4 / 0.5 / 0.6 / 0.7 / 0.8 / 0.9 / 1.0$ mm) ve ilerleme hızı ($V_f = 13 / 14 / 15 / 16 / 17$ m/dk) uygulanarak 39-119 cm^2/dk 'lık kesme hızları (Q_w) elde edilmiştir. Üretim hızı, zaman ve işçilik nedeniyle mümkün olduğunca yüksek belirlenir. Kesme hızı, birim zamanda kesilen yüzey alanı olup

$$Q_w = d \times V_f \quad [1]$$

bağıntısından cm^2/dk veya m^2/h olarak hesaplanır.



Şekil 3. Kesimi yapılan bloğun şematik görüntüsü.

Kesme derinlikleri ve ilerleme hızları iş güvenliği ve üretim tecrübesine bağlı olarak belirlenmiştir. Her bir kesme derinliği ve ilerleme hızı için ana motor amper değişimlerine ait veriler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Anadolu Grisi granitinin kesiminde S/T ana motor amper değişimleri.

d (mm)	Vf=13 m/dk	Vf=14 m/dk	Vf=15 m/dk	Vf=16 m/dk	Vf=17 m/dk
0.3	193.2 A	194.4 A	195.8 A	196.8 A	197.6 A
0.4	198.2 A	199.4 A	200.6 A	202.8 A	204.6 A
0.5	203.8 A	205.8 A	208.2 A	210.4 A	212.6 A
0.6	209.6 A	212.6 A	215.8 A	217.8 A	220.2 A
0.7	216.2 A	220.6 A	222.2 A	224.8 A	227.4 A
0.8	222.6 A	226.2 A	230.4 A	236.4 A	238.2 A
0.9	233.4 A	238.8 A	241.0 A	243.0 A	246.4 A
1.0	242.4 A	244.6 A	247.6 A	252.0 A	256.6 A

d=derinlik, Vf=ilerleme hızı; A=amper

4.2 Özgül Kesme Enerjisi

Bu çalışmada, ticari adı Anadolu Grisi olan granit bloklarının SIMEC NT 100+SM model bir S/T ile kesimi gerçekleştirilmiştir. Kesim esnasında ilerleme hızları ve

derinlikler değiştirilerek kesilebilirlik analizleri yapılmıştır. Çalışmada kesilebilirlik performansı ölçütü olarak özgül enerji değerleri ele alınmıştır. Özgül kesme enerjisi (Specific Energy), birim hacimdeki kayacı kesmek için harcanan enerji miktarı olup, kesme işleminin verimliliği konusunda yaygın olarak kullanılan bir göstergedir (Li vd., 2002; Xipeng vd., 2001; Büyüksağış ve Göktan, 2005). Özgül kesme enerjisinin küçük değerleri görece 'verimli' kesme koşullarına işaret eder.

Granit S/T'si üzerindeki tek bir testere için, Bağıntı 2 yardımıyla kesim süresinde harcanan enerji (E) hesaplanmıştır (Kılıç vd., 2003). Bağıntı 2'den elde edilen enerji değerleri kullanılarak Bağıntı 3 yardımıyla özgül enerji değerleri elde edilmiştir (Yılmaz Güneş, 2009). Çalışma parametrelerine bağlı elde edilen özgül enerji değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

$$E = \frac{\sqrt{3} \times U \times I \times \cos \omega \times t}{3600 \times 1000} \quad [2]$$

Burada;

E : Kesim süresince harcanan enerji, Kwh

U : Gerilim farkı, Volt

I : Testerenin boşa ve yükteyken ölçülen akımların farkı, Amper

Cosω : Motorun sabit değeri

T : Kronometraj süresi, saniye

$$SE = E / Q \quad [3]$$

Burada,

SE = Özgül kesme enerjisi (J/mm³)

Q = Testerenin kesim süresince taş içersinde açtığı kanalın hacmi (mm³)'dir.

5. DEĞERLENDİRME

Yukarıda değinildiği gibi, özgül kesme enerjisi (ÖA) kesme işleminin verimi konusunda bilgi veren önemli bir göstergedir. Çizelge 2'de verilen deneysel sonuçlardan yararlanarak kesme hızı (derinlik-ilerleme hızı)-özgül kesme enerjisi ilişkileri Şekil 4'te grafiksel olarak verilmiştir.

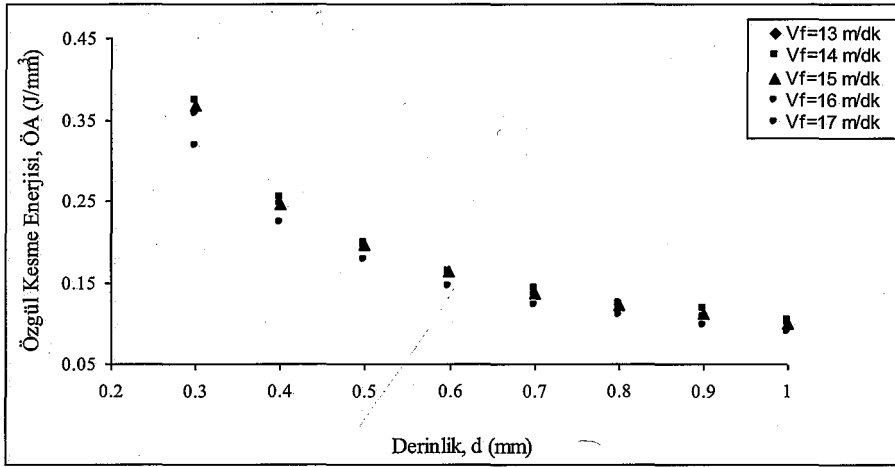
Çizelge 2. S/T üzerindeki tek bir testere için özgül kesme enerjisi değerleri.

	Vf=13 m/dk	Vf=14 m/dk	Vf=15 m/dk	Vf=16 m/dk	Vf=17 m/dk
d (mm)	ÖA (J/mm ³)	ÖA (J/mm ³)	ÖA (J/mm ³)	ÖA (J/mm ³)	ÖA (J/mm ³)
0.3	0.39	0.37	0.37	0.36	0.32
0.4	0.26	0.25	0.25	0.25	0.22
0.5	0.20	0.20	0.20	0.19	0.18
0.6	0.17	0.16	0.16	0.16	0.14
0.7	0.14	0.14	0.14	0.13	0.12
0.8	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11
0.9	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10
1	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09

d=derinlik, Vf=ilerleme hızı; ÖA=özgül kesme enerjisi

Anılan grafikte görüldüğü gibi, ilerleme hızını (V_f) veya kesme derinliğini (d) arttırmak özgül kesme enerjisinin azalmasına neden olmaktadır. Azalan ÖA değerleri ise kesme işleminin giderek daha verimli koşullarda gerçekleştirildiğine işaret etmektedir. Bu nedenle, kesme verimi açısından bakıldığında, uygulamada kesme hızının mümkün olduğu kadar yüksek tutulması avantaj sağlayacaktır.

Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin fonksiyonu olduğundan bu iki parametreye ait değerlerin uygun bir birleşimi gerekir. Şekil 4'te grafiksel olarak verilen kesme deneyi sonuçları incelendiğinde; hedeflenen belirli bir kesme hızı için, kesme derinliğinin 0.7 mm, ilerleme hızının 17 m/dk tutulduğu 119 cm^2/dk 'lık kesme hızının özgül enerji açısından optimum çalışma parametresi olarak alınabileceğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4. Kesme hızı-Özgül kesme enerjisi ilişkisi.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

1300 mm çapta 46 testereli SIMEC NT+100 SM model S/T'de Anadolu Grisi isimli granit bloğu kesilmiştir. Kesme derinliği ve ilerleme hızının fonksiyonu olan kesme hızının kesim verimliliği ölçüti olan özgül enerji ile olan ilişkisi irdelenmiştir. Çalışmada varılan sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir:

- Bu çalışma şartları için geçerli olmak üzere derinlik 0.7 mm ve ilerleme hızının 17 m/dk olduğu 119 cm^2/dk 'lık kesme hızının verim açısından optimum çalışma şartı olduğu sonucuna varılmıştır.
- Uygulamada, kesme hızının mümkün olduğu kadar yüksek tutulması kesme enerjisi, zaman ve işçilik açısından avantajdır.
- Ancak, yüksek kesme hızları ile çalışıldığında soketlerdeki özgül aşınma değerleri görece daha fazla olmaktadır. Bu nedenle, önerilen kesme hızının

testere özgül aşınması için de uyumlu olup olmadığı ileride yapılacak çalışmalarla incelenmelidir.

KAYNAKLAR

- Angı, O.S.** (2007) Aksaray Yaylak Granitinin kaplama taşı yönünden özelliklerinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Büyüksağış, İ.S. Goktan, R.M.** (2005) Investigation of marble machining performance using an instrumented block-cutter. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 169, pp. 258-262.
- Ersoy, A. Buyuksagis, I.S. ve Atıcı, U.** (2005) Wear characteristics of circular diamond saws in the cutting of different hard and abrasive rocks. *Wear*, Vol. 258, pp. 1422-1436.
- Ertingshausen, W.** (1985) Wear processes in sawing hard stone. *Industrial Diamond Review*, Vol. 5, pp. 254-258.
- Eyuboglu, A.S. Ozcelik, Y. Kulaksız, S. ve Engin, I.C.** (2003) Statistical and microscopic investigation of disc segment wear related to sawing Ankara andesites. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 40, pp. 405-414.
- Hausberger, P.** (1990) Stone machinability. *Industrial Diamond Review*, Vol. 5, pp. 258-261.
- Jennings, M. ve Wright, D.N.** (1989) Guidelines for sawing stone, *Industrial Diamond Review*, Vol. 2, pp. 70-75.
- Konstanty, J.** (2000) Diamond bonding and matrix wear mechanisms involved in circular sawing of stone. *Industrial Diamond Review*, January, pp. 55-65.
- Konstanty, J.** (2002) Theoretical analysis of stone sawing with diamonds. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 123, pp. 146-154.
- Kılıç, A.M. Karakuş, A. Keskin, M.Ö.** (2003) Diyarbakır yöresi mermerlerinin fiziko mekanik özellikleri-özgül enerji ilişkisi. *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (mersem '2003) bildiriler kitabı 18-19 Aralık*.
- Lan, S. Jinsheng, P. Changjian, L.** (2002) A new approach to improve the performance of diamond sawblades. *Materials Letters*, Vol.57, pp.1010-1014.
- Li, Y. Huang, H. Shen, J.Y. Xu, X.P. Gao, Y.S.** (2002) Cost-effective machining of granite by reducing tribological interactions. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.129, pp. 389-394.

- Luo, S.Y.** (1997) Investigation of the worn surfaces of diamond sawblades in sawing granite. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 70, pp. 1-8.
- Mamalis, A.G. Schulze, R. Tönshoff, H.K.** (1979) The slotting of blocks of hard rock with a diamond segmented circular sawblade. *Industrial Diamond Review*, Vol.39, pp. 356-365.
- Tönshoff, H.K. Asche, J.** (1997) Wear of metal-bond diamond tools in the machining of stone. *Industrial Diamond Review*, Vol. 1, pp.7-13.
- Tönshoff, H.K. Hillman-Apman, H. ve Asche, J.** (2002) Diamond tools in stone and civil engineering industry: cutting principles, wear and applications. *Diamond Related Materials*, Vol. 11, pp. 736-741.
- Tönshoff, H.K. Warnecke, G.** (1982) Research on stone sawing. *Advances in Ultrahard Materials Application Technology*, Vol. 1, pp.36-49.
- Ünver, B.** (1996) A statistical method for practical assessment of sawability of rocks. *Eurock'96*, Barla (eds), Balkema, Rotterdam, pp. 59-65.
- Wang, C.Y. Wei, X. Tang, Z.L. and Pan, Z.C.** (1995) The role of coolant in granite sawing. *Industrial Diamond Review*, Vol. 4, pp. 156-160.
- Wei, X. Wang, C.Y. and Zhou, Z.H.** (2003) Study on the fuzzy ranking of granite sawability. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 39, pp. 277-280.
- Xipeng, X. Yuan, L. Stephen, M.** (2001) Forces and energy in circular sawing and grinding of granite. *Journal of Manufacturing Sciences and Engineering*, ASME, Vol.123, pp.13-22.
- Xu, X. Li, Y. Malkin, S.** (2001) Forces and energy in circular sawing and grinding of granite. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol.123, pp.13-22.
- Xu, X. Li, Y. Yu, Y.** (2003) Force ratio in the circular sawing of granites with a diamond segmented blade. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.139, pp.281-285.
- Xu, X.P., Li, Y., Zeng, W.Y. ve Li, L.B.** (2002) Quantitative analysis of the loads acting on the abrasive grits in the diamond sawing of granites. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.129, pp.50-55.
- Yılmaz Güneş, N.** (2009) Magmatik kökenli doğal taşların elmas soketli dairesel testerelerle kesilebilirlik analizleri. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, p.188.

MINERAL ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN DEĞİRMENLERİN ÇALIŞMA MEKANİZMALARI

THE WORKING MECHANISM OF MILLS IN MINERAL INDUSTRY

Ali UÇAR, *Dumlupınar Üniversitesi, Müh. Fak., Kütahya*

ÖZET

Kayaçlara ve minerallere olan ihtiyaç artan Dünya nüfusu ile birlikte sürekli artmaktadır. Bu malzemelerin de doğadan üretildikleri gibi kullanılmadıkları da bilinmektedir. Kullanım için en önemli şartlar kimyasal içerik ve tane boyut dağılımıdır. Doğada direkt olarak veya zenginleştirilerek uygun kimyasal içerik kazanmış malzemelerin, kullanım için uygun boyuta getirilmesi de ufalama (boyut küçültme) ile sağlanmaktadır. Gelişen teknoloji ile beraber kullanıma göre her türlü malzemeyi oldukça ince boyutlara kadar ufalayabilen değirmenlerin farklı yapıları ve çalışma mekanizmaları vardır. Örneğin ortam kullanılıp kullanılmaması, çalışma şekli ve hızı, malzemenin öğütme elemanları ile temas edip etmemesi gibi.

Değirmenler cevher zenginleştirme, inşaat, boya, gıda, seramik, çimento, tarım, ilaç gibi birçok sektörde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı; ufalanan malzemenin tane boyutuna, sertliğine ve enerji sarfına göre dizayn edilen ve oldukça geniş yelpazeye yayılan değirmenlerin yapılarını ortaya koymak ve çalışma mekanizmalarını açıklamaktır.

ABSTRACT

With increasing world population and with technology, industry continually demanding significant amounts of industrial mineral and rocks. These raw materials have to be processed before being properly utilized in industry. The most important properties required by the industry for these raw materials include their chemical properties and particle size distributions. All the materials either raw or processed for required chemical properties should be comminuted before being used in industry. With development of technology, mills that communicate all kinds of raw materials to the required particle size for industrial utilization purposes such as whether or using media, their working principles rpm., etc. comprise various construction and working mechanism.

Mills have been used in many industries such as mineral processing, construction, pigments, food, ceramics, cement, agriculture, pharmaceutical, etc. The goal of this study is to emphasize and describe working mechanisms of mills and their constructions and the mills designed by particle size, hardness and power consumption.

1. GİRİŞ

Ufalama (kıрма ve öğütme) bir malzemenin tane boyutunu düşürmek, istenilen tane boyut dağılımını sağlamak, istenilen tane şeklinde malzeme üretmek, aglomeraları dağıtmak, çözünme kinetiğini artırmak için kullanılan en yaygın yöntemdir. Buna göre de malzemeler kullanım yerlerine (Çizelge.1) göre ince (0.1-0.001 mm), çok ince (0.001- 0.0001 mm) ve süper ince (-0.0001 mm) olarak adlandırılan tane boyutlarında istenmektedir (mineral processing, 2009; Sikong, 2008; Demir, 2007).

Çizelge 1. Malzeme ve kullanım parça boyutu.

Malzeme	Uygulaması	Parça boyutu, mm
Feldispat	Seramik	0.0075
Talk	Kağıt ve Kozmetik	0.01
Kireçtaşı	Portlad çimentosu	<0.1
Tebeşir		0.05
Biriket kömürü		<0.1
pigmentler	Boya	0.001
Kuvars	Cam	0.01
Fosfat	Gübre	0.075
Demir cevheri		0.2
Kireç	Çeşitli uygulamalar	0.1
Kil		0.002
Alumina		0.005

Kırma ile boyut küçültme, son ürünler açısından sınırlı (kısıtlı, yetersiz) bir durumdadır. Eğer daha fazla küçültme, mesela 5-20 mm'nin altında tane boyutu istiyorsak öğütme işlemini kullanmak zorundayız. Öğütmede mekanik bir işlem sonucu, belirli bir tane iriliğinde malzeme elde edilirken, tanelerin hacminin küçültülüp yüzey alanlarının büyütülmesi gerçekleştirilmektedir.

Öğütme, enerjinin en yaygın ve en verimsiz olarak kullanıldığı işlem birimidir. Özellikle, tane boyutu küçüldükçe (ileri malzemeler için) tanelerin kırılmaya karşı olan dirençlerinin artmasıyla birlikte tüketilen enerji miktarları da aşırı bir şekilde artmaktadır. Öğütme konusunda yapılan çalışmaların çoğunda enerji- boyut küçültme arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılarak en az enerji ile en uygun boyuta küçültme yapabilmenin olanakları araştırılmaktadır.

Cevher hazırlama tesislerinde harcanan enerjinin %30 ila 50'den fazlası boyut küçültmede (kıрма+öğütme) harcanmaktadır. Bu özellikle sert cevherlerde veya daha ince boyutlara inildikçe %70'lere kadar çıkmaktadır (Tomanec, 1994).

Kullanım alanlarına göre belirli bir tane boyutunda ve değişik tane şekilli malzemelerin eldesi için yapılan boyut küçültmede etkili olan kuvvetler katıların yüzey enerjileri ile ilgili olduğu tahmin edilirdi. Fakat günümüzde yapılan araştırmalar, fiziksel (elastik, plastik, kırılma kopma, makaslama kopması ve plastik deformasyon kopması, vb.), kimyasal (moleküler yapıları) ve mineralojik (minerallerin yapısı, şekli, boyutları, homojen veya heterojen dağılımları, anizotropisi, alterasyon derecesi ve çatlaklarının

büyüklüğü) özelliklerinin de boyut küçültmede, önemli parametreler olduğunu kanıtlamıştır (Yüce, 2007; Yıldırım, 1996).

Tane boyutunun küçültülmesi için belirli bir dış kuvvetin yeterli bir süre ve hızla taneye uygulanması gerekir. Aksi takdirde kuvvetin etkisi kalktığında, tane ilk şeklini tekrar alacak, yani malzemenin iç kuvvetleri yenilemeyecek ve tane boyutu küçülmeyecektir (Yıldız,1999). Değirmenlerde Şekil 1'de görülen mekanik kuvvetlerden biri veya birkaçı beraberce uygulanarak malzeme ufalanmaktadır.

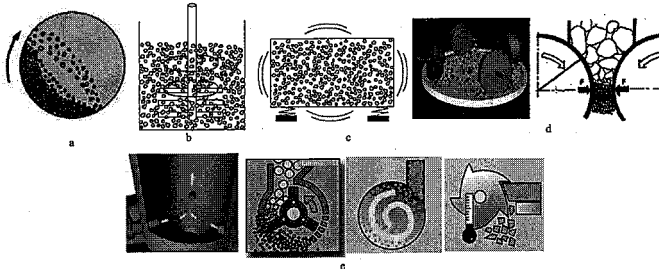


Şekil 1. Değirmenlerde uygulanan kuvvetler. a) Sıkıştırma (basınç) (Valsli ve YBMD) b) Darbe (çarpma) (Çekiçli, Pin, Hava sınıflandırma, Jet değirmenler) c) Aşınma (sürtünme) (Otojen, Gap, Jet değirmenler) d) Kesme (makaslama) (Kesici değirmenler).

Şimdiye kadar endüstrilerde kullanılan değirmenler hakkında çalışmalar yapılmasına rağmen, sistematik yapıları, çeşitleri ve çalışma mekanizmaları hakkında bilgiler sınırlı kalmıştır. Bu nedenle çalışmayla daha önceki çalışmalara katkı sağlanmış olacaktır.

2. DEĞİRMENLERİN YAPISI VE ÇALIŞMA MEKANİZMALARI

Değirmenler Şekil 2'de görülen öğütme metotlarına göre değişik şekil ve yapılarda dizayn edilmektedir.

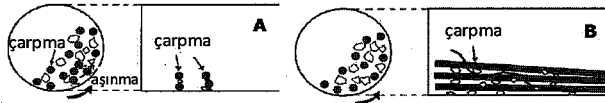


Şekil 2. Öğütme metotları (a-Yuvarlayarak, b- Karıştırarak, c- Titreşimle d- Baskı, ezme ve aşındırarak e- Püskürtme çarpma.ve keserek).

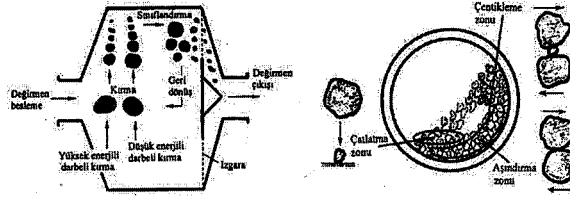
2.1 Tambur Tipi Döner Gövdeli Değirmenler

Yatay bir eksen etrafında dönen bir tamburdan oluşurlar. Bu tip değirmenler ortam kullanılıp kullanılmamasına göre ve ortam kullanılanlarda ortama (çubuk, Bilya, çakıl vb.) göre sınıflandırılırlar. Ortam kullanmayan değirmenler ise otojen değirmenlerdir. Mineraller değirmen dönme hızına (kritik hızın belli oranı) bağlı olarak baskı, çarpma ve kayma (aşındırma) kuvvetlerinin biri veya birkaçı ile öğütülürler. Şekil 4'de çubuklu

ve bilyalı değirmende çarpma kuvveti ile öğütme görülmektedir (Gupta, 2006). Otojen ve yarı otojen değirmenlerde, öğütme sırasında meydana gelen olaylar ve ufalamanın oluştuğu bölgeler ise Şekil 5’de görüldüğü gibidir (Yıldız, 1999).

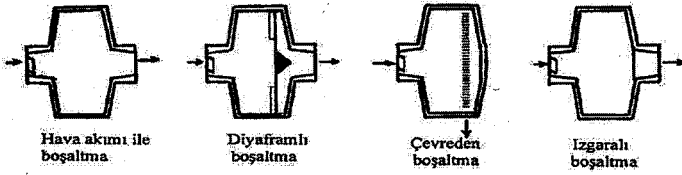


Şekil 4. Bilyalı (A) ve çubuklu (B) değirmenlerde öğütme şekli.



Şekil 5. Otojen değirmenlerde meydana gelen olaylar ve ufalamanın oluştuğu bölgeler.

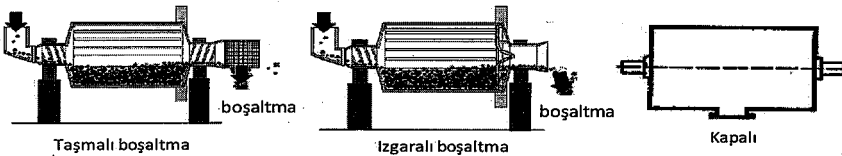
Otojen (Şekil 6), çubuklu (Şekil 7) ve bilyalı (Şekil 8) değirmenlerden öğütme sonrası malzeme boşaltma sistemlerine göre de değirmen yapıları değişmektedir.



Şekil 6. Otojen değirmenlerde boşaltma sistemleri.



Şekil 7. Çubuklu değirmenlerde boşaltma sistemleri.



Şekil 8. Bilyalı değirmenlerde boşaltma sistemleri.

2.1.2 Karıştırma Değirmenleri

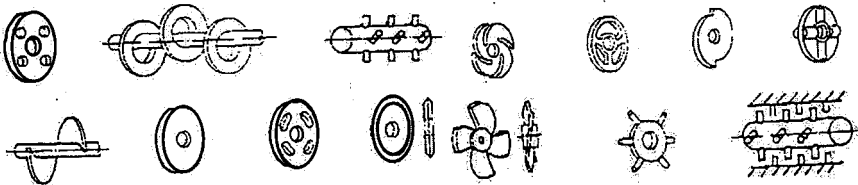
Karıştırma ortam değirmenleri basit yapı, kolay proses, yüksek boyut küçültme oranı, ve az aşınma kirlenmesi nedenleriyle cevher hazırlama, seramik, boya, kimya, metalürji, gıda, plastik, elektronik, ziraat, ilaç, enerji vb. endüstrilerde malzeme ve minerallerin ince ve çok ince öğütülmesinde artan bir şekilde kullanılmaktadır (Kwade, 1999; Toraman, 2010; Hacıfazıloğlu, 2009).

Karıştırma ortam değirmenlerinin cevher hazırlamada, daha ince boyutlarda serbestleşen kompleks cevher yataklarının, değerli metallerin ve artıkların kazanılması için daha ince boyutlara indirilmesi, oksitlenen mineral yüzeylerinin temizlenmesi, mekanik aktivasyon ve aglomeraların dağıtılması nedenleriyle önemi giderek artmaktadır (Lane, 1999).

Son yıllarda önemi giderek artan karıştırma değirmenlerin birçok dizaynı ortaya çıkmasına rağmen temel yapıları değişmemiş olup, oldukça basittir. Aşırı ısınmayı önlemek için etrafında bir su ceketini bulunduran silindirik bir gövde ve bu gövde içinde değişik hızlarda (3 m/s (düşük hızlı) - 20 m/s (yüksek hızlı)) dönen karıştırıcıdan oluşmaktadır. Genellikle öğütme hacminin %70-85'i ortam ile dolu olup ortam, çelik veya seramik bilya, alüminyum veya zirkon, kum, çakıl taşı, izabe cürufu, otojen öğütme malzemesi olabilirken kuru veya yaş olarak çalışabilmektedirler. Bu değirmenlerdeki öğütmede aşındırma ve kesme kuvvetleri etkindir.

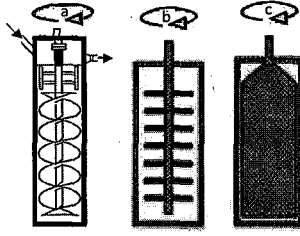
Geleneksel bilyalı değirmenlerde güç (enerji) gövde tarafından ortama aktarılırken ve santrifüj kuvveti nedeniyle bu güç sınırlandırılırken, karıştırma değirmenlerinde genellikle gövde sabit (Maxx Mill hariç) olup güç değişik karıştırma elemanları (Şekil 9) ile değişik hızlarda direkt ortama iletildiği için güç yoğunluğu fazladır. Dolayısıyla bu değirmenler içerisinde birim zaman ve hacimde açığa çıkan enerji miktarı çok yüksektir ve böylece enerji tüketimlerinin bilyalı değirmenlere göre çok düşük kalması ve 10 µm tane boyutunun altında öğütmelerde bile ekonomik olması bu değirmenlerin önemini artırmaktadır (Dikmen, 2004; Kwade, 1999; Lane, 1999, Celep, 2008, Weller, 2008).

Karıştırma bilyalı değirmenlerin yatay ve dikey gövdeli olmak üzere shaftına bağlı karıştırıcısına göre birçok tipi vardır. Şekil 10 ve 11'de görüldüğü gibi karıştırıcı geometrisine bağlı olarak disk, pin, halka, spiral vb. karıştırma değirmen tasarımları bulunmaktadır. Dikey olanların karıştırma hızları yavaş (spiralli) ve orta (pinli) olabilirken yatay gövdeliler daha hızlıdır.



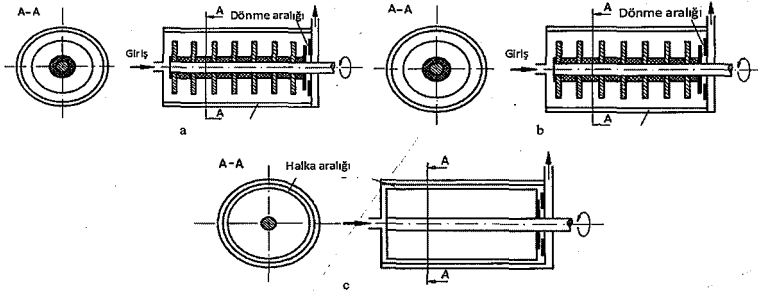
Şekil 9. Karıştırma değirmenleri için çeşitli karıştırıcı dizaynları (Weller, 2008).

Dikey Karıştırma Değirmenleri



Şekil 10. Dikey gövdeli değişik karıştırıcıli değirmenler (a-Spiral (Helezon) karıştırıcı, b- Pin karıştırıcı, c- Halkalı karıştırıcı).

Yatay Karıştırma Değirmenleri



Şekil 11. Yatay gövdeli değişik karıştırıcıli değirmenler (a- Disk karıştırıcı b- Karşılıklı pin karıştırıcı c- Halkalı karıştırıcı).

Ticari olarak değişik firmalar tarafından tasarlanmış çok sayıda karıştırma değirmeni bulunmaktadır. Bunlardan bazıları;

Tower Mill, Vertimill, Sala Agitated Mill (SAM), Svedala Detritor, Isa Mill, ANI-Metprotech, Stirred Vertical Mill, Alpine ATR Mill, Maxx Mill, KD Tower Mill, Drais Stirred Mill, Pitt Mill, USBM Mill.

2.1.3 Valsli Değirmenler

Ezme ve aşındırma prensibiyle öğütme yapan bu değirmenler mineral endüstrisinde kullanımı oldukça eskiye dayanmaktadır. Antik çağlardan beri kullanılmakta olan valsli değirmenler günümüzde özellikle kömür, fosfat, kireçtaşı, bentonit, çimento gibi aşındırıcı olmayan malzemelerin öğütülmesinde kullanılırlar. Bu değirmenlerde öğütücü valsler (rulolar, merdaneler, bilyalar) sabit veya hareketli dairesel bir tabla veya öğütme yatağı üzerinde dönmekte, tabla ve rulo arasında kalan malzeme, sıkışma (basma) ile öğütülmektedir. Rulolar kendi ağırlıkları veya öğütülecek malzemenin boyutuna ve kapasitesine göre santrifüj kuvveti, hidrolik, pnömatik ya da yay sistemi ile tabla üzerine bastırılırlar. Genellikle kuru çalışmaları için öğütülen malzeme, ortamdan fanların oluşturduğu hava akımı ile alınır. Bu değirmenler bir bilyalı değirmene göre %75 daha az enerji harcarlar maliyetleri daha düşüktür. Valsli değirmenlerin önemli bir

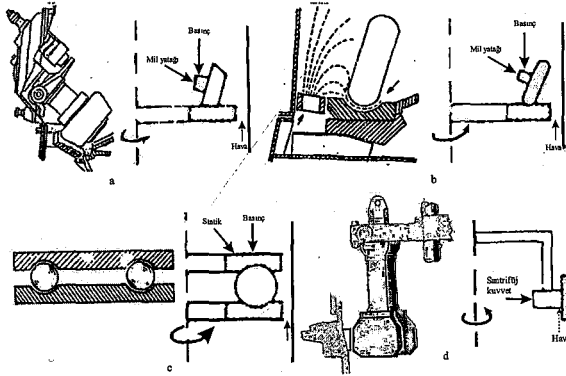
özelliği nemli malzemeleri verimli bir şekilde kurutup öğütebilmeleridir. Valsli değirmenler, dikey ve yatay olmak üzere başlıca iki tipte tasarlanmıştır.

Dikey Valsli Değirmenler

Dikey veya dik değirmenler, öğütme zonu özellikleri ve öğütme elemanlarının durumlarına göre farklılıklar gösterirler. Öğütme tablası haznesinin ve valslerin geometrik şekilleri, sayıları ve birbirine göre yerleşimleri ve öğütme yatağı üzerine bastırılma şekilleri farklıdır. Buna göre bu değirmenleri dört ana guruba ayırmak mümkündür (Şekil 12).

1. Düz tablalı valsli değirmenler (Loesche, Raymond, Fuller, Ube)
2. Oluk hazneli valsli değirmenler (Pfeiffer-MPS, Polysius, FLS-Atox)
3. oluk hazneli toplu değirmenler (Claudius Peters, Babcock-E)
4. Sarkaç değirmenler (Kemal, 1996; Yıldız, 1999; Demir, 2007; Hacıfazıloğlu, 2009; Wang, 2008).

Bunlara ek olarak, mevcut değirmenlerin etkinliğini artırmak için ön öğütücü olarak kullanılmak üzere geliştirilmiş sınıflandırıcısı olmayan CKP değirmenleri de bulunmaktadır (www.taiheiyo-eng.co.jp/egl/img/pdf/ckp.pdf).

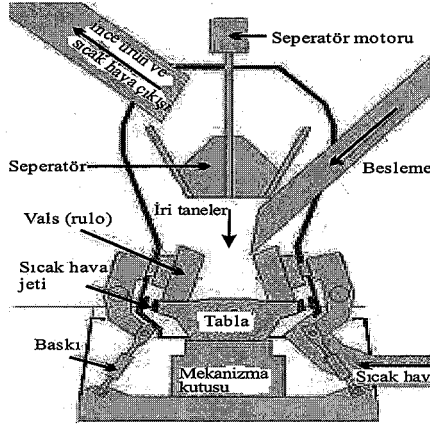


Şekil 12. Öğütme Ruloları ve tabla şekillerine göre dik değirmenler ve öğütme mekanizmaları (a- Düz tablalı b- Oluklu tablalı c- Oluk hazneli toplu d- Sarkaç değirmen).

Şekil 13'de bu tip değirmenlerde madde akımları ve değirmen mekanizmaları verilmiştir. Genellikle sınıflandırıcı ile komplike kapalı bir sistem oluştururlar.

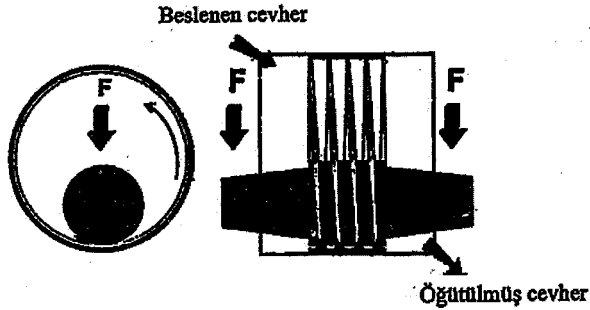
Yatay Valsli Değirmenler

Kuru ince öğütme maliyetlerinin yüksek olması, yeni öğütme sistemlerinin sürekli olarak araştırılmasına neden olmuştur. Horamill olarak da isimlendirilen yatay valsli değirmen, kendi eksenini etrafında dönen silindirik manto ve iç tamburdan oluşan bir öğütme sistemidir. Bu değirmenin mantosu, aktarma organlı motorla bir dişliden hareket alır. Öğütme kuvvetleri hidrolik silindir tarafından tambura aktarılır. Değirmen içi, malzeme dolaşımını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 13. Bir dikey valsli değirmende madde akımları ve değirmen parçaları.

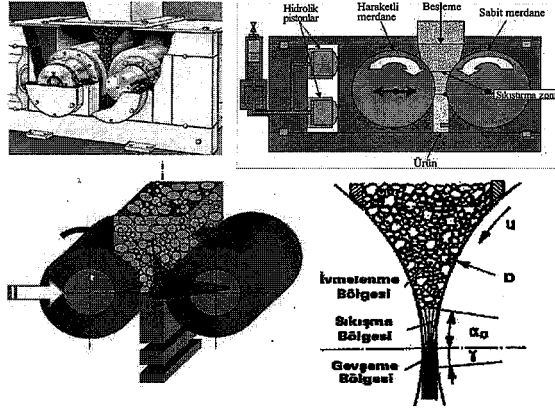
Öğütülecek malzeme değirmen içyapısı ve merkezkaç kuvvetinin de etkisi ile değirmen içinde, değirmen çıkışına doğru düzenli olarak hareket ederek manto ile tambur arasından birkaç kez geçer. Bu geçiş süresinde manto ile tambur arasında sıkışan malzeme öğütülür (Yıldız, 1999). Değirmenin kesiti Şekil 12’de gösterilmiştir. Bu değirmene benzer bir değirmende CEMAX değirmenidir. Aradaki fark Cemax değirmeninin kritik hızın altında çalışmasıdır.



Şekil 14. Yatay valsli değirmen kesit görüntüşleri ve öğütme mekanizması.

2.1.4 Yüksek Basıncılı Mordaneli Değirmenler (Presler)

Taneli malzeme yığınlarının basınç altındaki yüzeyler arasında öğütülmesinin, enerjinin verimli kullanımı açısından, diğer bir uygulama şekli de yüksek basınçlı mordaneli (YBMD) değirmenlerdir. Yüksek basınçlı mordaneli değirmenler, ters yönde dönen iki adet geniş çaplı (750-2500 mm) dar yüzeyli (260-1800 mm) mordanelerden oluşmuş olup mordanelerden birisi sabit bir yatağa oturtulmuşken diğeri hidrolik bir sistem aracılığıyla sabit mordaneye doğru itilmektedir. Böylece değirmen büyüklüğüne göre oluşturulan basınç (50-150 kPa) ile mordaneler arasına beslenen malzeme yatağındaki taneler ezilerek ufalanmaktadır (Şekil 15) (Aydoğan, 2004; Yıldız, 1999; Hacıfazıloğlu 2009; Kemal, 1996).



Şekil 15. Yüksek basınçlı merdaneli değirmenler ve öğütme mekanizması.

Sınırlanan yatak öğütmesinde (YBMD), enerji doğrudan şarj malzemesine aktarılır ve öğütme, sıkıca bastırılmış yatağın tanecikler arasında temas noktasında bölgesel yüksek basınçlar oluşturarak gerçekleşir. Aktarılan ortamlı değirmenlerde ise enerjinin büyük bir bölümü, öğütücü ortamın birbirleri ile ve astarlarla çarpışmasında harcadığından, yüksek basınçlı merdaneli değirmenlerde klasik bilyalı değirmenlerde tüketilen spesifik enerjinin %50'sinden fazlasının tasarrufu mümkündür (Fuerstenau, 1999).

Yaygın olarak, çimento sektöründe farin ve klinker öğütülmesinde kullanılan yüksek basınçlı merdaneli değirmenler, mineral endüstrisinde de kireç taşı, dolomit, kurşun, çinko, altın, gümüş, demir, elmas, bakır, krom gibi cevherlerin kırma (üçüncül) ve öğütme (çubuklu ve yarı otojen) devrelerinde de kullanılmaktadır (Aydoğan, 2004).

Yüksek basınçlı merdaneli değirmenler ince öğütmede olduğu kadar çok ince öğütmede de kullanılırlar. Merdaneli değirmenler yüksek verimli havalı sınıflandırıcılarla kapalı devre çalıştırıldıklarında 10 mikronun aşağısında da öğütme gerçekleştirebilirler.

Yüksek basınçlı öğütme merdaneleri, şekil olarak merdaneli kırıcılara benzemesine karşın uygulaması oldukça farklıdır. Basınçlı öğütme merdanelerinde, kırma bölgesine uygulanan basınçtan dolayı işletme yoğunluğu, malzemenin özgül ağırlığının %85'i kadar yüksek olabilir. Yani öğütmenin gerçekleştirildiği merdaneler arası boşlukta taneler kırıcılardaki gibi teker teker ezilmeyip besleme tane boyundan çok daha kalın bir besleme malzemesi tabakası içerisinde çok yüksek bir basınca tabi tutulmaktadır. Besleme malzemesi gravite kuvveti ile merdaneler arasına verildiği gibi bir besleme vidası ile bir ön basınç oluşturulup sıkıştırılarak da verilebilmektedir. Bu nedenle kapasiteleri oldukça yüksektir.

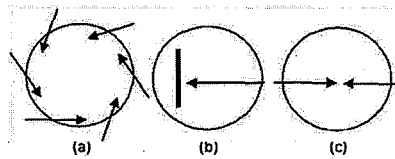
Bu makinaları merdaneli kırıcılardan ayıran en önemli özellik, merdaneler arasına beslenen malzemenin birim zamandaki hacmi merdanelerin birim zamanda çevresel hızı ve merdaneler arası boşluktan hesaplanan hacimden daima daha büyük olmasıdır. Ancak bu sayede çok yüksek basınçların merdaneler arasında kalan besleme malı tabakası üzerine uygulanması mümkün olmaktadır. Merdaneli preslerde taneler sıkıştırılıp tatbik edilen basınç taneler vasıtası ile aktarılmaktadır ve bu basınç tanelerde

bulunan mikro çatlakların yanı sıra yeni mikro çatlaklar da oluşturmakta ve malzeme kolaylıkla parçalanabilmektedir. Bu sayede, diğer öğütücülere göre sarf edilen enerjinin daha büyük bir kısmı ufalamada kullanılmaktadır. Merdaneli pres ön öğütücü olarak kullanıldığında merdaneyi terk eden tanelerde bulunan mikro çatlak miktarının artması nedeni ile nihai öğütmede daha az enerji sarfiyatı da söz konusu olmaktadır.

Ayrıca altın zenginleştirmede öğütülen cevherin çatlaklı olması hem altın verimini artırmakta hemde liç işlemi hızlanmaktadır (Aydoğan, 2004; Yıldız, 1999; Hacıfazıloğlu 2009; Kemal, 1996).

2.1.5 Jet (Akışkan Enerjili) Değirmenler

Son yıllarda ince ve çok ince ($<5 \mu\text{m}$) malzemeye duyulan ihtiyacın artması, araştırmacıları her malzemeyi bu boyutlara ufalayacak değirmen tasarımları üzerinde çalışmaya itmiştir. Burada da Jet değirmenler önemli bir yere sahiptir. Jet değirmen herhangi bir öğütme ortamı içermeyen statik bir değirmendir. Jet değirmenin öğütme elemanı bir veya daha çok nozullu oda içerir. Öğütülecek parçalar sıkıştırılmış gaz veya jet akımı ile hızlandırılır ve öğütme etkisi, parçalar arası çarpma veya herhangi bir yüzeye (değirmen gövdesi) çarpma ile oluşturularak darbe ve aşınma etkisiyle öğütme gerçekleştirilir. Ortamlı değirmenler ile karşılaştırıldıklarında, jet değirmenler bazı avantajlara sahiptirler. Örneğin, dar parça boyut dağılımlı çok ince tane içeriği, hareket eden parçasının olmayışı ve üstelik değirmen odasında yüksek türbülans, yüksek sıcaklık ve madde transferi ve otojen öğütme olduğu için astarlardan doğan ürün kirlenmesi yoktur. Jet değirmenlerde öğütme etkisi, sadece değirmen tipine bağlı olmayıp parça hızı ve parça boyutuna da bağlıdır. Ayrıca parçaların çarpışma açısı, öğütme zonu, besleme oranı ve gaz basıncı, mineral veya malzeme özellikleri (sertlik, yoğunluk ve kırılma davranışları), parça boyut sınıflandırması, parça şekli ve nozul karakteristikleri de önemlidir (Sikong, 2008; wang, 2008). Şekil 16'daki parça hareketi prensiplerine göre, jet değirmenler spiral, hedefli ve zıt (karşıt) jet değirmenler olarak sınıflandırılırlar.



Şekil 16. Öğütme prensibine göre jet değirmenler (a: spiral jet değirmen, b: hedefli (impak) jet değirmen, c: zıt jet değirmen) (Sikong, 2008).

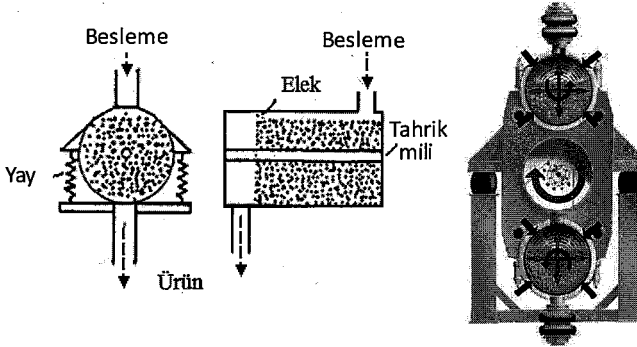
Bu değirmenler daha çok kimya ve ilaç sektörlerinde kullanılmalarına rağmen, talk, mika, bentonit, grafit gibi yumuşak mineraller ile kuvars, feldispat, zirkon, boya pigmentleri ve silisyum karbür gibi çok yüksek aşındırıcı minerallerin öğütülmesinde de kullanılabilir. Birkaç mikron seviyelerine kadar öğütme yapabilmelerine rağmen kapasiteleri düşük (0.1-2 t/s) enerji sarfiyatları ise yüksektir.

Değişik firmalar tarafından üretilen jet değirmenler; Jet-O Mizer, Alpine Jet değirmen, CGS (Netzch-Condux), Mikro-Jet, Roto-Jet, AFG (Kemal, 1996; Yıldız, 1999).

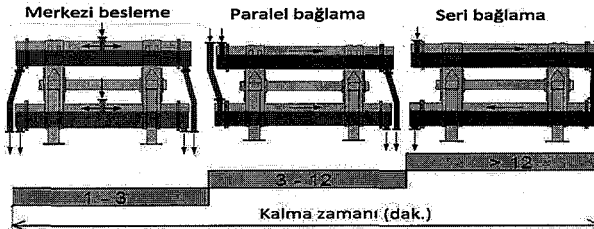
2.1.6 Titreşimli Değirmenler

Titreşimli değirmenler, her odasında hacimce % 65-80 oranında 5-20 mm çaplı ortam (bilya veya bazen de çubuk) ve öğütülecek malzeme bulunan, lastik takozlar ya da yaylar üzerine oturtulmuş 1-4 öğütme odalı kapalı bir sistemden oluşmuştur. Bu odalara 1000-1500 d/d civarında dönen dengesiz ağırlıklı shaft ile yüksek frekansta titreşim (genliği 3-4 mm) verilerek ortam çarpma (baskın kuvvet), baskı ve kayma kuvvetlerine göre malzemeyi öğütmektedir.

Bu değirmenlerde, üst boyutu 30 mm olan malzeme 5-10 mikrona kadar öğütülebilir. Elde edilen ürünün inceliği malzemenin değirmende kalma süresine bağlıdır. Çok sert malzemelerde daha avantajlı olurlar. Titreşimli değirmenler öğütülecek malzeme boyutundaki değişimlere karşı çok hassastır. Değirmen kapasitesi 20 t/s'a kadar çıkmakta olup yüksek kapasitede öğütme ile ilgili bazı sorunlar ortaya çıkmıştır. Titreşimli değirmenlerde öğütme odaları yatay da olabilmektedir. Bu değirmenlerin önemli avantajı ince öğütmede enerji verimliliğinin yüksek, yatırım maliyetinin düşük olmasıdır (Boyut ve ağırlığı küçük). Ancak değirmenlerin bakım maliyeti yüksektir. Yaş veya kuru, sürekli veya süreksiz olarak kullanılabilirler. Soğutma ve ısıtma yapabilirler. Yumuşak veya sert malzemeleri öğütebilirler (Stein, 2005; Mineral processing, 2009; Yıldız, 1999; Hacıfazıloğlu, 2009; Andres, 2010)



Şekil 17. Titreşimli tek ve iki tüplü değirmen ve öğütme mekanizmaları.



Şekil 18. Titreşimli değirmenlerin besleme şekline göre gövdeler arası bağlantılar.

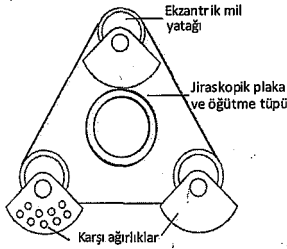
Besleme şekline göre silindir gövdeler arasında üç bağlantı bulunmaktadır (Andres, 2010) (Şekil18).

2.1.7 Santrifüj Değirmenler

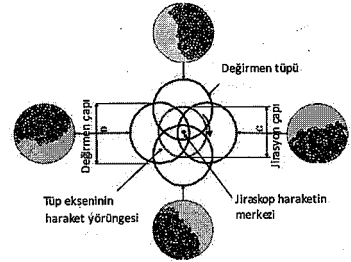
Santrifüj tüp değirmen sabit bir yatakta eksantrik krank şaftı ile oluşturulan jiraskopik hareketle bu eksen etrafında dönen bir mekanizmaya sahiptir. Bu hareketi yapabilmek için iki veya üç senkronize motor tarafından tahrik edilen eksantrik yataklardaki miller karşılıklı ağırlıklar ile desteklenmiştir. Değirmen gövdesi genellikle yatay silindiriktir. Bazen dikey konumda yarı konik de olabilir. Santrifüj tüp değirmen her tür sertlikteki malzemenin öğütülmesinde kullanılır. Normal olarak 1 mm'nin üzerindeki malzemeyi 0.1 μm 'nin altına öğütebilir. Yaş ya da kuru olarak çalışabilirler.

Ana uygulama alanları, laboratuvar, kimya, mineral, boya, seramik, ilaç endüstrisi, gıda ve artık yönetimidir. Öğütme prosesi sırasında, yarım ay formundaki öğütme ortamı (8 mm – 200 μm , çelik veya seramik) tüpün iç duvarlarına doğru tutunan kütle olarak hareket eder (Şekil 20). En önemli ekonomik nokta bu değirmende düşük astar maliyeti ile aşındırıcı malzemelerin öğütülmesidir. Diğer değirmenler ile karşılaştırıldıklarında, aynı incelik malzeme için bu değirmenin düşük enerjiye ihtiyaç göstermesidir.

Titreşimli değirmenler ile karşılaştırıldıklarında, eksantrik hareket düşük frekans ve büyük genlik ile karakterize edilir. Baskın öğütme mekanizması kayma gerilmesidir. Santrifüj değirmen yörüngesel (planet) değirmenin özel bir uygulaması olarak da kabul edilir fakat yörüngesel değirmende öğütme tüpü de kendi eksenini etrafında dönmektedir. Santrifüj değirmende tüpün kendi eksenini etrafında dönmesine gerek yoktur.



Şekil 19. Karşı ağırlıklı senkronize krank milleri ile dikey düzlemde jiraskopik olarak hareket eden üçgen levhaya monte edilmiş yatay öğütme tüpü



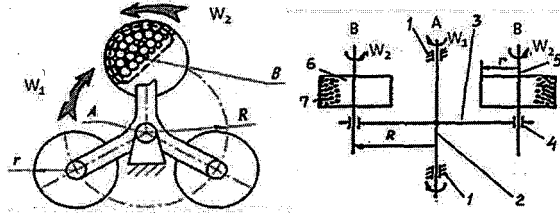
Şekil 20. Art arda aralıklarla çeyrek dögüde bir öğütme tüpündeki ortam hareketi

Değirmendeki yüksek hız yüksek çarpma kuvveti oluşturur. Farklı firmalar tarafından üretilen değirmenler; ZRM, Aachen santrifüj değirmen (cho, 2006; Stein, 2005; Bradley, 1983; www. Siebtechnik).

2.1.8 Yörüngesel (Planeter) Değirmenler

Santrifüj değirmenlere benzeyen yörüngesel değirmenler 1896 Yılından beri bilinmektedir. Yörüngesel değirmenin geometrisi Şekil 21'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, dönen merkezi tekerlek üzerine monte edilmiş sabit eksantrik hareketli olan D çaplı gövdeye (tek veya çok) sahiptir. Gövde kendi eksenini etrafında yatay veya

dikey olarak, bağlı olduğu jiraskopik hareket yapan tekerlek ile beraber zıt ya da aynı yönde dönmektedir. Bu hareket güneş sistemindeki gezegen hareketlerine benzediği için bu değirmenlere yörüngesel (planeter) değirmen denmektedir. Bu iki dönme hareketi değirmen içerisinde büyük bir santrifüj kuvvet oluşturur. Böylece değirmen içerisindeki ortam (otojense cevher), bilyalı değirmen de (katarakt veya kaskaden) ve santrifüj değirmende olduğu gibi hareket etmektedir. Bu nedenle, yörüngesel bir değirmende, klasik bilyalı değirmenlere göre daha kısa sürede çok ince boyutlu malzeme elde etmek mümkündür. Bu değirmenler karıştırılmalı değirmenlerin kullanıldığı her alanda kullanılabilir. Fakat öğütme maliyetleri daha fazladır ve mekanik aksamalarında daha sık problemlerle karşılaşmaktadır. Ortamlı ise doluluk oranı %50-60 civarındadır ve yaş veya kuru olarak çalışabilirler. Yörüngesel değirmen çeşitleri; Sezgo yörüngesel değirmen, Elektro hidrolik değirmen, (Lloyd, 1982; Prasher, 1987; Stein, 2005; Hacifazıloğlu, 2009; Kheifets,1994).

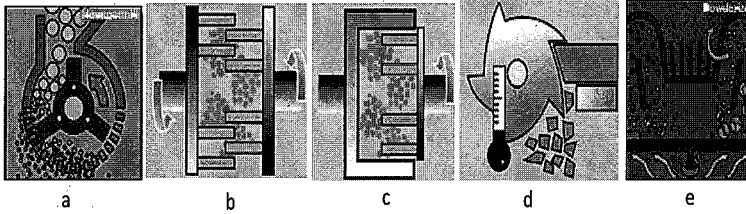


değirmen prensibine göre çalışır. Öğütme odası dikey doğrultuda asılmış armut (alt taraf yarıküresel üst taraf konik) şeklindedir. Üst piston ile konik kısmın çalkalanması, hızlı dairesel salınım hareketine neden olmaktadır. Bu nedenle ivmelenmiş alanda hızla devinmekte olan oda içeriği 40-50 kat gravite kazanır. Değirmenin üst kısmından besleyiciler ile beslenen malzeme öğütüldükten sonra oda üzerinde bulunan deliklerden değirmeni terk etmektedir. En önemli avantajı otojen olarak da kullanılabilmesidir. Kalsit, talk gibi yumuşak minerallerde de kullanılabilir. Çok ince öğütmede enerji verimliliği oldukça iyidir. Diğer değirmenlere göre %31 ile %70 arasında enerji tasarrufları vardır. Yaş veya kuru çalışabilirler ve 10 μm 'nin altına öğütme yapabilirler (Şekil 22) (Cleary, 2002; Wang, 2008; Hoyer 1999).

2.1.10 Mekanik Darbeli Değirmenler

Çok ince malzeme öğütme amacıyla kullanılan bir diğer değirmen türü de mekanik darbeli değirmenlerdir. Bu değirmenlerin genel özelliği çok yüksek devirlerde hızlara sahip olmalarıdır. Bu değirmenlere örnek olarak çekiçli değirmeler, universal ve pin değirmenler, havalı sınıflandırıcı ve turbo değirmenleri verebiliriz. Malzeme karakteristiklerinin öğütme ekipmanlarının seçimini önemli derecelerde etkilediği bilinmektedir. Sert ve kırılgan malzeme darbeli öğütme metoduyla çok kolay işleminden geçirilebilir. Lifli malzeme kesici değirmenlerle çok kolay öğütülebilir.

Hammaddeler yerçekimi etkisiyle sisteme beslenir. Ufalama kayma gerilmesi, kesme kuvveti ve çarpma ile olur. Burada parçalara hem dış çarpma kuvveti uygulanırken hem de hızlandırılan parça başka parçaya da çarpmaktadır. Bu değirmenlerin öğütme mekanizmaları nedeniyle öğütme elemanları ve astarlarda aşınma fazla olmaktadır. Bu nedenle çok sert malzemelerde kullanılmazlar (Şekil 23) (Lubas, 1999).



Şekil 23. Mekanik darbeli değirmenlerde öğütme şekilleri
(a- Çekiçli değirmen; b- Pinli değirmen; c- Universal değirmen; d- Kesici değirmen; e- Havalı sınıflandırıcı değirmenler).

3. SONUÇLAR

Ufalama cevher hazırlama, çimento, seramik, cam, kimya, inşaat, makine, ziraat, gıda, ilaç, sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Nüfus artışına ve teknolojik gelişmeye paralel olarak mineral kökenli malzeme tüketimi her geçen gün artmaktadır. Ufalama prosesi bu malzemelerin uygun kimyasal özellik kazanmaları için başlamakta (cevher zenginleştirme) olup her sektör için uygun tane boyutu ve boyut dağılımı, şekil kazanana kadar devam etmektedir. Bu ise ancak değirmenler ile sağlanmaktadır. Şimdiye kadar konvansiyonel değirmenler çok büyük kapasitelerde iri ve ince boyutlar

için başarılı bir şekilde kullanılmış fakat çok ince boyutlara öğütme gereksinimi nedeniyle yeni değirmen dizaynları ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda fazla enerji tüketimi ve aşınma nedeniyle de bu değirmenlerin yerini yavaş yavaş alternatif değirmenler almaya başlamış ve oldukça geniş yelpazeye yayılan değirmen çeşitliliği ortaya çıkmıştır.

Değirmenlerden maksimum verim veya performans ancak onların çalışma mekanizmalarını, yapılarını ve öğütme metotlarını iyi anlamakla olur.

- * Değirmenlerde genel olarak; ortamın değişik şekillerde (değirmen gövdesi veya karıştırarak) hareket ettirilmesi, direkt malzeme ile temas edilerek ve yüksek enerji ile malzemenin hareket ettirilmesi olmak üzere üç çeşit hareket vardır.
- * Konvansiyonel değirmenler, yüksek enerji tüketimleri ve aşınmalara rağmen önemini halen korumaktadır. Fakat yapı ve çalışma şekline bağlı olarak bunlarda santrifüj kuvvet kritik hızın üzerinde olumsuz etki oluştururken, diğerlerinde (santrifüj, yörüngesel, sarkaç vb. değirmenler) avantaja dönüşür. Yani hızları yüksek olabilmektedir.
- * Genellikle ortamlı değirmenlerde gövdeler değişik boyutlarda ve silindirikdir. Bazen konvansiyonel değirmenler hariç gövde sabit kalabilmektedir.
- * En büyük sorunlardan biri olan aşınmayı yok etmeye çalışan jet değirmenlerde ise yüksek enerji ve düşük kapasite sorunu ortaya çıkmıştır.

İşletmeler açısından ilk yatırım, işletme, enerji, tamir-bakım, işçilik vb. gibi tesis maliyetini düşürecek yeni teknolojilerin kullanımı; gerek işletmeciler gerekse ülkemiz mineral endüstrisi açısından önemli bir atılım olacaktır. Bu bağlamda, boyut küçültme işleminin sıkça uygulandığı endüstri dallarında uygun kırıcı ve öğütücülerin uygun şekilde seçilmesi ve kullanılması ile maliyetler aşağı çekilecek ve son yıllarda çok önem kazanan çevre kirlenmesinin (tozlanma, gürültü vb.) en aza indirilmesi sağlanmış olacaktır. Şunları da göz önünde tutmak gerekir;

- * Öğütme yardımcı maddeleri.
- * Araştırma konusu olan çok çeşitli değirmen tasarımları (Elektrik, Ultrasonik, Isıl şok vb.

KAYNAKLAR

- Andres, K. and Haude, F.,** 2010, Application of the Palla™ vibrating mill in ultra fine grinding circuits, The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Vol.110, p125-131.
- Aydoğan, N. A., Ergül, L.,** 2004, Yüksek basınçlı merdaneli değirmenler, Madencilik dergisi, cilt 43, sayı: 3.
- Celep, O., Alp, İ., Türk, T.,** 2008, İnce öğütme teknolojisinde karıştırmalı ortam değirmenleri ve cevher hazırlamadaki uygulamaları, İstanbul Yerbilimleri Dergisi, C. 21, S. 2, s61-73.

- Cleary, P. W. and Sawley, M. L., 2002,** DEM modelling of industrial granular flows: 3D case studies, and the effect of particle shape on hopper discharge, *Applied Mathematical modelling*, 26, 89–111.
- Demir, U., Şahbaz, O., Çınar, M., Karagüzel, C., Uçar, A. ve Öteyaka, B., 2007,** Endüstride kullanılan mikronize öğütme makineleri, 1. Maden Makineleri Sempozyumu, Kütahya-Türkiye, s201-211.
- Dikmen, S. ve Ergün, Ş.L., 2004,** Karıştırılmalı bilyalı değirmenler, *Madencilik Dergisi*, 43 (4), 3-15.
- Fuerstenau, D. W., Abouzeid, A. Z. M., 1999,** Effect of feed moisture on the performance of the high pressure roll mill, *Innovations in Mineral and Coal Processing, Proceedings of the 7th International mineral processing symposium, Turkey*, p3-8.
- Gupta, A. And Yan, D. S., 2006,** Perth, Introduction to mineral processing design and operation, Elsevier, p689.
- Hacıfazlıoğlu, H., 2009,** İnce ve Çok İnce Öğütme için Alternatif Değirmen Tiplerinin Tanıtılması, *AKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, (01), 17-30.
- Hoyer, D. I., 1999,** The discrete element method for fine grinding scale-up in Hicom mills, *Powder Technology*, 105, 250–256.
- Kemal, M., Çiçek, T. ve Zorlubaş, T., 1996,** İnce ve çok ince öğütme, 21. Yüzyıla Girenken Türkiye Madenciliği, Bilimsel ve Teknik Toplantı, MMO Yayını, s97-112.
- Kheifets, A. S., Lin, I.J., 1994,** Planetary mill energetic effectiveness, *Proceedings of the 5th International mineral processing symposium, Turkey*, sept. p19-24.
- Kwade, A., 1999,** Wet comminution in stirred media mills - research and its practical application, *Powder Technology*, 105, 14-20.
- Lane, G. L., 1999,** "CFD Modelling of a stirred bead mill for fine grinding", 2nd International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries, CSIRO, Melbourne, Australia, 6-8 December, 449-454.
- Lloyd, P. J. D., Bradley, A. A., Hinde, A. L., Stanton, K. H. and Schymura, G. K., 1982,** A full-scale centrifugal mill, *Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, p149-156.
- Lubas, P. M., 1999,** Advances in powder processing technologies for chemical, food and mineral applications, Hosokawa Micron Powder Systems, Powder & Particle Process Applications.

- Mineral Processing: Milling, 2009, This brief presents the factors to consider when choosing a grinding application and gives an overview of the equipment available, Otto Ruskulis for Practical Action, 16 pages.
- Prasher, C. L.**, 1987, Crushing and grinding process handbook, Consultant to Chemical and Mechanical Engineering Industry, Linora Technical Associates, John Wiley & Sons Limited, p474.
- Sikong, L., Kooptanond, K., Morasut, N. and Pongprasert, T.**, 2008, Fine grinding of brittle and materials by jet mill, Songklanakarin J. Sci. Technol., 30 (3), 377-384.
- Stein, J.**, 2005, Ultrafine Dry Grinding with Media Mills, Alpinehosokawa, PostScript Bild. Php ALogo Klein. eps. vol. 17, No. 6.
- Tomanec, R., Milovanovic, J.**, 1994, Mineral liberation prediction based on texture characterization, Proceedings of the 5th International mineral processing symposium, Turkey, p3-9.
- Toroman, O. Y. ve Katircioğlu, D.**, 2010, A study on the effect of process parameters in stirred ball mill, Advanced Powder Technology, article in pres.
- Yıldız, N.**, 1999, Öğütme, Kozan ofset matbaacılık, 219 s.
- Yıldırım, İ. ve Kaytaş, Y.**, 1996, Boyut küçültme teknolojisindeki gelişmeler, I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, s287-301.
- Yüce, A. E.**, 2007, "Boyut küçültme (kırma-öğütme) ve sınıflandırma teknolojisi, yenilikler ve proses maliyetine etkisi" Kırma taş, cevher ve kömür hazırlama tesisleri ve çimento fabrikalarında enerji tasarrufu, optimizasyon, maliyet düşürme ve agrega madenciliğine genel bir bakış eğitim semineri, Yurt madenciliğini Geliştirme Vakfı.
- Wang, Y. ve Forssberg, E.**, 2008, International overview and outlook on comminution technology, Lulea Tekniska Universitet, Avdelningen för Mineralteknik, p51, <http://pure.ltu>.
- Weller, K.R. ve Gao, M.**, 2008, Ultrafine grinding, <http://www.csrio.com>.
- www.taiheiyo-eng.co.jp/egl/img/pdf/ckp.pdf, Pre-grinding System (CKP mill), Taiheiyo Engineering Corporation.

MİNERAL ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN DEĞİRMENLERİN SINIFLANDIRILMASI

CLASSIFICATION OF MILLS IN MINERAL INDUSTRY

UÇAR, A., *Dumlupınar Üniversitesi, Müh. Fak., Kütahya*

ÖZET

Gelişen teknoloji ile beraber ince boyutlu malzemeye giderek artan ihtiyaç yanında enerji verimliliğini artırma ihtiyacı ve astar aşınmalarının minimuma düşürme isteği konvansiyonel değirmenler yanında yeni değirmen dizaynlarını doğurmuştur. Bu nedenle oldukça çok miktarda değirmen çeşidi ortaya çıkmıştır.

Değirmenler cevher zenginleştirme, inşaat, boya, gıda, seramik, çimento, tarım, ilaç gibi birçok sektörde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı; ufalanan malzemenin tane boyutuna, sertliğine ve enerji sarfına göre dizayn edilen ve oldukça geniş yelpazeye yayılan değirmenleri sınıflandırarak, seçimini kolaylaştırmaktır.

ABSTRACT

New designs for mills have been made in addition to conventional mill since the increasing demand for fine-sized materials together with low energy productivity and the requirement for minimum lining corrosions. Therefore, many kinds of mills have been developed.

Mills have been used in many industries such as mineral processing, construction, pigments, food, ceramics, cement, agriculture, pharmaceutical, etc. The goal of this study is to classify and aid in selecting the mills designed by particle size, hardness and consumption of power.

1. GİRİŞ

Mineral kökenli malzemelerin hemen hemen kullanılmadığı alan yoktur. Bu nedenle ülkelerin gelişmişlik düzeyini belirleyen en önemli etkenlerden birisi de kişi başına düşen mineral veya metal tüketim oranlarıdır. Tüketimde üretime bağlı olduğuna göre, kullanıma uygun malzeme üretiminin en önemli basamaklarından biriside öğütmedir (boyut küçültmedir). Ayrıca özellikle konvansiyonel değirmenlerin cevher hazırlama sektöründe oldukça geniş bir kullanıma sahip olduğu da bilinmektedir. Fakat bu değirmenlerin yerini, özellikle çok ince öğütmede farklı dizaynlara sahip değirmenler almaya başlamıştır.

Öğütmede, beslenen malzemenin parça boyutu ve boyut dağılımı, malzeme özellikleri (sertlik, gevreklik, aşındırıcılık, yapışkanlık, yapı, nem içeriği, kimyasal değişmezlik, homojenlik vb.) ile elde edilen ürünün boyutu ve boyut dağılımının bilinmesi önemlidir. Yani malzemeye ve istenilen boyut dağılımına göre değirmen seçebilmek için malzeme özellikleri yanda değirmenlerinde iyi bilinmesi gerekir. Bu da ancak sınıflandırma ile sağlanabilir.

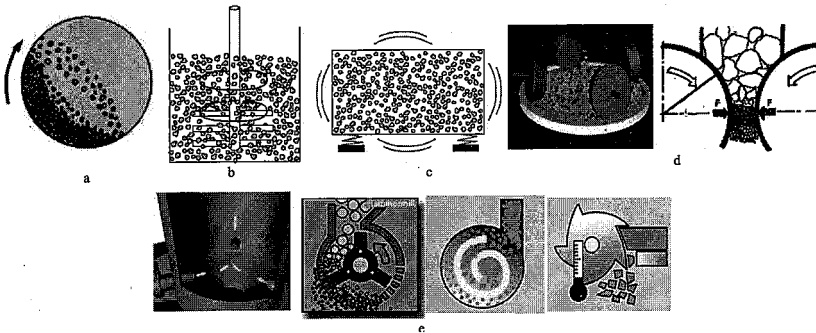
Şimdiye kadar endüstrilerde kullanılan değirmenler hakkında çalışmalar bulunmasına rağmen, bu değirmenlerin sistematik sınıflandırmaları yapılmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada çeşitli endüstrilerde kullanılan değirmenlerin farklı özelliklere göre sınıflandırmaları yapılmıştır.

2. DEĞİRMENLERİN SINIFLANDIRILMASI

Değirmenler, öğütme devrelerinde, değirmen yapısı ve çalışma şekli, öğütülecek cevher, öğütme sonrası istenilen ürünün boyutu ve boyut dağılımı gibi faktörlere bağlı olarak aşağıdaki şekillerde sınıflandırılabilirler.

2. 1 Değirmen Yapısı, Çalışma Şekli ve Öğütme Metoduna Göre Sınıflandırma

Değirmenler Şekil 1'de görülen öğütme metotlarına göre değişik şekil ve yapılarda dizayn edilmektedir. Bu faktörler ve çalışma şekilleri göz önüne alınarak değirmenleri aşağıdaki şekilde sınıflandırabiliriz.

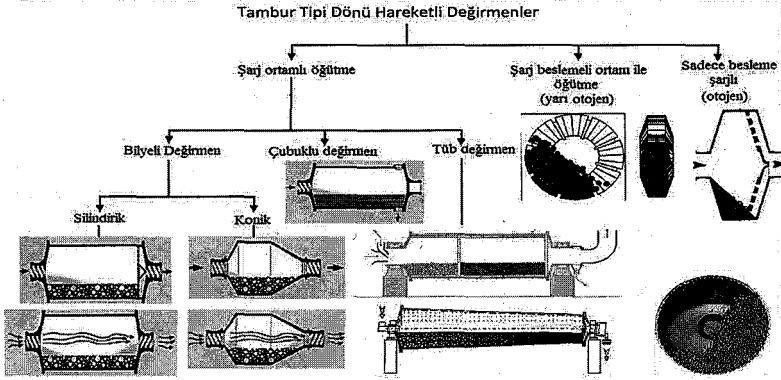


Şekil 1. Öğütme metotları.

2.1.1 Tambur Tipi Döner Gövdeli Değirmenler

Bu tip değirmenler ortam kullanılıp kullanılmamasına göre ve ortam kullanılanlarda ortama (çubuk, Bilya, çakıl vb.) göre sınıflandırılırlar. Ortam kullanmayan değirmenler ise otojen değirmenlerdir.

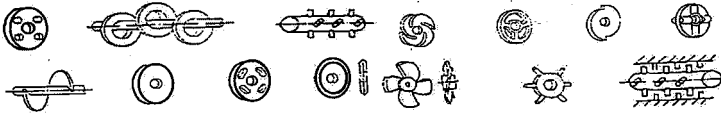
Bu tip değirmenlerin sınıflandırılması Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Tambur tipi değirmenlerin sınıflandırılması.

2.1.2 Karıştırıcı Değirmenler

Karıştırıcı bilyalı değirmenlerin yatay ve dikey gövdeli olmak üzere şaftına bağlı karıştırıcı geometrisine (Şekil 3) bağlı olarak disk, pin, halka, spiral vb. karıştırıcı değirmen tasarımları bulunmaktadır. Dikey olanların karıştırma hızları yavaş (spiralli) ve orta (pinli) olabilirken yatay gövdeliler daha hızlıdır.



Şekil 3. Karıştırıcı değirmenler için çeşitli karıştırıcı dizaynları (Weller, 2008).

1. Dikey Karıştırıcı Değirmenler

- a- Spiral (Helezon) karıştırıcı,
- b- Pin karıştırıcı,
- c- Halkalı karıştırıcı).

2. Yatay Karıştırıcı Değirmenler

- a) Disk karıştırıcı
- b) Karşılıklı pin karıştırıcı
- c) Halkalı karıştırıcı

Ticari olarak değişik firmalar tarafından tasarlanmış çok sayıda karıştırılmalı değirmen bulunmaktadır. Bunlardan bazıları (Dikmen, 2004; Kwade, 1999; Lane, 1999, Celep, 2008, Weller, 2008).

Tower Mill, Vertimill, Sala Agitated Mill (SAM), Svedala Detritor, Isa Mill, ANI-Metprotech, Stirred Vertical Mill, Alpine ATR Mill, Maxx Mill, KD Tower Mill, Drais Stirred Mill, Pitt Mill, USBM Mill.

2.1.3 Valsli Değirmenler

Valsli değirmenler, dikey ve yatay olmak üzere başlıca iki tipte tasarlanmıştır.

1. Dikey Valsli Değirmenler

Dikey veya dik değirmenler, öğütme zonu özellikleri ve öğütme elemanlarının durumlarına göre farklılıklar gösterirler. Öğütme tablası haznesinin ve valslerin geometrik şekilleri, sayıları ve birbirine göre yerleşimleri ve öğütme yatağı üzerine bastırılma şekilleri farklıdır. Buna göre bu değirmenleri dört ana guruba ayırmak mümkündür.

- a) Düz tablalı valsli değirmenler (Loesche, Raymond, Fuller, Ube)
- b) Oluk hazneli valsli değirmenler (Pfeiffer-MPS, Polysius, FLS-Atox)
- c) oluk hazneli toplu değirmenler (Claudius Peters, Babcock-E)
- d) Sarkaç değirmenler, tesislerde en çok kullanılan valsli değirmenlerdir (Kemal, 1996; Yıldız, 1999; Demir, 2007; Hacıfazıloğlu, 2009; Wang, 2008).

Bunlara ek olarak, mevcut değirmenlerin etkinliğini artırmak için ön öğütücü olarak kullanılmak üzere geliştirilmiş sınıflandırıcısı olmayan CKP değirmenleri de bulunmaktadır (www.taiheiyo-eng.co.jp/egl/img/pdf/ckp.pdf).

2. Yatay Valsli Değirmenler

2.1.4 Yüksek Basıncılı Merdaneli Değirmenler (Presler)

2.1.5 Jet (Akışkan Enerjili) Değirmenler

Jet değirmenler spiral, hedefli ve zıt (karşıt) jet değirmenler olarak sınıflandırılırlar.

- a) spiral jet değirmen
- b) hedefli (impak) jet değirmen
- c) zıt jet değirmen (Sikong, 2008).

Değişik firmalar tarafından üretilen jet değirmenler; Jet-O Mizer, Alpine Jet değirmen, CGS (Netzch-Condux), Mikro-Jet, Roto-Jet, AFG (Kemal, 1996; Yıldız, 1999).

2.1.6 Titreşimli Değirmenler

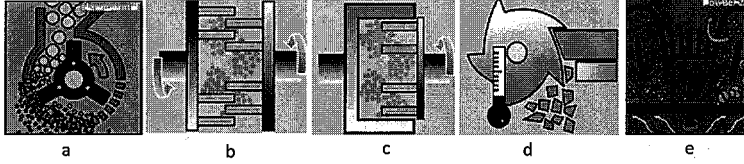
2.1.7 Santrifüj Değirmenler

2.1.8 Yörüngesel (Planeter) Değirmenler

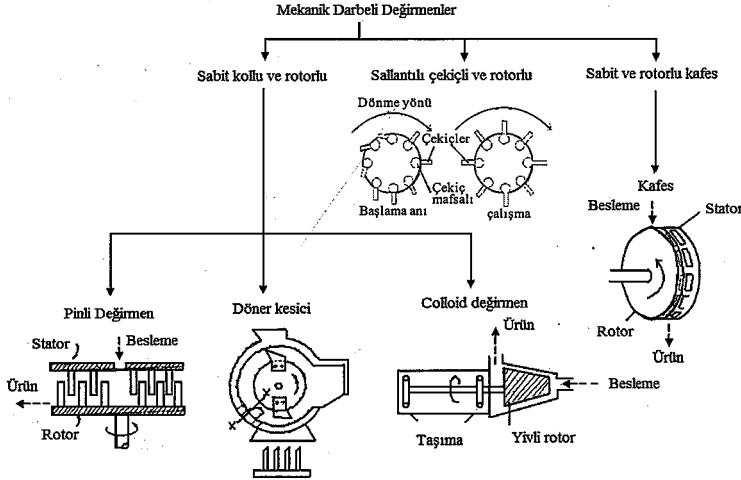
2.1.9 Sarkaç Değirmenler

2.1.10 Mekanik Darbeli Değirmenler

Bu değirmenler Şekil 4'e göre Şekil 5'de görüldüğü gibi sınıflandırılırlar (Lubas, 1999).



Şekil 4. Mekanik darbeli değirmenlerde öğütme şekilleri (a- Çekiçli değirmen; b- Pinli değirmen; c- Ünlversal değirmen; d- Kesici değirmen; e- Havalı sınıflandırıcılı değirmenler).



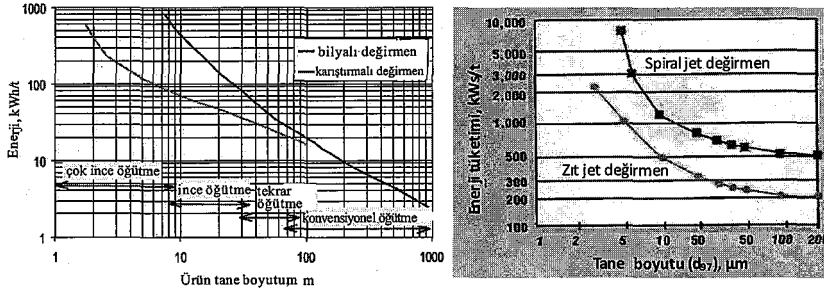
Şekil 5. Mekanik darbeli değirmenlerin sınıflandırılması.

2.2 Öğütme boyutuna göre sınıflandırma

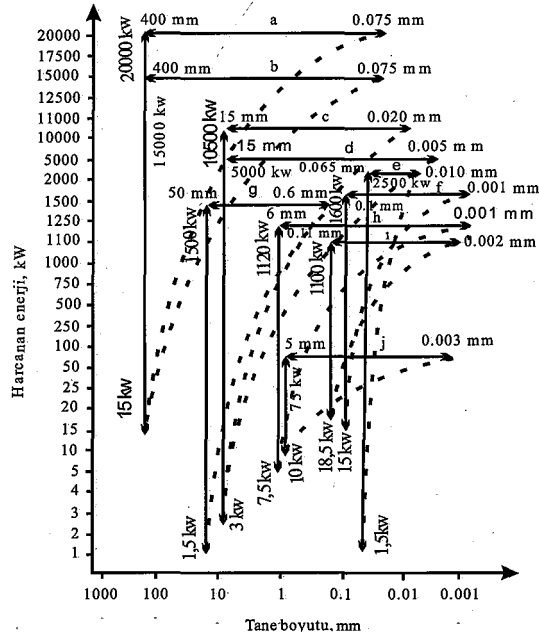
Öğütme tane boyutu kavramı bir endüstriden diğerine değişmektedir. Örneğin boya endüstrisinde $1 \mu\text{m}$ 'nin altında boyuta sahip malzeme istenirken cevher zenginleştirme endüstrisinde özellikle fiziksel zenginleştirmede ve flotasyonda bu tane boyutu sorun oluşturmaktadır. Fakat kimyasal zenginleştirmede ise avantaja dönüşebilir.

Diğer endüstrilerden ayrı olarak cevher hazırlamada, öğütme ürünü temelinde dört öğütme safhası tanımlanabilir. Geleneksel olarak %80'ninin $75 \mu\text{m}$ 'nin altına geçecek şekilde öğütme, birçok işlemden kullanıldığı için konvansiyonel olarak tanımlanır. Tekrar öğütme, $75 \mu\text{m}$ 'den $30 \mu\text{m}$ 'ye kadar öğütme olarak düşünülür. İnce öğütme 30

μm 'nin altına yaklaşık 10 μm civarında öğütme olarak düşünülür. 10 μm 'nin altı ise çok ince öğütme olarak adlandırılmaktadır (Şekil 6) (Jankovic, 2003). Son yıllarda yüksek tenörlü baz ve değerli metal yataklarının tükenmesi sonucu serbestleşme tane boyutu çok ince olan düşük tenörlü cevher yatakları, tesis artıkları önem kazanmaya başlamıştır. Bu durumlarda ve liç işlemlerinde çok ince öğütmeye (-10 μm) ihtiyaç vardır (Weller, 2008; Dikmen, 2004).

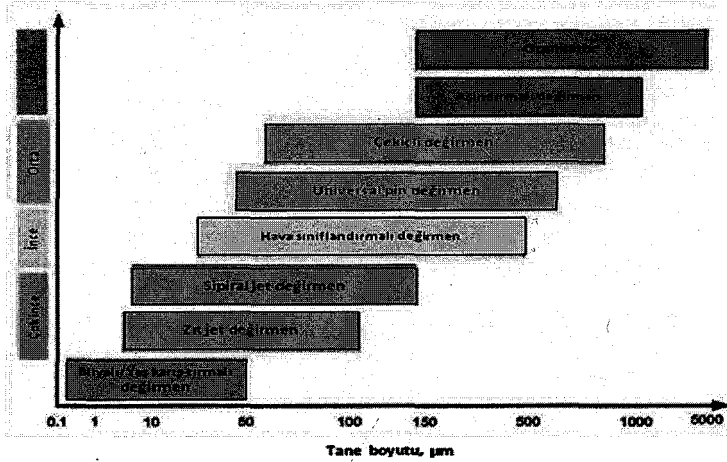


Şekil 6. Öğütme tane boyutuna göre bilyalı tambur, bilyalı karıştırılmalı ve jet değirmenlerin enerji tüketimleri.



Şekil 7. Değirmenlerde öğütme boyutuna göre harcanan enerji (a- Yarı otojen değirmen, b- Otojen değirmen, c- Bilyalı değirmen, d) Yüksek basınçlı merdaneli değirmen, e- Valsli değirmen, f) Jet değirmen, g- Çubuklu değirmen, h- Kule değirmen, ı- karıştırılmalı diğer değirmenler, j- Titreşimli değirmenler).

Öğütmede istenilen tane boyutunun elde edilmesi önemlidir. Öğütme tane boyutu ile enerji tüketimi arasında bir bağıntı olduğu da bilinmektedir (şekil 6 ve 7). Enerji tüketimi tane boyutunun incelmeye bağlı olarak öğütmeye karşı direncin artması nedeniyle ekspansiyonel olarak artmaktadır. Şekil 6'den görüldüğü gibi konvansiyonel değirmenlerden biri olan bilyalı değirmenlerin kullanımı ancak 30 μm ye kadar ekonomik olmaktadır (Jankovic 2003, Cleary, 2006). Bu nedenle de daha ince boyutlarda daha ekonomik olarak malzeme üretimi için birçok değirmen dizaynları ortaya çıkmıştır (Şekil 8) (www.hmicropovder.com).



Şekil 8. Öğütme tane boyutuna bağlı olarak bazı değirmen çeşitleri

Şekil 7 ve 8'a dayanarak tane boyutuna göre öğütme yapan değirmenleri aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz.

2.2.1 İri ve İnce Öğütme Yapanlar

- I. Tambur Tipi Döner Gövdeli Değirmenler
- II. Mekanik Darbeli Değirmenler
- III. Yüksek Basıncılı Merdaneli Değirmenler (Presler)
- IV. Valsli Değirmenler

2.2.2 İnce Ve Çok İnce Öğütme Yapan Değirmen Tipleri

- I. Bilyalı Değirmenler
- II. Karıştırmalı Ortamlı Değirmenler
- III. Valsli Değirmenler
- IV. Yüksek Basıncılı Merdaneli Değirmenler (Presler)
- V. Akışkan Enerjili (Jet) Değirmenler
- VI. Titreşimli Değirmenler
- VII. Santrifüj Değirmenler
- VIII. Yörüngesel Değirmenler
- IX. Sarkaç Değirmenler

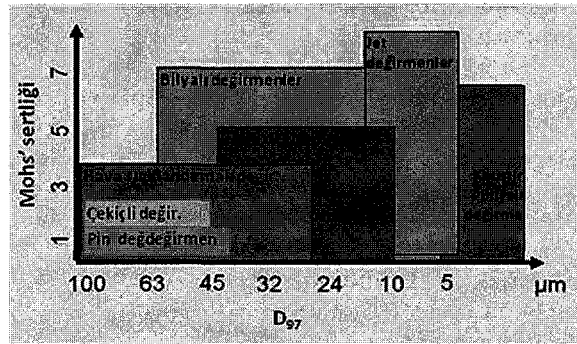
2.3 Malzeme Sertliğine Göre Sınıflandırma

Değirmen seçimini etkileyen önemli parametrelerden biride malzeme karakteristiklerinden biri olan sertliktir. Malzemenin sert, aşındırıcı, kırılğan, elastik, lifli vb. özelliklere sahip olması değirmen seçimini etkiler. Burada en büyük sorun olarak öğütülen malzeme sertliğinin artmasıyla değirmende temas eden öğütme elemanlarının (astar, ortam vb.) aşınmasının artması olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna bağlı olarak aşınmada değirmen seçimini belirler. Bunun yanında aşınmadan kaynaklanan malzeme kirlenmesi de değirmen seçimini etkileyen faktörlerdendir. Örneğin, çelik bilya ve çelik astarlı değirmen yerine çakıl, seramik bilya ve kauçuk, seramik veya sileks astarlı değirmen ya da otojen öğütmeli (jet değirmen gibi) değirmen kullanılması gibi.

Buna göre malzemeler Mohs sertlik skalasına bağlı olarak Çizelge 1'deki gibi sınıflandırılırlar. Ayrıca malzemelerin sert veya yumuşak olması, kolay veya zor öğütülebilecekleri anlamına gelmemektedir. Öğütülebilirlik, malzemenin kristal yapısı, bu yapının içindeki kristal ve fiziksel yapı bozuklukları ile ilgilidir (Yıldız,1999). Şekil 10'da bazı değirmenlerin malzeme sertliğine göre sınıflandırılması verilmiştir.

Çizelge 1. Mohs skalasına bağlı olarak malzemelerin sertlik dereceleri

Sertlik derecesi	Mohs skalası	Mineral örneği
	1	Talk
Yumuşak	2	Jips
	3	Kalsit
	4	Florit
Orta sert	5	Apatit
	6	Feldspat
	7	Kuvars
Sert	8	Topaz
	9	Korund
	10	Elmas



Şekil 9. Mohs sertlik skalasına ve tane boyutuna bağlı olarak değirmen seçimi

Şekil 9 (www.hmicropovder.com) ve Çizelge 1 göz önüne alınarak değirmenleri malzeme sertliğine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırabiliriz

2.3.1 Yumuşak Malzemelere Göre

- I. Tambur Tipi Döner Gövdeli Değirmenler
- II. Karıştırmalı Ortamlı Değirmenler
- III. Valsli Değirmenler
- IV. Yüksek Basıncılı Merdaneli Değirmenler (Presler)
- V. Akışkan Enerjili (Jet) Değirmenler
- VI. Titreşimli Değirmenler
- VII. Santrifüj Değirmenler
- VIII. Yörüngesel Değirmenler
- IX. Sarkaç Değirmenler
- X. Mekanik Darbeli Değirmenler

2.3.2 Sert Malzemelere Göre

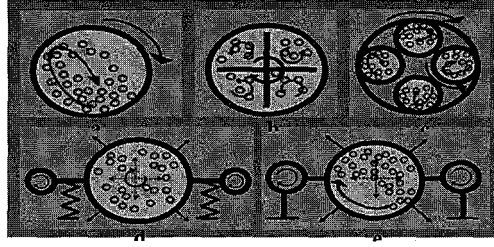
- I. Aktarılan Ortam Değirmenleri
- II. Karıştırmalı Ortamlı Değirmenler
- III. Akışkan Enerjili Değirmenler
- IV. Titreşimli Değirmenler
- V. Santrifüj Değirmenler
- VI. Yörüngesel Değirmenler
- VII. Sarkaç Değirmenler

2.4 Ortam Kullanımına Göre Sınıflandırma

Ortama göre değirmenler, ortam kullananlar ve kullanmayanlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu değirmenlerin sınıflandırılması aşağıda verilmiştir.

2.4.1 Ortamlı Değirmenler

Ortam olarak bilya ve çubuk kullanan konvansiyonel bilyalı ve çubuklu değirmenler uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Bu değirmenler %50'nin altında doluluk oranına sahip olup, düşük hızlarla yatay eksen etrafında dönen tambur tipi değirmenlerdir. Bu nedenlerle de enerji verimsiz değirmenlerdir ve kullanılan enerjinin ancak %1'i öğütme işi için harcadığı için ekonomikliği tartışma konusu olmaktadır. Ayrıca 10-20 mm'den daha ince boyutlu bilya kullanılamadığı için 20 µm'den daha ince öğütme gerçekleştirilememektedir (Dikmen, 2004). Şekil 10'dan görüldüğü gibi diğer değirmenler ise değişik şekillerde olup ortam doluluk oranı %85'lere kadar çıkmaktadır (Celep, 2008), bilya hareketi değişik şekillerde ve hızlı olarak gerçekleştirilip Şekil 10'da görülen mekanizmalarla öğünme gerçekleşmektedir. Bu nedenlerle de bu değirmenlerin enerji verimliliği büyük olup ekonomiklik tamburlu aktarılan ortamlı değirmene göre %50'leri bile aşabilmektedir. Ayrıca ortam boyutu da oldukça düşük olabildiği (10 mm – 50 µm) için çok düşük boyutlara kadar öğütme yapabilmektedirler.



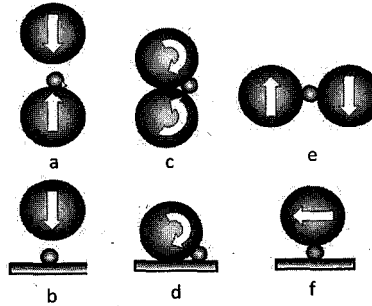
Şekil 10. Bilya ortamlı değirmenlerde bilya hareketleri (a- Tamburlu bilyalı değirmen, b- Karıştırıcı bilyalı değirmen, c- Yörüngesel değirmen, d- Titreşimli değirmen, e- Santrifüj değirmen) (Stein, 2005).

Öğütme ortamı farklı şekil (küre, çubuk, değişik taneler, vb.) ve boyutlarda (Çizelge 2) olup oldukça farklı malzemelerden (Çakmaktaşı, steatit, seramik, alüminyum oksit, zirkon oksit ve silikat, silikon karpit ve nitrat, plastik ve çelik) yapılmaktadırlar. Boyutu 10 mm'den büyük olan ortamlar gravite ile çalışan değirmenlerde kullanılırken daha küçük boyutlu ortam yüksek hızlar istediğinden sadece karıştırıcı ve yüksek hızlı değirmenlerde kullanılırlar.

Çizelge 2. Ortamlı değirmenlerde kullanılan ortamlar ve boyutları.

Değirmen	Ortam	Ortam boyutu, mm
Yaş karıştırıcı bilyalı değirmen	bilya	0.05-3
Kuru karıştırıcı bilyalı değirmen	bilya	1-10
Santrifüj değirmen	bilya	1-10
Titreşimli değirmen	bilya, çubuk, silindir	5-20
Yörüngesel değirmen	bilya, silindir	2-20
Tamburlu bilyalı değirmen	Bilya, silindir, çubuk	10-100

Ortamlı değirmenlerde parça gerilimleri, öğütme ortamının kendi arasında ve değirmen astarına karşı çarpma, basınç ve makaslama kuvvetlerinin etkisi ile oluşur (Şekil 11). Değirmen tipine bağlı olarak bu gerilim kuvvetlerinden biri öğütme mekanizmasında baskın olabilir (Stein, 2005).



Şekil 11. Bilya ortamlı değirmenlerde öğütme mekanizmaları (a- Bilya-bilya çarpma, b- Bilya-duvar çarpma, c- Bilya-bilya basınç, d- Bilya-duvar basınç, e- Bilya-bilya kesme (makaslama), f- Bilya-duvar kesme) (Stein, 2005; Andres, 2010).

Tanelerin ufalanma olasılığı istatistiksel olarak çarpışma frekansının daha büyük olmasıyla artar. Birim hacimdeki çarpışma sayısı ortamın büyüklüğünün azalmasıyla, öğütme ortamının artmasıyla, hızlı bir şekilde artar. Bu özellikler karıştırmalı ve titreşimli değirmenlerde en üst seviyededir. Bilyalı değirmenlerde darbelerin frekansı, değirmenin limit hızı, bilyaların şekli ayrıca değirmenin belirli bir oranda doldurulması nedeniyle sınırlıdır.

Sonuç olarak ortamın kütlesi ve büyüklüğü, katı konsantrasyonunun yani litre ağırlığının kontrolü ve öğütmenin en az kirlenme ile en üst seviyeye çıkması açısından önemlidir. Titreşimli ve karıştırmalı değirmenler, bilyalı tambur değirmenlere göre daha ince taneli ve dar tane boyut dağılımlı öğütmeyi daha kısa zamanda sağlar. Bilyalı değirmenler ise daha fazla kapasiteli, daha geniş tane boyut dağılımlı ve aglomerelerin olmadığı öğütmeler için kullanılır (Reed, 1995).

Şekil 10 ve Çizelge'ye göre ortamlı değirmenlerin sınıflandırılması aşağıda verilmiştir.

- I. Tambur Tipi Döner Gövdeli Değirmenler
- II. Karıştırmalı Ortamlı Değirmenler
- III. Titreşimli Değirmenler
- IV. Santrifüj Değirmenler
- V. Yörüngesel Değirmenler
- VI. Sarkaç Değirmenler

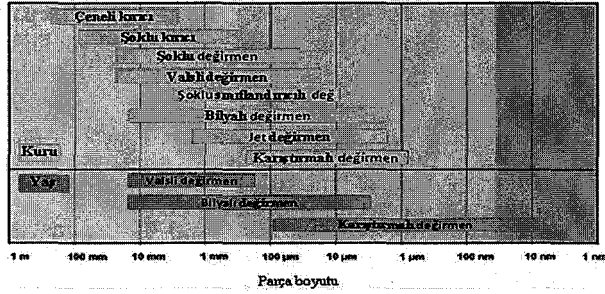
2.4.2 Ortamlı Olmayan Değirmenler

Bu tip değirmenlerde herhangi bir ortam kullanılmamaktadır. Bazı değirmenlerde (yüksek basınçlı merdaneli değirmenler, valsli değirmenler gibi) kuvvet değirmenin öğütme elemanı tarafından malzemeye direkt iletilmekte, bazılarında (çekikli değirmenler gibi) malzeme ile hızla dönen öğütme elemanı çarpıştırılmakta ve bazılarında da (otojen değirmenler, akışkan enerjili değirmenler) ya dönen tambur içinde malzemenin kendi kendine ya da yüksek basınç altında birbirlerine çarpıtılarak öğütme gerçekleştirilmektedir. Buna göre bu tip değirmenleri şöyle sınıflandırabiliriz.

- I. Otojen Değirmenler
- II. Valsli Değirmenler
- III. Yüksek Basınçlı Merdaneli Değirmenler (Presler)
- IV. Akışkan Enerjili (Jet) Değirmenler
- V. Mekanik Darbeli Değirmenler

2.5 Yaş ve Kuru Çalışma Şekline Göre Sınıflandırma

Yaş veya kuru öğütme genellikle malzemenin işlem göreceği yere göre değişir. Genellikle endüstriyel kullanım için kuru malzeme istenir. Bunun için malzemenin kuru öğütülmesinde yarar vardır. Fakat bazı durumlarda özellikle yaş zenginleştirme (flotasyon, liç gibi) amaçlı ufalamada öğütme yaş yapılmaktadır. Yaş öğütme kuru öğütmeye nazaran daha avantajlı olsa da günümüzde kullanım için bazı zorunluluklardan dolayı ve kuru separatörlerdeki gelişmeye paralel olarak kurutma maliyeti zorluklarından dolayı, kuru öğütme de oldukça yaygınlaşmıştır.



Şekil 12. Kuru veya yaş öğütme yapan değirmenler (www.hmicropovder.com).

Şekil 12'de görüldüğü gibi sadece kuru öğütme yapan değirmen bulunmasına karşın sadece yaş öğütme yapan değirmen bulunmamaktadır. Yani değirmenlerin hemen hemen hepsi kuru öğütme yapımlarına karşın dizaynlarına bağlı olarak bunların içinden daha az değirmen yaş öğütme yapabilmektedir. Ayrıca şekilde yaş öğütmede daha ince tane boyutlarında malzeme elde edildiği de görülmektedir.

Çimento, bentonit, kömür, fosfat ve bazı mineral konsantreleri ile kuru kullanılması gereken ve üretildiğinde yüksek nem içermeyen mineraller kuru olarak öğütülebilir. Kuru öğütme için, öğütülecek malzemenin öğütme öncesi veya öğütme süresinde sıcak hava ile nem oranının düşürülmesi gerekir. Öğütülmüş malzeme, fan veya basınçlı hava ile çalışan pnömatik pompalarla taşınır. Kuru öğütmede malzemenin değirmen içindeki hareketini sağlamak için değirmenin çıkış tarafına vakum, ya da giriş tarafına basınçlı hava uygulanır. Bazen vakum ve basınçlı hava birlikte de kullanılabilir.

Uygulanacak vakum veya basınç, malzemenin değirmen içinde yığılmasını önlemeli, malzemenin değirmen içinde öğütülebilmesi için yeterli süre kalmasını sağlamalıdır. Kuru öğütmede, bilyalı değirmen içindeki hava akımı öğütme esnasında ısınan değirmenin gövdesini de soğutmaktadır. Bazen de değirmen gövdesi için ayrı bir soğutma sistemi kullanılmaktadır. Genellikle kuru öğütmede değirmen durdurulduktan sonra, sıcak gövdenin hasar görmemesi için değirmen gövdesi soğuyuncaya kadar düşük devirde döndürülmelidir (Reed, 1995). Şekil 12'ye göre bu değirmenlerin sınıflandırılması;

2.5.1 Kuru Öğütme Yapan Değirmenler

- I. Tambur Tipi Döner Gövdeli Değirmenler
- II. Karıştırma Bilyalı Değirmenler
- III. Valsli Değirmenler
- IV. Yüksek Basınçlı Merdaneli Değirmenler (Presler)
- V. Akışkan Enerjili (Jet) Değirmenler
- VI. Titreşimli Değirmenler
- VII. Santrifüj Değirmenler
- VIII. Yörüngesel Değirmenler
- IX. Sarkaç Değirmenler
- X. Mekanik Darbeli Değirmenler

2.5.2 Yaş Öğütme Yapan Değirmenler

- I. Aktarılan Ortamlı Değirmenler
- II. Karıştırmalı Ortamlı Değirmenler
- III. Titreşimli Değirmenler
- IV. Santrifüj Değirmenler
- V. Yörüngesel Değirmenler
- VI. Sarkaç Değirmenler

3. SONUÇLAR

Öğütülen malzemeye ve giriş- çıkış tane boyutuna ve dağılımına göre değirmen seçimi oldukça önem kazanmaktadır. Bunu en iyi bir şekilde başarmanın yolu da değirmenlerin sistematik olarak sınıflandırılmasında yatmaktadır.

Değirmenlerin gelişmesinde ve çok ince boyutlarda öğütme yapabilmelerinde, bu tane boyutlarında yaş veya kuru ayırım yapabilen separatörlerin de (sınıflandırıcılar) büyük önemi vardır. Değirmen seçimi yanında separatör seçimi de önemlidir. Yani sistemden İsteddiğimiz ürünü en az maliyetle elde edebilmemiz gerekir.

Bu nedenle de değirmenler ilk önce çalışma mekanizmalarına, yapılarına ve öğütme metoduna göre sınıflandırmıştır. Daha sonra ise tane boyutu, sertliği, ortam kullanımı ve öğütmenin yaş veya kuru yapılmasına göre sınıflandırma yapılmıştır. Buna göre;

- * Tane boyutunun incilmesiyle sorunlarda artmakta ve değirmen sayısı sınırlanmaktadır. Fakat hem kuru hem de ince her boyutta ve yüksek kapasitelerde dahi öğütme yapabilmeleri karıştırmalı ortam değirmenlerinin özellikle cevher hazırlama sektöründe önemini giderek artırmaktadır.
- * Bütün değirmenler kuru öğütme yapabilmelerine rağmen yaş öğütme yapabilen değirmen sayısı azdır.
- * Malzeme sertliği de değirmen kullanımı sınırlamaktadır. Sert malzemeler için geliştirilen değirmenlerde kapasite düşüktür (Jet değirmenler, Titreşimli değirmenler, Santrifüj değirmenler vb.).
- * Enerjinin direkt olarak öğütme elemanı tarafından malzemeye aktarıldığı değirmenlerde (YBMD, Valsli değirmenler, Mekanik darbeli değirmenler) enerji verimliliği daha fazladır. Bunlar daha çok ön öğütücü olarak önem kazanmaktadır.
- * Öğütmenin rastgele olduğu ortamlı değirmenlerde, ortam boyutu azaldıkça, doluluk oranı arttıkça ve hareket kabiliyetleri arttıkça öğütme verimi ve inceliği artmaktadır. Fakat bu defa da mekanik sorunlar ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- Andres, K. and Haude, F., 2010, Application of the Palla™ vibrating mill in ultra fine grinding circuits, The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Vol.110, p125-131.
- Bradley, A. A., Lloyd, P. J. D. and Stanton, K. H., The balancing of a centrifugal mill, Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, p229-236.

- Celep, O., Alp, İ., Türk, T.,** 2008, İnce öğütme teknolojisinde karıştırmalı ortam değirmenleri ve cevher hazırlamadaki uygulamaları, İstanbul Yerbilimleri Dergisi, C. 21, S. 2, SS. 61-73.
- Cho, H., Lee, H. And Lee, Y.,** 2006, Some breakage characteristics of ultra-fine wet grinding with a centrifugal mill, Int. J. Miner. Process., 78, 250-261.
- Cleary, P. W., Sinnott, M. and Morrison, R.,** 2006, Analysis of stirred mill performance using DEM simulation: Part 2 – Coherent flow structures, liner stress and wear, mixing and transport, Minerals Engineering, 19, 1551–1572.
- Demir, U., Şahbaz, O., Çınar, M., Karagüzel, C., Uçar, A. ve Öteyaka, B.,** 2007, Endüstride kullanılan mikronize öğütme makineleri, 1. Maden Makineleri Sempozyumu, Kütahya-Türkiye, s201-211.
- Dikmen, S. ve Ergün, Ş.L.,** 2004, Karıştırmalı bilyalı değirmenler, Madencilik Dergisi, 43 (4), 3-15.
- Hacıfazlıoğlu, H.,** 2009, İnce ve Çok İnce Öğütme için Alternatif Değirmen Tiplerinin Tanıtılması, AKÜ Fen Bilimleri Dergisi, (01), 17-30.
- Jankovic, A.,** 2003, Variables affecting the fine grinding of minerals using stirred mills, Minerals Engineering, 16, 337-345.
- Kemal, M., Çiçek, T. ve Zorlubaş, T.,** 1996, İnce ve çok ince öğütme, 21. Yüzyıla Girerken Türkiye Madenciliği, bilimsel ve teknik toplantı, MMO Yayını, s97-112.
- Kwade, A.,** 1999, Wet comminution in stirred media mills - research and its practical application, Powder Technology, 105, 14-20.
- Lane, G. L.,** 1999, CFD Modelling of a stirred bead mill for fine grinding, 2th International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries, CSIRO, Melbourne, Australia, 6-8 December, 449-454.
- Lubas, P. M.,** 1999, Advances in powder processing technologies for chemical, food and mineral applications, Hosokawa Micron Powder Systems, Powder & Particle Process Applications.
- Reed, J. S.,** 1995, Principles of Ceramic Processing, 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc.
- Stein, J.,** 2005, Ultrafine Dry Grinding with Media Mills, Alpinehosokawa, PostScript Bild. Php ALogo Klein. eps. Vol. 17, No. 6.
- Yıldız, N.,** 1999, Öğütme, Kozan ofset matbaacılık, 219 s.
- Wang, Y. ve Forssberg, E.,** 2008, International overview and outlook on comminution technology, Lulea Tekniska Universitet, Avdelningen för Mineralteknik, p51, <http://pure.ltu>.

Weller, K.R. ve Gao, M., 2008, Ultrafine grinding, <http://www.csrio.com>.

www.taiheiyo-eng.co.jp/egl/img/pdf/ckp.pdf, Pre-grinding System (CKP mill), Taiheiyo Engineering Corporation.

www.siebtechnik.com/uploads/media/Centrifugal_tube_mill_01.pdf

www.hmicronpowder.com.

OLTU TAŞI ÜRETİMİ VE İŞLENMESİNDE KULLANILAN EKİPMANLAR

EQUIPMENTS USED FOR PRODUCTION AND PROCESSING OF OLTU STONE

Öykü BİLGİN, *Atatürk Üniversitesi, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Oltu- Erzurum*
Ekrem KALKAN, *Atatürk Üniversitesi, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Oltu- Erzurum*
M.Kürşat DİLMAÇ, *Atatürk Üniversitesi, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Oltu- Erzurum*

ÖZET

Oltu Taşı üretimi, dağlık arazide teknolojik olmayan yöntemlerle açılan 70-130 cm çapında yer altı galerilerden yapılmaktadır. Yöre halkı tarafından kendi imkânlarıyla açtıkları galerilerde ancak iki veya üç kişi çalışmaktadır. Galeri açma işinde kazma, kısa saplı kürekler, çekici ve murç kullanılmaktadır. Galerideki ürün ve atık malzemenin dışarı çıkarılmasında ise iple çekilebilen dört tekerlekli küçük ahşap taşıma araçları kullanılmaktadır. Oltu Taşı'nın işlenmesi yöresel sanatkarlar tarafından yapılmaktadır. Sanatkarlar tarafından işlenen Oltu Taşı tespih, pipo, ağızlık, biblo, kolye, küpe, bilezik, yüzük ve rozet gibi ürünlere dönüşmektedir. Oltu Taşı'nın işlenmesi genellikle elektrikli torna, cila çarkı, matkap gibi basit makineler ve çelik bıçak, ege, zımpara ve yapılan işe uygun torna gibi el aletleri ile yapılmaktadır.

ABSTRACT

Oltu Stone production is carried out by non-technological methods in the underground galleries with 70-130 cm in diameter opened on the highland. Only two or three persons can study in this galleries opened by local people with their opportunity. In the process of opening the gallery, digging, short-handled shovel, hammer and chisel are used. Production and waste material are brought out from galleries by using move tool with four-wheeled wooden which is can be pull by rope. Processing of Oltu Stone is carried out by local artisans. Oltu Stone processed by local artisans is transforms some products such as rosary, tobacco pipes, cigarette holders, trinket, necklace, earrings, bracelets, rings and rosettes. Processing of Oltu Stone is generally made with some basic equipment such as electric lathe, polishing wheel, drill and with some hand tools such as steel knife, file, sandpaper and turned suitable for working.

1. GİRİŞ

Oltu Taşı rezerv olarak Dutlu, Hankaskışla, Alatarla, Çataksu, Kabakuş köylerinde ve Dutlu Dağı “Yasakdağ” ve çevresinde çıkarılmaktadır. Bölgeler, 1600-1800 m rakımlı, dik yamaçlı, sarıçam ormanlarıyla kaplıdır. Oltu Taşı galerileri Oltu-Göle istikametinde uzanan asfalt yola 5-8 km kuzey ve kuzeybatısından itibaren başlar Kış mevsiminde galerilere gitmek mümkün değildir. Köylüler bu mevsimde yaya olarak ve ancak 3-5 saatte varabilmektedirler. Bölgede Oltu Taşı çıkarmak için açılan ocak sayısı 600 civarındadır. Bunlardan Dutlu Dağı çevresindeki 287. ocaktan 80’i faal durumdadır.

Oltu Taşı’nın çıkarılması hemen hemen dik açılan ve 70-80 cm çapındaki galerilerde sürdürülmektedir. Açılan bu galerilerde 2-3 kişi birlikte çalışabilmektedir. Galeriler ekonomik olmadığı için yöre halkı tarafından teknik metotlarla değil, gelişigüzel açılmaktadır. Açılan her galeride tabakalara rastlanmamakta ve açılan galerilerin çökmemesi için bunların silindirik şeklinde olmasına dikkat edilmektedir. Galeri açma işinde murç, sapları kısa kürekler, kazma ve çekiç kullanılmaktadır. Tünelde bulunan toprak hafriyatını dışarı çıkarmak için tekerlekli teknelerden faydalanılmaktadır. Galerilerde madene rastlansa da rastlanmasa da yaklaşık 150 m derinlikte terk edilmektedir. Madene rastlanmayan ocaklar 10 m sonra terk edilmektedir. Basınç altında sıkışmış Oltu Taşı yatakları kömürde olduğu gibi kalın damar şeklinde devam etmediğinden çok geniş mekânlar açmaya gerek yoktur. Galerilerde aydınlatma deveci lambası veya cep feneri ile sağlanmaktadır. Oltu Taşı yatakları birkaç metre yatay devamlılık gösteren tabakalar halindedir. Bu damarlar yer yer çatallanmış ve kırılmış haldedir. Galerilerdeki mercceklerin tükenmesi veya galeriden aşırı derecede su çıkması halinde ocak terk edilir. Tünellerin çökmemesi için ağaç direkler kullanılmaktadır (Parlak, 2001).

2. OLTU TAŞI ÜRETİMİ VE İŞLEMECİLİĞİ

2.1 Oltu Taşı’nın Tanımı

Süs ve takı eşyası yapımında kullanılan Oltu Taşı, Erzurum taşı ya da Kara Kehribar olarak da adlandırılmaktadır. Oltu Taşı, siyah, koyu kahve, sarı, nadiren de gri-yeşilimsi olabilen, doğada oldukça az rastlanan amorf yapıdaki karbon yapısındadır. Mohs sertlik skalasına göre 3 sertliğe, 1,5 yoğunluğa ve yaklaşık % 78 karbon içeriğine sahip yarı değerli bir süs taşıdır. Çıra gibi ıs çıkararak yanar ve sigara külüne benzer bir artık bırakır. Linyite göre çok bitümlü ve çok sık yapılı olmasına karşın genellikle kompakt linyit olarak tanımlanabilmektedir. Oltu Taşı yerkabuğu içinde iken, yumuşak, hava ile temas ettiğinde sertleşen, bitümce zengin kompakt bir linyit çeşididir. Yerleşim olarak, devamsız küçük mercceksi şekiller halinde tipik sedimanter oluşumlardır. Neojen yaşlı birimlerden 70-80 cm kalınlığında marnlar içinde en fazla birkaç cm kalınlığında, birkaç metre yatay devamlılık gösteren merccekler halindedir. Oltu Taşı, Türkiye’de Oltu (Erzurum), Bayburt ve Haymana’da (Ankara) yer almaktadır. Oltu Taşı, bölge halkının önemli geçim kaynaklarından birisidir. Taşın çıkarılması, işlenmesi ve pazarlaması faaliyetlerinde çalışan işgücü yörede önemli yer tutmaktadır (Parlak, 2001).

2.2 Oltu Taşı'nın Ocaktan Çıkarılması

Oltu Taşı üretimi bulunduğu yer açısından oldukça zahmetli ve sabır gerektiren bir iştir. Üretim küçük çaplı galerilerde sürdürülmektedir ve açılan galerilerde iki-üç kişi beraber çalışabilmektedir. Galeriler ekonomik olmadığı için teknik metotlarla değil, rastgele açılmaktadır. Açılan bu galerilerin çökmemesi için silindirik şeklindedir (Şekil 1).

Galerin açılması için murç, kısa saplı kürekler, kazma ve çekiç kullanılır. Tünelde bulunan toprak hafriyatı dışarı çıkarmak için altına küçük tekerlekler takılmış tekneler kullanılır. Galerilerde taş bulunmaması durumunda bile 150. metreye gelince terk edilir. Basınç altında sıkışmış ve derli toplu bulunmayan Oltu Taşı yatakları, kömürde olduğu gibi damar şeklinde devam etmediğinden çok geniş mekânlar açmaya gerek yoktur. Galeride aydınlatma, deveci lambası veya cep feneri ile sağlanır. Tünellerin içi çok dar olduğundan ancak dizler üzerinde durularak çalışılmaktadır.



Şekil 1. Oltu Taşı galeri ağzı.

2.3 Oltu Taşı'nın İşlenmesi

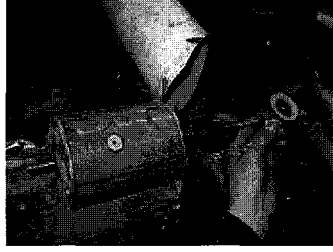
Ocaklardan üretilen Oltu Taşı teneke ölçeği veya kilo ile satın alınır. Taşların toprak karışımı ve çatlaklı olmamasına dikkat edilir. Kullanım amacına göre büyüklük ve şekillerine göre taşın içindeki yabancı maddeler ve çatlak durumu göz önünde bulundurularak seçilen taşlar, içindeki yabancı maddeler ve çatlaklar göz önünde tutularak keserle kırılıp işlenecek hale getirilmektedir.

Oltu Taşı'nın işlenmesinde çelik bıçak, ege, zımpara ve yapılan işe göre tornalar kullanılmaktadır. Bazı ustalar kendi bıçaklarını kendileri hazırlar ve bu aletleri kendi ihtiyaçlarına göre geliştirirler. Oltu Taşı'nın işlenmesinde, keserle kırılan taşlar bıçakla kobut yapılarak delinir. Delinen taşlar ipe takıldıktan sonra keski ile tornalandıktan sonra arda denilen aletle düzeltme ve perdah işlemi yapılır. Tornada işlenen taşlar, tornadan çıkmadan cilalama işlemi yapılır. Oltu Taşı işlemeciliği, iki şekilde sürdürülür. Birincisi tornada yapılan işlerdir. Daha sonra yuvarlak taneler üzerine altın veya gümüş ile yapılan kakmalar da ikinci grubu oluşturmaktadır. Kolye, bilezik, yüzük gibi süs eşyalarının altın veya gümüş olan kısmı işlenip, taş konulacak yerleri boş bırakılır. Bu yerlere, çakma veya yapıştırma usulü ile taşlar yerleştirilerek cilaya hazırlanır. Ayrıca ege veya zımpara yardımı ile bıçak kullanılarak el işçiliği ile sadece Oltu Taşı kolye ve takılar yapılmaktadır (Menteşeli, 2007).

2.4 Oltu Taşı İşlemeciliğinde Kullanılan Araç ve Gereçler

2.4.1 Elektrikli Torna

Son yıllarda kullanılmaya başlanmış olup, özellikle tespih tanelerinin oranlarının ölçülü olması için kullanılmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Elektrikli torna aleti.

2.4.2 Kehribar Bıçağı

Oltu Taşı'nı kobut yapmaya yarayan ve taşın yontulmasında kullanılan çelik bir bıçaktır (Şekil 3).



Şekil 3. Oltu Taşı'nın bıçakla işlenmesi

2.4.3 Keski

Kobut halindeki delinmiş taşa çarkla şekil vermeye yarayan ve kesme kapasitesi, kesim yapan en kalın çaplı telle belirlenen alettir (Şekil 4).



Şekil 4. Keski.

2.4.4 Arda (Haydal)

Keskiyle düzenlenen kobutun, en son şekil verme işlemi için kullanılır (Şekil 5).



Şekil 5. Arda (haydal).

2.4.5 Biz

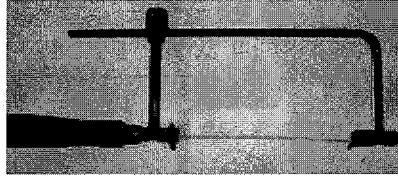
Taşı delmek için kullanılan ve çelikten yapılmış bir alettir (Şekil 6).



Şekil 6. Biz.

2.4.6 Kıl Testere

Taş parçalarının ince bir şekilde kesilmesi için kullanılır (Şekil 7).



Şekil 7. Kıl testere.

2.4.7 Eğe

Maden üzerindeki pürüzlü yüzeyleri gidermek için kullanılan dişli alettir. Çeşitli kalınlık ve büyüklükte olup, Oltu Taşı'nın törpülenip düzeltilmesini sağlar. Düz, yuvarlak ve balıksırtı gibi çeşitleri mevcuttur (Şekil 8).



Şekil 8. Eğe.

2.4.8 Zımpara

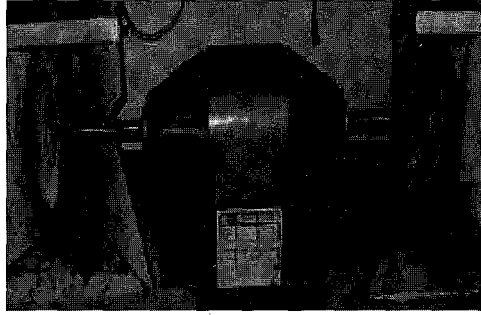
Eğre ile düzeltilen taşların, silinerek son şeklini alması için kullanılır.

2.4.9 Keser

Normal keser aletinden biraz küçük olup, taşları kırmaya yarar.

2.4.10 Cila Çarkı

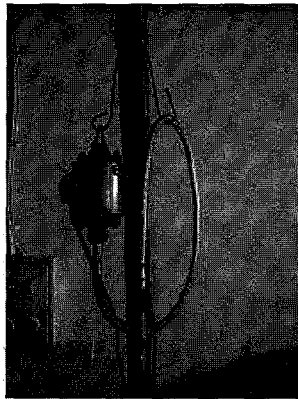
Motora bağlanmış mil üzerine takılan, yuvarlak biçimde kesilmiş bez veya keçe üzerine sürülen çeşitli macunlarla yapılan parlatma işine yarayan cihazdır. Naylon, kıl, lastik gibi malzemelerden yapılmış fırçalar kullanılır (Şekil 9).



Şekil 9. Cila çarkı.

2.4.11 Matkap

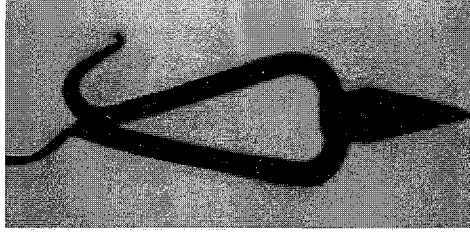
Elektrikli bir alet olup, kakma işlemini gerçekleştirirken Oltu Taşı'na küçük delikler açılmasına yarar (Şekil 10).



Şekil 10. Matkap.

2.4.12 Makas

Metali ve telleri kesimi için kullanılır (Şekil 11).



Şekil 11. Makas.

2.4.13 Yan Keski

Tel ve metal kesmede kullanılır (Şekil 12).



Şekil 12. Yan keski.

2.4.14 Karga Burun

Tellerden hazırlanan halkaların birleştirilmesi ile levhaları çekmek ve eğmek için kullanılır (Şekil 13).



Şekil 13. Karga burun.

2.4.15 Çiftler

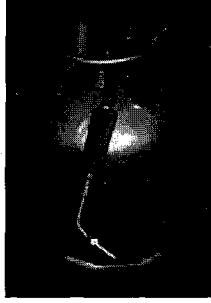
Cımbıza benzeyen çok küçük ve değerli taş ve benzeri nesneleri zedelemekten tutmaya yarayan ve aynı zamanda kaynak yaparken kullanılan alettir (Şekil 14).



Şekil 14. Çiftler.

2.4.16 Şalama

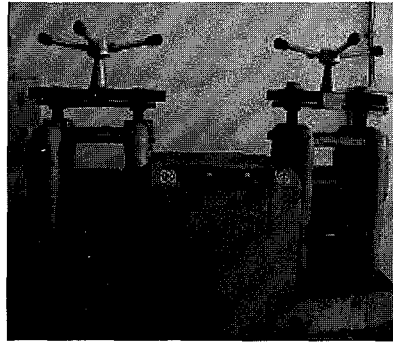
Kaynak yapımında gereci ısıtmak için kullanılan ve tüp gazla çalışan bir alettir (Şekil 15).



Şekil 15. Şalama.

2.4.17 Silindir

Altın ve gümüş tellerin istenilen incelikte ayarlanması için kullanılır. Düz ve oluklu olmak üzere iki tipi bulunmaktadır (Şekil 16).



Şekil 16. Silindir.

2.4.18 Haddeler

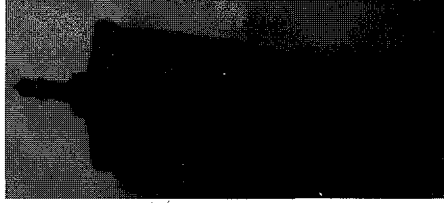
Silindirden geçirilen tellerin inceltilmesini sağlayan çeşitli büyüklükte delikleri olan çelik levhalardır (Şekil 17).



Şekil 17. Hadde.

2.4.19 Freze

Taşa delik delme için kullanılan, elektrikli bir alettir (Şekil 18).



Şekil 18. Freze.

2.4.20 Ajur Bıçağı ve Kazıma Kalemi

Ajur bıçağı, ince ajurların kesilmesinde kullanılır. Kazıma kalemleri ise çeşitli kalınlıklarda uçlara sahiptir ve metalin üzerinin kazılması yöntemiyle, üzerine desen işlenmesinde kullanılan bir alettir (Şekil 19).



Şekil 19. Kazıma kalemi.

2.4.21 Mum İndirme Alçı Pişirme Fırını

Döküm için hazırlanan mum kalıbı alçı kalıba dönüştürürken alçının pişirilip mumun eritilmesinde kullanılır. İşlem esnasında ısı 1008 °C ile 7508 °C arasında yükseltilir.

2.4.22 Penseler

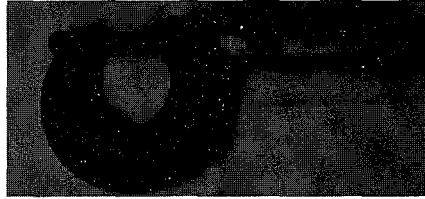
Bükme, düzeltme, kıvrıma gibi her türlü işleve sahip, çeşitli tipleri olan bir alettir (Şekil 20).



Şekil 20. Çeşitli penseler.

2.4.23 Mikrometre

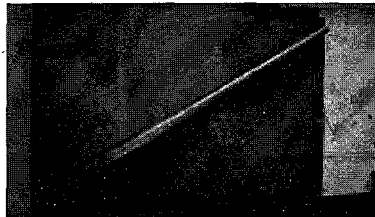
İşlenen taşların ölçümlerinde kullanılır (Şekil 21).



Şekil 21. Mikrometre.

2.4.24 Demir Malafa

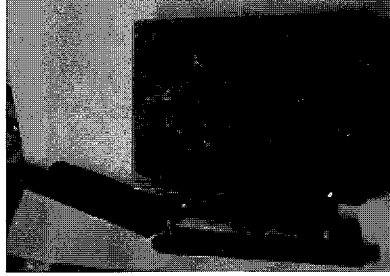
Huni biçiminde demirden imal edilmiş, yüzük kolu veya alyans bu işlemle düzeltilerek parça malafaya takılır ve üzerine tahta tokmakla vurularak sonlandırılır. Numaralı malafada yüzük ölçüleri belirlenmektedir (Şekil 22).



Şekil 22. Malafa.

2.4.25 Heşteek Takımı

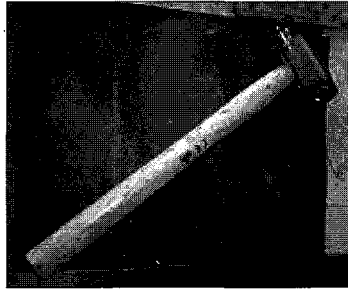
Özel bir demir-çelik alaşımından yapılmış, hacimli işlerin yapımında kullanılan maden veya sert ağaçtan yapılmış kalıplardır (Şekil 23).



Şekil 23. Heşteek takımı.

2.4.26 Çekiç ve Tokmak

Çukurlama çekici, kakmacı çekici, perdah çekici, toplama çekici gibi değişik çeşitleri olan ve her türlü tekniğin uygulanmasında kullanılan el aletidir (Şekil 24).



Şekil 24. Çekiç.

2.4.27 Tahta Mengene

Ortalama 30 cm. boyunda, ağaçtan yapılmış mengenedir (Şekil 25).



Şekil 25. Tahta mengene.

2.4.28 Pota

Yüksek dereceli sıcaklıklara dayanıklı madenlerden yapılmış ve içinde altın, gümüş, platin gibi madenlerin eritilip şekillendirildiği kap.

2.4.29 Avşarlar

Yuvarlak, büyükten küçüğe doğru çeşitleri olan zimba uçlarıdır.

2.4.30 Örs

Külçe gümüşün astar durumuna getirildiği geniş yüzeyli demir alettir (Şekil 26).



Şekil 26. Örs.

2.4.31 Kabaşon

Kalıplar yardımıyla taşlara şekil vermek amacıyla kullanılmaktadır (Şekil 27).



Şekil 27. Kabaşon.

SONUÇLAR

Oltu Taşı, Oltu çevre köylerinde oldukça zor koşullarda üretilmektedir. Üretim galerileri yöre halkı tarafından kendi imkânlarıyla açılmakta ve 70-130 cm çapındaki bu galerilerde 2-3 kişi beraber çalışabilmektedir. Üretim modern madencilik yöntemlerinden uzak, basit el aletleri vasıtasıyla yapılmaktadır.

Üretilen taşlar, Oltu ve Erzurum'da bulunan atölyelerde işlenerek; yüzük, küpe, gerdanlık, kolye ve bilezik, kravat iğnesi, kol düğmesi, ağızlık, tespih, pipo, maskot,

anahtarlık, masa isimliği ve heykel yapımında, elektrik sanayi ve yüksek gerilim sahasında kullanılmaktadır.

Oltu Taşı işlemeciliğinde kullanılan araçlar içinde ilk sırayı % 100 kullanım ile çelik bıçak almaktadır. Diğer araçların ise; % 46 ile 19 üründe kıl testere, % 37 ile 15 üründe matkap, % 68 ile 28 üründe ege, % 66 ile 27 üründe yan keski, % 61 ile 25 üründe kargaburun, % 66 ile 27 üründe cila makinesi, % 54 ile 22 üründe torna makinesi, % 22 ile 9 üründe çelik kalem, % 41 ile 17 üründe salama, % 22 ile 9 üründe örs ve % 2 ile 1 üründe kalıp olarak sıralandığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Menteşeli, M.,** (2007) *Doğu Anadolu Bölgesi Erzurum İli Oltu Taşı İşlemeciliği ve Kullanım Alanlarının El Sanatları Açısından İncelenmesi*, Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Dekoratif Ürünler Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, s. 61-79.
- Parlak, T.,** (2001) *Erzurum'da Oltu Taşı ve Kuyumculuk Sanatı*, Oltu Taşı Sanatını Geliştirme Sanatkarlarını Koruma ve Kalkındırma Derneği Başkanlığı, Oltu, 103 s.

ACIK İŞLETMELERDE DİNAMİK KAMYON ATAMA & İZLEME SİSTEMİ

THE DYNAMIC TRUCK DISPATCHING SYSTEM IN OPEN PIT MINING

Tahir MALLI, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., İzmir*

Gürcan KONAK, Halil KÖSE, Doğan KARAKUŞ ve Alper GÖNEN, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., İzmir*

ÖZET

Açık işletme madenciliğinde cevher ve dekapaj malzemesinin nakliyesi işlemi, açık işletme operasyonları içinde en önemlisi olarak kabul edildiğinden dolayı nakliye sisteminde yapılacak iyileştirme ve geliştirme çalışmaları işletme ekonomisine önemli katkılar sağlamaktadır. Birçok örnekte nakliye giderinin işletme maliyetlerinin zaman zaman yarısına yaklaştığı görülmektedir. Bu rakamların yüzdesel olarak bir miktar azalması işletme giderlerinde önemli kazançlar sağlamaktadır. Kapasite ve verimlilik artışını hedefleyen kamyon atama-izleme sistemlerini de kapsayan nakliye yönetim ve kontrol sistemlerinin uygulanması, kullanılan yükleyici ve kamyonların efektif kapasite ve kullanım oranlarının artmasına olanak sağlamaktadır. Böylelikle birim üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve kontrolünde etkili olmaktadır. Ülkemizde açık işletmelerde uygulanan konvansiyonel ekskavatör-kamyon nakliyesi, dinamik kamyon atama ve izleme teknolojisiyle desteklenmesi halinde kapasite ve verimlilik artışları sağlanacağı vurgulanmaktadır.

ABSTRACT

The innovations in transportation system become significant since the hauling of ore and overburden are the main operations in open pit mining. Many specialists conclude that, transportation covers nearly half of the whole operating costs. The decrease in these percentages would cause great economical enhancement. The application of fleet management and control systems involving truck dispatching systems that aim to increase the capacity and efficiency would lead to decrease the unit cost of the products. This study investigates the increase in efficiency and productivity in open pit mines by replacing the conventional excavator – truck hauling systems in Turkey by dynamic truck dispatching technology.

1. GİRİŞ

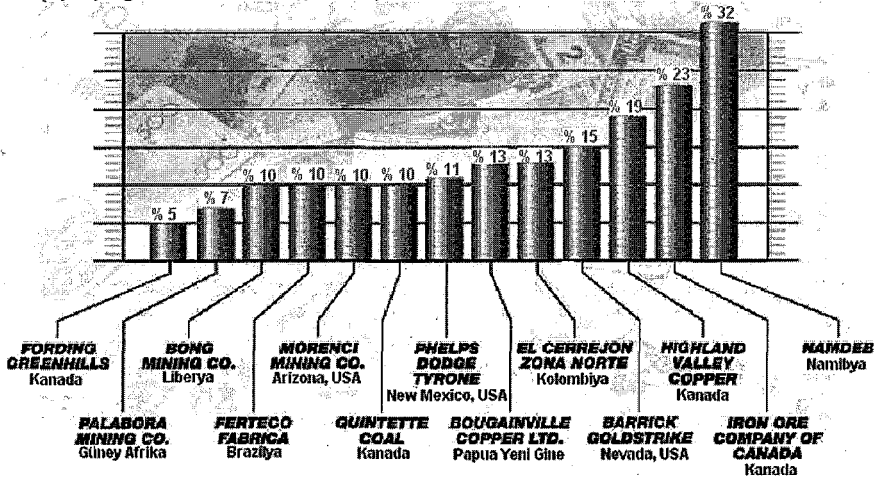
Dünya maden üretiminin % 90'a varan önemli bir bölümü açık işletme yöntemleri ile üretilmektedir. Yüzeye yakın maden yataklarının tüketilmesi ile birlikte açık işletme ekonomik derinliği her geçen gün artmaktadır. Kaldırılması gereken örtü kazı miktarları artmakta ve örtü-kazı oranları 30 m³/ton'a ulaşmaktadır. Bu nedenledir ki ekonomik üretim yapılabilmesi için dekapaj maliyetlerinin ve dolayısıyla birim üretim maliyetlerinin düşürülmesi gerekmektedir(Köse, H.,2009).

Teknolojide yaşanan hızlı gelişmeler madencilik sektöründe de yeni uygulamaları beraberinde getirmektedir. Özellikle iş makinalarındaki efektif kapasite artışları, teknik gelişmeler ve iş makinalarının yıllık efektif kullanım oranlarının artmasına olanak sağlayan sistemler üretim maliyetlerini olumlu yönde etkilemektedir. Bu amaçla son yıllarda, başta ABD, Kanada, Avustralya gibi gelişmiş ülkelerde GPS teknolojisine dayalı madencilik sistemleri yaygın olarak kullanılmaya başlanmış, işletme kapasitesi ve makina verimlerinde artışlar gerçekleştirilmiştir.

Açık maden işletmelerinde kullanılan temel makine-ekipmanların sergileyebilecekleri en iyi performansta çalıştırılmalarını sağlamak için GPS tabanlı sistemler uygulama bulmaktadır. Böylelikle maden işletmelerinin önemli problemlerinden olan organizasyon ve zamanın optimal düzeyde kullanılmaması, ekipman ve makinaların verimli çalıştırılmaması ve birim maliyetlerin yüksek olması, teknoloji ve bilgisayar destekli olarak düşürülmeye ve düzenlenmeye çalışılmaktadır.

2. GPS TABANLI MADENCİLİK SİSTEMİ VE UYGULAMALARI

Konumlama ve buna bağlı yönlendirme teknolojisi açık işletmelerde kullanılan delici, yükleyici, kamyon vb. diğer ekipmanlarında verimlerinde önemli ölçüde artış sağlamak ve dolayısıyla zaman planlaması ve maliyetler bakımından belirgin bir iyileştirme oluşturmaktadır. Dünya'da GPS teknolojisi kullanan maden firmalarının verileri açıkça göstermektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Üretimde verimlilik artışları (Mallı, 2006).

Üretim sırasında ocak içinde bulunan makina ve ekipmanların pozisyonlarının bilinmesi, özellikle selektif üretimin gerekli olduğu yerlerde oldukça önemli olmaktadır. Makina ve ekipmanların pozisyonlarının belirlenmesinde, günümüzde gittikçe gelişen bir teknoloji olan Coğrafi Yerbulduru Sistemi(GPS) kullanılmakta, işletmede bulunan araçların takibi, konumları ve yönlendirilmeleri bir merkezden kontrollü olarak yapılabilmekte, işletmenin kapasite ve verimliliğinde önemli oranda artışlar sağlanabilmektedir.

Dünya’da GPS tabanlı sistem uygulamaları, kamyon atama ve izleme sistemi, yükleyici (shovel, ekskavatör), yardımcı ekipman(dozer, grayder vb), delici ve diğerleri olmak üzere iş makinalarında sisteminin değişik modülleri uygulanmaktadır(Çizelge 1).

Çizelge 1. Sistemin makine tiplerine göre sağladığı avantajlar (Mallı,2006).

Sistemin Sağladığı Avantajlar	Yükleyici	Kamyon	Dozer	Greyder	Delici
Yükleme kontrolü	+				
Basamak taban kodu hassaşığı	+		+	+	+
Ocak planlaması	+	+			+
Basamak Dizaynı	+		+	+	+
Tenör Kontrolü	+				
Cevher kayıplarının azaltılması	+		+	+	
Yüklenen malzemenin kontrolü	+	+			
Harman sahası dizaynı			+	+	
Yol ve basamak dizaynı			+	+	
Parçalanma ve parça boyutu	+				+
Tonaj belirleme	+	+			
Boş zamanın azaltılması	+	+	+	+	+
Taşıma maliyetinin azaltılması		+			
Toplam giderlerin azaltılması	+	+	+	+	+
Verimlilik artışı	+	+	+	+	+

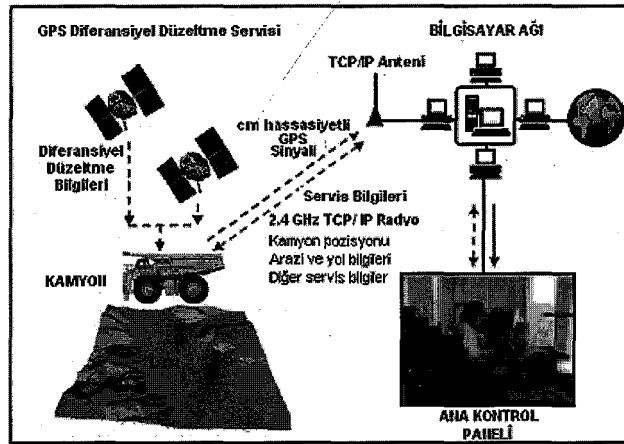
Çizelge 2’de işletmelerde GPS uygulamalarının sağladığı yaklaşık giderler ve sağlanan kazanımlar verilmektedir.

3. DİNAMİK KAMYON ATAMA SİSTEMİ

Malzeme nakliyesi, açık işletme operasyonlarının en önemli olanıdır. Birçok uzman nakliye giderinin işletme maliyetlerinin %50’sine hatta bazı işletmeler için bu rakamın % 60 değerine kadar arttığı görüşündedir(Gamache, Alaire, 2002). Bu rakamların bir miktar azalması işletme giderlerinde önemli kazançlar sağlamaktır. Bu nedenle kamyon izleme ve atama sistemlerinde GPS tabanlı madencilik sistemleri önem kazanmaktadır. Kamyon izleme ve atama sisteminin uygulandığı işletmelerde(Şekil 2), ilkyatırım maliyeti ve verimlilik artışları Çizelge 3’de verilmektedir.

Çizelge 2. GPS uygulamalarının tahmini gider ve kazanımları(Andrew, vd 2003).

Makine	Uygulama	Kazanım (\$)			
		Aylık	Yıllık	Toplam	Tasarruf (%)
Ekskavatör shovel	Yükleme kontrolü	297123	3565476	1782738	50
	Basamak taban kod hassaslığı	93150	1117800	558900	50
	Ocak planlaması	4138	49650	24825	50
	Verimlilik artışı	19000	228000	57000	25
Dozer	Basamak düzlüğü kontrolü	19244	230929	115465	50
	Cevher-yantaş pozisyonu	10491	125892	31473	25
Kamyon	Yüklenen malzeme kontrolü	90772	1089264	544632	50
	Taşıma maliyetinin azaltılması	45221	542652	406989	75
	Eğik açılan deliklerin azaltımı	6667	80000	20000	25
Delici	Parçalanma ve parça boyutu	17603	211236	105618	50
	Araştırma gereğinin azalması	11250	135000	33750	25
Toplam		614658	7375899	3681390	43



Şekil 2. GPS-radyo navigasyon bağlantısı ve filo yönetimi.

Kapasite ve verimlilik artışını hedefleyen kamyon atama-izleme sistemlerini de kapsayan nakliye yönetim ve kontrol sistemlerinin uygulanması ve geliştirilmesi maliyet minimizasyonunda etkili olmaktadır.

GPS tabanlı maden filo yönetim sistemlerin ilkyatırım maliyeti kullanılan makine sayılarına bağlı olarak değişmektedir. Açık işletmeyi tamamen düşündüğümüzde bir maden filosunun sistemle donatılmasının toplam maliyeti yaklaşık 1 000 000 -1 500 000 \$ arasındadır. Örneğin; St Ives Açık İşletmesine sistemin kurulum maliyeti 1 194 115 \$'dır. İşletmede filo izleme sistemiyle yönetilen makine parkı; 4 yükleyici, 10 kamyon, 4 delici ve 2 adet radyo ripitürden oluşmaktadır. Sistemin yıllık gider minimizasyonu

1 533 912 \$ olup amortizasyon süresi bir yıldan daha kısadır(Andrew, vd., 2003). Bu tür sistemlerin maliyeti filoda yönlendirilen kamyon, yükleyici ve yardımcı ekipman sayılarına bağlı olarak değişmektedir.

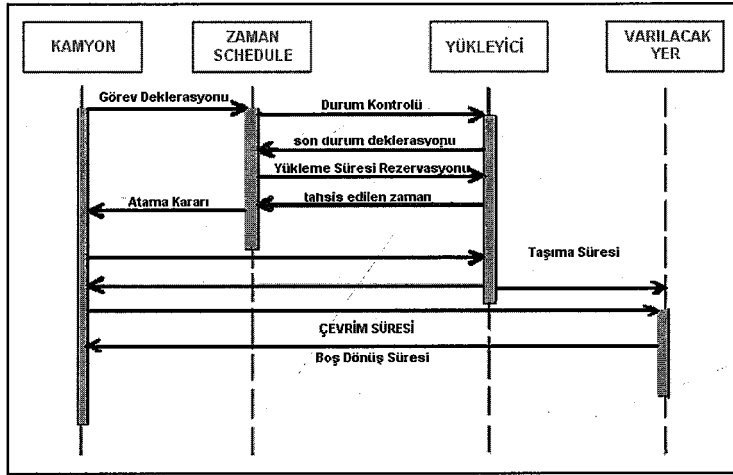
Çizelge 3. Sistemin uygulandığı işletmeler ve verimlilik artışları (Modular Mining Systems, İntellimine Dispatch Sistem, 2003).

İşletme Adı	Yatırım Tutarı (\$)	Verimlilik Artışı (%)
Arizona Asarco İşletmesi	1 000 000	% 11 verimlilik artışı
Nevada Barrick	2 000 000	% 15 verimlilik artışı
GoldstrikeAltınMadeni		
Kanada HighlandValley Bakır Madeni	3 000 000	% 20 verimlilik artışı
Kanada Iron Ore Demir Madeni	---	% 6 ekskavatör kullanım artışı % 23 kamyon kullanım artışı
Minnesota LTV Steel Co.	---	% 10 verimlilik, % 6 işgücü artışı
Arizona Morenci Bakır Madeni	---	10 000 000 \$ yıllık tasarruf % 10 maliyet minimizasyonu
Avustralya Newcrest İşletmesi	---	% 25 verimlilik artışı
Güney Afrika Palabora Bakır Madeni	---	% 7 kamyon kullanım artışı
Kanada FordingGreenhills Kömür Madeni		% 5
Liberya Bong Mining Demir Madeni		% 10
Kanada Quintette Kömür Madeni		% 10
Kolombiya Zona Norte Kömür Madeni		% 13
Namibya Namdeb Bakır Madeni		% 32

Kamyonların uygun yükleyicilere doğru kombinasyonla başlangıç yapması önemlidir. Dinamik olarak bu atama, bir sonraki aşamaları da etkileyeceğinden hangi noktaya nakliye maliyetini minimize edecek şekilde atama yapılarak başlanılmalıdır. Atamanın

yapılması ile başlayan zaman ve konum planlama, bir dizi işlemin arka arkaya uygulanmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu işlemler şöyle sıralanmaktadır;

Başlangıç noktasında (üretim basamağı yada döküm sahası) kamyon konum ve zamanı kontrol edilmekte ve kamyonu görev bildirilmektedir. Atama, kamyonu görev bildirim sırasında iki önemli parametreye gereksinim duyar. Bunlar, ekskavatör ve kamyonun durumları ile rezervasyon zamanlarıdır. Başka bir deyişle, kamyonun yükleme noktasına gelene kadar geçecek zaman içinde ekskavatörün hazır bulunma durumu hesaplanmaktadır. Kamyon atandıktan sonra yükleme operasyonu için yükleme zamanı o kamyon için rezerve edilir. Böylelikle aynı anda aynı noktada bir başka araçla çakışma olmaz ve kuyruk oluşmasına izin verilmez (Şekil 3).

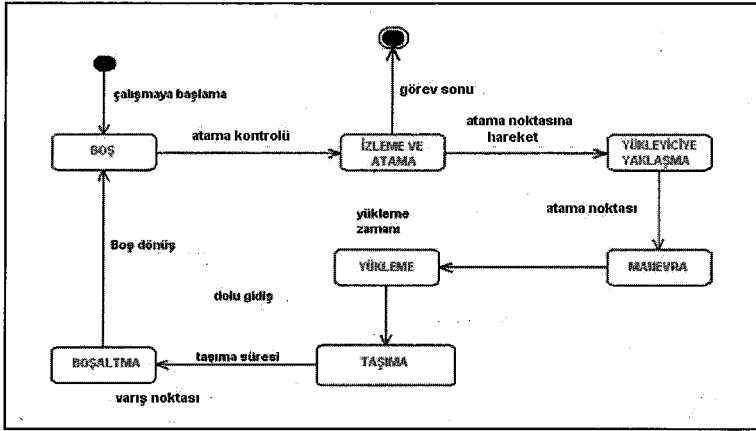


Şekil 3. Durum-zaman işleyişi ve görev bildirimi (Mallı,2006).

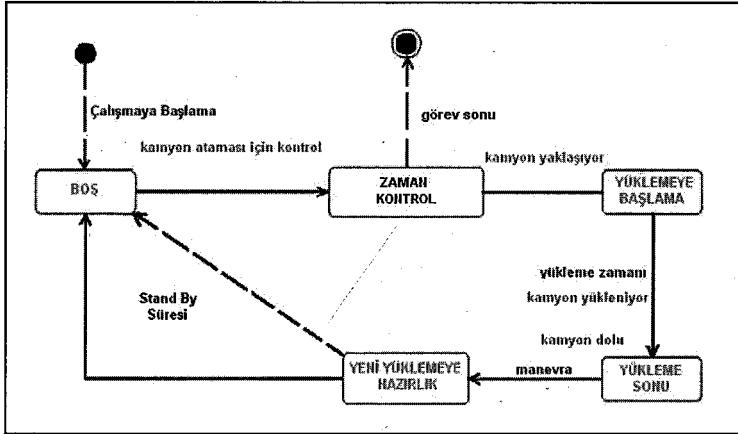
Yükleme bölgesine kamyon ulaştıktan sonra birkaç dakikalık manevra süresi alır ve yükleme öncesi pozisyonunu almaktadır. Aynı noktaya ulaşacak bir sonraki kamyon, yükleme zamanı içinde yükleme pozisyonunu almalıdır. Yükleme yapıldıktan sonra malzeme (cevher yada dekapaj) gereken noktaya taşınır ve çevrim zamanı tamamlanır. Kamyon yeni durum ve rezerv zamanı kontrol edildikten sonra hat boyunca harcanan toplam zamanı minimize edecek şekilde yeni bir atama yapılacaktır(Şekil 4.).

Yükleme noktasındaki yükleyici tarafından kamyonu, cevher yada dekapaj yüklemesini tamamlamış olacak ve bir önceki kamyon aynı anda bu zaman içinde yüklemeye hazır pozisyonunu almış olacaktır. Buradaki hedef, yükleme operasyonu için bekleme zamanı ve dolayısıyla kuyruk oluşumunun engellenmesidir (Şekil 5). Eğer tüm yükleyiciler, yükleme yapıyorsa ve aynı zaman içinde başka bir kamyonu aynı yere hareket etmekte ise maliyet olarak en karlı alternatif seçilmelidir.

Verimlilik ve birim taşıma maliyeti, kapasiteyle orantılı olarak değişmekte olduğundan bazı faktörler önemlidir. Çevrim zamanı, işyeri organizasyon faktörü, filo yönetimi ve planlama sayılabilir.



Şekil 4. Kamyon döngüsü içinde durum-zaman diyagramı.



Şekil 5. Yükleyici(Ekskavator-shovel) için durum-zaman diyagramı.

Kamyon çevrim zamanlarındaki gecikmeler kamyonun yüklenmesi ve özellikle en önemli gecikmeler kamyonların yükleyicide kuyruk oluşturmamasından kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan manevra süreleri çok değişkenlik gösteremeyeceğinden ancak kamyon dolu ve boş dönüş sürelerinin değişkenlik gösterdiği ve burada yapılacak organizasyon ve optimizasyonların olabileceği görülmektedir. Kısaca sistem, kamyonlara uygun ekskavatörlere atama yaptığından ve kontrollü olarak takip ettiği için zaman kayıpları özellikle kuyruk oluşumu engellenmiş olacaktır (Mallı,2006).

4. MODEL ÇALIŞMA

Bu model çalışmada, üretim kapasitesi yıllık 12000000 ton kömür olan açık işletmenin nakliye operasyonunun mevcut koşullarda gerçekleştirilmesi ile kamyon filosunun çevrim zamanlarında ve verimlerinde sağlanacak iyileştirme ve gelişmelerin nakliye

sistemi üzerindeki etkileri incelenmektedir. Model işletmeye ait çalışma parametreleri ve değerleri Çizelge 4'te verilmektedir. Çizelge 5'te işletmede nakliye yapan kamyon filosu çevrim aşamaları ve toplam çevrim süreleri verilmektedir.

Çizelge 4. İşletmeye ait mevcut çalışma verileri.

İşletme Parametreleri	Planlama Verileri
Yıllık Taşıma Kapasitesi (ton)	12 000 000
Yıllık Çalışma Gün Sayısı	280
Ekskavatör Kepçe Hacmi (yd ³)	20
Kamyon Sayısı	8
Kamyon Kasa Kapasitesi (ston)	170
Vardiya Çalışma Süresi (sn)	21600
Vardiyada Taşınacak Miktar (ton)	14340
Günlük kapasite (ton)	43020
Aylık kapasite (ton)	1 000 000

Çizelge 5. Kamyon filosuna ait çevrim süreleri.

Çevrim Aşamaları	Min (sn)	Max (sn)	Ort (sn)
Yükleme manevrası	10	29	21,6
Yükleme işlemi	122	226	160,2
Taşıma operasyonu	621	673	642,8
Dökme manevrası	20	35	27
Döküm işlemi	19	23	20,8
Geri dönüş	541	591	560,6
Kuyruk bekleme	0	70	29
Toplam çevrim	1404	1541	1462
Kamyon Taşıma Tonajı (t)	120	125	121

5. TARTIŞMA

Gerçekleştirilen reel kapasite değeri, planlanan nominal değerden daha düşük olması kamyon-yükleyici eşleşmeleri ve filo organizasyonunda problemlerin olduğunu göstermektedir. Filo organizasyonu sorunu kamyon çevrim sürelerinin planlama değerlerini yakalayamadığı ve bu sürelerin aşılmasından ortaya çıkmaktadır (Çizelge 6).

Çizelge 6. İşletmede gerçekleşen, planlanan nakliye sistemi değerleri.

İşletme Parametresi	Planlama Verisi	Gerçekleşen Değer	Kayıp	Değişim %
Çevrim Zamanı (sn)	1462	1963	501	34,26
Vardiya Kamyon Sefer Sayısı	14	11	3	21,43
Vardiya Taşıma Kapasitesi (ton)	14340	10680	3660	25,52
Vardiya Toplam Sefer Sayısı	120	88	32	26,67
Ort. Taşıma Kapasitesi (ton/saat)	2390	1780	610	25,52

Çevrim sürelerinde oluşan gecikmeler ki ortalama olarak % 34 civarında olup kamyon sefer sayısının % 21, filo toplam sefer sayısı bakımından % 26 ve dolayısıyla taşıma kapasitesinde % 25 düşüşe neden olmaktadır. Bu kayıpların azaltılması planlanan değere yaklaşıldığı ölçüde en üst düzeyde artış sağlayacağından burada yapılacak iyileştirme önem kazanmaktadır.

Özellikle ekskavatörlere yönlendirme yapılmadığı ve sabit devamlı aynı ekskavatörlere yönlendirilmiş kamyonlarda kuyruk bekleme sürelerinden kaynaklanan kapasite ve verimlilik sorunu, dinamik ve gerçek zamanlı kamyon-yükleyici filo yönetim sistemlerinin kullanımını gerektirmektedir.

Açık işletmelerin derinleşerek genişlemekte olması kamyon nakliyatını daha karmaşık ve pahalı hale getirmektedir. Bu nedenle kamyon nakliye sisteminde GPS tabanlı madencilik uygulaması yeniliği kaçınılmaz olmaktadır(B.Elevli, 1999).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mevcut kamyon nakliye sistemi, GPS teknolojisi ve GPS tabanlı madencilik yönetim sistemlerinden kamyon atama sistemleriyle desteklenerek daha efektif kullanılabilir. Böylelikle efektif ekskavatör ve kamyon kullanımları artırılarak nakliye maliyeti ve dolayısıyla birim üretim maliyetleri düşürülebilir. Sistemin ilkyatırım maliyeti amortizasyonu bir yıldan daha kısa süreceği tahmin edilmektedir. Ayrıca sistemin sağlayacağı avantajlar ile işletmelerin teknik, ekonomik ve iş organizasyonu anlamında önemli problemleri gidereceği düşünülmektedir.

Dünya madencilik sektöründe eğilim, büyük kapasiteli yükleme ve taşıma araçlarının sürekli kullanımı şeklinde görünmektedir. Birim maliyeti düşürmek için daha büyük, daha hızlı ve teknolojik olarak iyi donatılmış makine-ekipmanlar büyük yararlar sağlamaktadır. Ancak ülkemiz için yüksek sermaye ve finansman zorlukları nedeniyle büyük ve güçlü makinelerin satın alınması yerine iş organizasyonu ve kapasitede yapılacak iyileştirmeler işletme ve işletmecisi açısından daha ekonomik ve verimli olacaktır.

KAYNAKLAR

Andrew, P., Jarosz., Raleigh, Finlayson. (2003). GPS Guidance System and Reduction of Open Pit Mining Costs and Revenue, Australia.

Elevli, B., Doğan, A.(1999) Açık İşletmelerde Otomasyon için GPS, Türkiye 16. Madencilik Kongresi.

Gamache M., Alaire S. (2002). Overview of Solution Strategies Used in Truck Dispatching Systems for Open Pit Mines. International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment. vol.16, pp.59-76.

Köse, H., vd. (2009) Açık İşletme Tekniği, 3. Baskı, D.E.Ü Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 256, İzmir.

Mallı, T.(2006) Küresel Konumlama Sisteminin (GPS) Madencilikte Kullanım Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Modular Mining Systems. (2005), <http://mmsi.com/modular>

Soumis F., Ethier J., Elbrond J.(1989). Evaluation of the new truck dispatching in the Mount Wright Mine, 21 APCOM Proceeding, pp. 674-682.

Trimble Navigation Limited. (2005), <http://trimble.com>

Temeng V.A., Francis O.O. (1997). Real-time truck dispatching using a transportation algorithm, International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, 203-207.

Xi Y., Yegualp T.M. (1994). Optimum dispatching algorithm for Anshan open pit mine. APCOM Proceeding 24, 426-433.

DOĞAL TAŞ OCAKLARINDA KOLLU ZİNCİRLİ KESME MAKİNESİ İLE BLOK ÜRETİMİ VE KESİM PERFORMANSLARI

BLOCK PRODUCTION WITH ARMS CHAIN CUTTING MACHINE IN NATURAL STONE QUARRIES AND ITS CUTTING PERFORMANCE

Ali SARIİŞİK, *Afyon kocatepe Üniversitesi, Müh. Fak., Afyonkarahisar*

Gencay SARIİŞİK, *Afyon kocatepe Üniversitesi, İncehisar MYO., Afyonkarahisar*

ÖZET

Bu çalışmada, yerli üretimi yapılan kollu zincirli kesme makinesinin, doğal taş ocaklarında blok üretimi ve kesim performansları değerlendirilmiştir. Doğal taş ocak işletmelerinde blok üretim verimliliğinin artırılması ve blok üretim kalitesinin yükseltilmesine yönelik elmas tel kesme yöntemine alternatif olarak, kollu zincirli kesme makinesinin denemeleri gerçekleştirilmiştir. Kesim hızı performansının yükseltilmesi amacıyla zincir üzerindeki 4 ve 8 köşeli kesici uçlu katerlerin en uygun dizilim şekilleri ve en hızlı aşınan kesici uçlar tespit edilmiştir. Kollu zincirli kesme makinesi farklı doğal taş ocakların da üretim hızı ve ortalama kesici uç sarfiyatı belirlenmiştir. Buna göre üretim hızı travertende 18.75 m²/h, kireçtaşında 6 m²/h ve mermerde 9 m²/h, ortalama kesici uç sarfiyatı ise 0.264 adet/m² olarak hesaplanmıştır. Doğal taş ocaklarında kullanımı ile birim zamanda daha az maliyetle daha fazla blok üretimi gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir. Doğal taş ocaklarında blok verimliliği kollu zincirli kesme makinesinin kullanımıyla % 60–80 değerlerine yükseldiği hesaplanmaktadır.

ABSTRACT

In this study, domestic Armed-Chained Cutting Machine's block production and cutting performance were assessed. As an alternative to diamond wire cutting method, pilot implementations were made with the Armed-Chained Cutting Machine, as a new method, to increase efficiency and quality of block production in natural stone quarries. For the purpose of increasing cutting speed performance, the most suitable shape of composition of cutters with end of 4 and 8 edges on the chain and the most rapidly wearing out cutter ends were determined. In different natural stone quarries, with respect to Armed-Chained Cutting Machine, production rate and mean cutter end consumption were identified. Accordingly, production rate was calculated as 18.75 m²/h in travertine, 6 m²/h in limestone and 9 m²/h in marble and mean cutter end consumption was calculated as 0.264 p/m². It was observed that use of the machine particularly in natural stone quarries resulted in production of a larger number of blocks at a lower cost in the unit time. It was calculated that block efficiency in natural stone quarries increased to 60-80 % values with use of Armed-Chained Cutting Machine.

1.GİRİŞ

Doğal taş endüstrisinde ekonomik zorunluluklar ve teknolojiadaki gelişmeler üreticileri daha yüksek kesme hızları ve düşük maliyetlerde üretim yapılmasına imkan veren yöntem ve makinelerin arayışına zorlamaktadır. İlk olarak 1928 yılında yer altı kömür işletmelerinde “potkabaç” adıyla kömür kazısında kullanılmaya başlanan zincirli kollu kesiciler, burada kömür damarının tabanında ve kömür içinde alt kesme yapıp serbest bir yüzey oluşturularak kömürün kolay sökülmesini sağlamaktaydı. 1980’li yıllara kadar bu şekilde kullanılan zincirli kollu kesiciler gelişmiş kazıcı ve yükleyicilerin kömür üretiminde kullanılmasıyla doğal taş blok üretimine kaydırılmıştır. Zincirli kollu kesicilerin ocaklarda kullanımı blok üretim miktarının artmasını, verimliliğin yükselmesini ve blokların şekil-boyut özelliklerinin iyileşmesini sağlamıştır.

Kollu zincirli kesme makineleri düşük ve orta dereceli aşındırıcı olan mermer, traverten gibi yumuşak doğal taşların, hem açık ocaklarda hem de yeraltı ocaklarında blok olarak çıkarılmasında ve blokların sayalama işlemlerinde kullanılabilirler. Kollu zincirli kesme makineleri, elmas boncuklu tel kesme makineleri ile birlikte kullanıldıklarında ocak verimliliğini daha da artırırlar. Bir traverten açık ocağında kullanılan elmas boncuklu tel kesme makinelerinin yanına sadece bir adet zincirli kesme makinesi ilave edilerek, ocağın genel veriminin % 20 arttığı gözlemlenmiştir. Bu verimlilik artışının sebebi kollu zincir kesme makinelerinin yönleme kazandırdığı avantajlardır. Doğal taş ocaklarında Kollu zincirli kesme makineleri, özellikle 6–7 m’den yüksek basamaklarda elmas boncuklu tel kesme makineleri ile birlikte kullanıldıklarında, tel geçirmek için gereken delik sayısını azaltarak zamandan ve işçilikten tasarruf sağlamaktadırlar. Böylelikle doğal taş ocaklarında, delik çakışma problemi en aza indirilmektedir. Kollu zincirli kesme makineleri, yeni bir basamağa yatay veya düşey olarak kolaylıkla giriş yapabildikleri ve üçgen parça kesme işlemini ortadan kaldırdıkları için üretim ve zaman kayıplarını azaltmaktadırlar. Doğrudan satılabilir ürün çıkarabilirler. Oldukça düzgün yüzeyler oluşturdukları için mükemmel çalışma ortamı oluştururlar (Çopur, vd., 2008; Çopur, vd., 2007a; Çopur, vd., 2007b; Çopur, vd., 2006; Sarişik, vd., 2010).

Türkiye’de bulunan doğal taş ocaklarında zincirli kollu kesicilerin kullanımı sıklıkla elmas tel kesme yöntemiyle birlikte kombine kullanım şeklindedir. Halihazırda uygulanan elmas tel kesme uygulamasına zincirli kollu kesicinin ilavesi işçilik giderlerinde düşüş sağlarken blok kazanım oranında ve üretim hızında ciddi artışlar sağlamaktadır. Zincirli kollu kesiciler Türkiye’deki ocaklarda genellikle taban kesimlerinde kullanılarak tel geçirmek için gereken delik sayısını azaltarak zamandan ve işçilikten tasarruf sağlarlar. Bu durumda düşey kesimler elmas tel kesme ile gerçekleştirilmektedir. Özellikle fazla çatlak vb. süreksizlik içeren bej tipi doğal taş ocaklarında istenen ekonomik boyutta blok elde edebilmek için kollu kesici ile yapılan taban kesim derinliği 3,5 m ile sınırlı olduğundan 7 m üzerinde basamak yüksekliklerinde çalışmak zorunlu hale gelmektedir. Devrilen bloklar sayalama ile istenen boyutlarda hazırlanmaktadır. Süreksizlik içeren ocaklarda ekonomik blokların zincirli kollu kesicilerle üretimi için daha uzun kol uzunluğuna sahip (>5 m) makinelerin kullanımı gerekmektedir. Bu çalışmada yerli ve yeni imalat olan 6.8 m kol uzunluğunu sahip kollu zincirli kesme makinesinin, doğal taş ocaklarında deneme uygulama sonuçları ve performansları değerlendirilecektir.

Kollu zincirli kesme makinesi ile üretim yapıldığında doğal taş blok veriminde önemli miktarda bir artış sağlamaktadır. Blok üretim tekniklerinde önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Gerek kurulumu, gerekse kullanımı diğer blok kesim yöntemlerine nazaran kolay olması sebebiyle başta traverten ocakları olmak üzere diğer doğal taş ocaklarında kullanımı ile birim zamanda daha az maliyetle daha çok blok üretimi sağlamaktadır. Bu çalışmanın yapıldığı doğal taş ocağında kollu zincirli kesme makinesi ile blok verimlilik oranı %60-%80 arasında gerçekleşmiştir.

TÜBİTAK-1507 Kobi Ar-Ge Başlangıç Desteği Programı tarafından desteklenen projenin sonuçlarının yer aldığı bu çalışmanın, doğal taş ocak işletmeciliğinde blok çıkarmakta kullanılan kollu zincirli kesme makinesinin (DZK-6800) verimliliğinin artırılmasında ve bu makinelerde teknolojik yeniliklere yol açabilecek bilgi sağlaması beklenmektedir. Bu projenin gerçekleştirilmesi sonucunda ülkemiz doğal taş rezervlerinin daha verimli kullanılması sağlanacaktır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Materyal

3.1.1 Doğal taşların teknik özellikleri

Çalışmada inceleme, gözlem ve numune alımı Denizli traverten ocağı, Burdur bej ocağı ve Afyon mermer ocağında yapılmıştır. Deneylerde kullanılan numuneler ocaktan alınan bloklardan elde edilmiştir. Deneylerde kullanılan doğal taşlar bölgeleri, kodu ve petrografik ismi Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneyde kullanılan doğal taşların bölgeleri, petrografik ismi ve renkleri.

Bölge	Ticari İsmi	Örnek Kodu	Petrografik İsmi
Denizli-Kaklık	Denizli Traverten	A1	Traverten
Burdur	Burdur Bej	A2	Kireçtaşı
Afyon-İscehisar	Afyon Şeker	A3	Mermer

Doğal taşların fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi için özgül kütle deneyi, ağırlıkça su emme deneyi, porozite, tek eksenli basınç dayanımı, permeabilite, aşınma dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı için 70x70x70 mm boyutlarında, permeabilite deneyi için 30 mm çapında ve 50 mm yüksekliğinde numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler sırasıyla TS EN 1936, TS EN 1926, DIN EN 18130-1, TS EN 14157 ve TS EN 13161 standartlarına göre 5 örnek üzerinde yapılmıştır. Doğal taşların kimyasal analizleri ACME/Kanada Analitik Laboratuvarında, XRF (ICP-MS) yöntemiyle yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan doğal taşların oksit bileşiklerinin belirlenmesinde kimyasal özelliklerinden yararlanılmıştır. Buna göre A1 örneği % 54.1, A2 örneği % 54.8, A3 örneği ise % 55.2 CaO içermektedir. Doğal taşların kimyasal analizi ve fiziko-mekanik özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

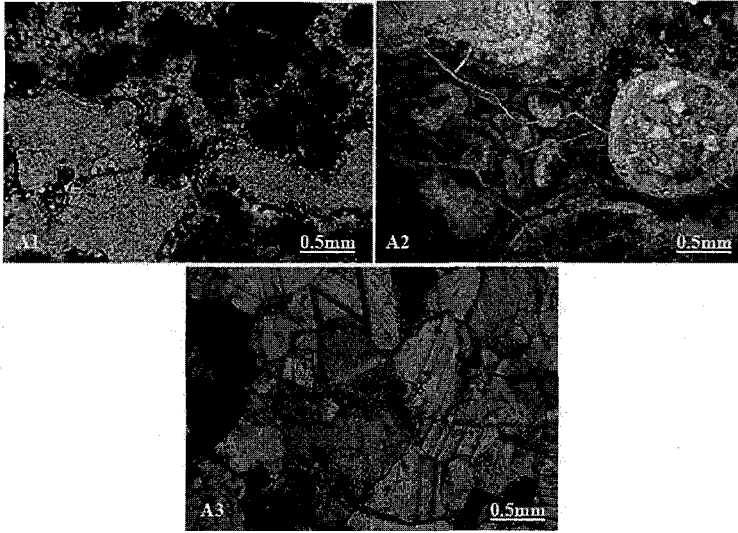
Çizelge 1. Doğal taşların kimyasal ve fiziko-mekanik özellikleri (Sariisik, 2007).

Kimyasal Analizler			
Bileşikler	A1 (%)	A2(%)	A3(%)
SiO ₂	0.26	0.35	0.60
Al ₂ O ₃	0.08	0.12	0.30
Fe ₂ O ₃	0.04	0.07	0.05
MgO	0.42	0.17	0.18
CaO	54.1	54.8	55.2
Na ₂ O	<0.05	<0.05	<0.05
K ₂ O	<0.01	<0.01	0.05
TiO ₂	<0.01	<0.01	<0.01
P ₂ O ₅	0.01	0.06	<0.01
MnO	0.01	<0.01	<0.01
Kızdırma kaybı	44.0	43.7	43.5
Total	100	100	100
Fiziko-Mekanik Özellikler			
Özgül Kütle (g/cm ³)	2456	2674	2750
Ağırlıkça Su Emme (%)	5.43	0.24	0.16
Porozite (%)	12.46	0.64	0.70
Permeabilite (mD)	1.31	0.43	0.54
Basınç Dayanımı (MPa)	18.89	89.88	68.70
Don Sonrası Basınç Dayanımı (MPa)	17.79	69.50	67.42
Aşınma Dayanımı (cm ³ /50 cm ²)	9.70	3.85	18.50
Eğilme Dayanımı (MPa)	11.60	15.89	15.59

A1 örneği ortalama tane boyutu 30–100 mikron arasında değişen spari-kalsit ile az miktarda tane boyu 1–4 mikron arasında değişen mikritik kalsit minerallerinden oluşmuştur. Gözenekli bir yapıya sahiptir. Gözeneklerin karakteristiği, diğer kayalarındaki gözeneklere göre çok çok büyük olmasıdır. İncelenen traverten kesitlerinde, gözeneklerin etrafında kalsit kristalleşmeleri gözlenmektedir (Şekil 1). Bu kristalleşmelerin zamanla orantılı geliştiği, bazı durumlarda ise gözenek etrafını sınırlamayla kaldığı görülmektedir. Bu grup travertenlerde kayaç içi dolgusu genellikle mikritikdir. Killi görümlü travertenler de mevcuttur.

A2 örneği organik resif ortamında çökelmiş bir kireçtaşıdır. Kayaç genelde mükemmel dilinimli kalsit kristallerinden meydana gelmektedir. Kayaçta yoğun bir şekilde gözlenen çatlak düzlemleri boyunca kristalleşme vardır. İri kalsit kristalleri de yer almaktadır. Çatlak boyunca kireç çamuru ve kalsit ile birlikte kil minerallerine de rastlanmıştır. Kavkı parçalarına yer almaktadır. Tane morfolojisine taneler arasında orta boylanma gözlenmektedir. Taneler arası konkavo-konveks ve hamur destekli kontak tipleri gözlenmiştir. A3 örneği ikizlenme bantlı kalsit kristalleri yapı içinde belirgin bir yer tutmaktadır. Romboedrik dilinimli ikizlenmelere sahip kalsit kristalleri öz şekilli taneler değildir. Kalsit kristallerinde herhangi bir yönlenme gözlenmektedir. Ayrıca kristallerde zonlanma görünmemektedir. Granoblastik dokulu orta taneli kalsit kristallerinden oluşmuştur. Kalsit kristalleri 200–800 mikron arasında tane boyutuna

sahiptir. Bileşimde az miktarda serisit ve çok az miktarda da kuvars mineralleri bulunmaktadır (Sarışık, 2007).



Şekil 1. Deneylerde kullanılan doğal taşların ince kesit görünümü (X 10, Tek Nikol).

3.1.2 Kollu zincirli kesme makinelerinin performansını etkileyen parametreler

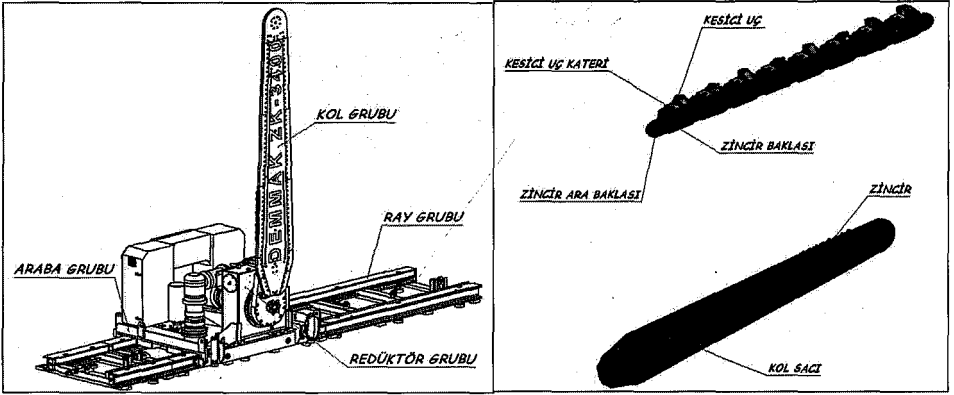
Doğal taş ocaklarında blok kesme yöntemlerini etkileyen birçok parametre değerlendirilmekte ve en az maliyetle en yüksek verimli blok elde edebilmek için bu faktörlerin itinalı bir şekilde irdelenmesi gerekmektedir.

Kollu zincirli kesme makinesinin ve elmas tel kesme makinesinin performansı, ocağın jeolojik ve jeoteknik özellikleri, kullanılan makinenin özellikleri (mekanik) ve ocağın işletme parametrelerine bağlıdır. Jeolojik ve jeoteknik parametreler, yatağın kütsel özellikleri ve doğal taşın fiziksel ve mekanik özelliklerini içermektedir. Yatağın kütsel özellikleri çatlak set sayısı, aralığı, yatağın doğrultu ve eğimi, yataklanma ve foliasyon gibi parametrelerdir. Doğal taşın kesilebilirliği, mekanik dayanım özellikleri (basınç, çekme, elastisite modülü vb.), fiziksel özellikleri (sertliği, özgül ağırlığı, porozitesi, su emmesi vb.), aşındırıcılık, mineralojik bileşimi ve dokusu, alterasyon derecesi ve doğal taşın içindeki süreksizliklerdir. Kesme derinliği, kesme açısı, kesme uzunluğu, zincir dönme hızı, tel hızı, elmas boncuklu telin yapısı, kuru veya sulu kesim, yatay veya düşey kesim, yağlama, işçilerin kalitesi ve bulunabilirliği, malzeme bulunabilirliği gibi parametreler işletme parametrelerini oluşturur (Çopur, vd., 2007a; Çopur, vd., 2007b; Çopur, vd. 2011).

Makinenin güç-tork-baskı kapasitesi, makine titreşimi, kol uzunluğu, kesme genişliği, keskinin zincir üzerindeki dizilimleri ve keskinin metalürjik ve geometrik özellikleri makine ile ilgili mekanik parametrelerdir. Çalışma koşullarında ise kalifiye eleman ve blok kesme yöntemlerinde kullanılan teknikler etkilidir (Çopur, vd., 2007a; Çopur, vd., 2007b).

3.1.3 Kollu zincirli kesme makinesi ve teknik özellikleri

Kollu zincirli kesme makinesi mermer ve traverten ocaklarında, düzgün geometrik yapıya sahip bloklar elde etmek amacıyla imal edilmiş bir makinedir. Kollu zincirli kesme makinesi, kol grubu, vagon (araba) grubu, ray grubu ve redüktör grubu olmak üzere 4 ana parçadan oluşmaktadır. Makinenin, çalışması esnasında en çok yıpranan ve en fazla problemin meydana geleceği kısım koldur. Bu sebeple kol parçalarının ömrünü uzatmak amacı için çok ciddi mühendislik hesapları yapılmaktadır. Kol grubu parçalarının birleştirilmesinden sonra vagon grubu imal edilmektedir. Tüm parçalar istenilen şekilde yerleştirilerek, yerlerinde kontrolleri yapılmaktadır. Üretimin son aşamasında ise ray grubunun imalatı yapılmaktadır. Bu makineler, firma içerisinde oluşturulmuş ve alanlarında uzman personel tarafından kontrol edilerek montajları yapılmıştır. Üretim sonu makine verimlilik testlerine tabi tutulmuştur. Tüm parçaların istenilen verimlilik değerinde olması ile birlikte makinenin doğal taş ocaklarında denenmesine izin verilmiştir (Şekil 2).

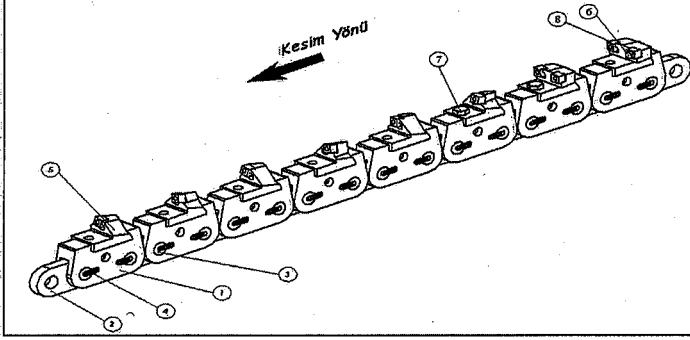


Şekil 2. Kollu zincirli kesme makinesinin parçaları ve kol grubu.

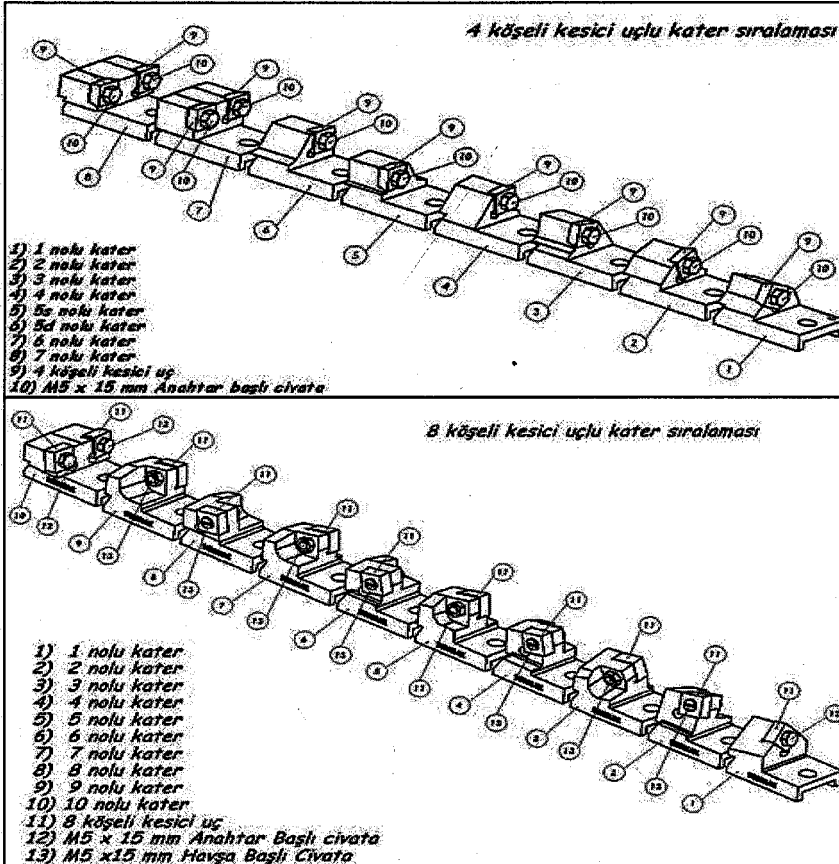
Kollu zincirli kesme makinesinin, kesim işlemi için özel alaşımlı çelikten imal edilmiş kolunun etrafında dönen zincir üzerine, sökülüp takılabilen kesici uçlar monte edilmiştir. Bu uçların yüzeyleri özel bir işleme tabi tutulmuş (titanyum kaplamalı) ve aşınmaya karşı maksimum dayanım kazandırılmıştır (Şekil 3).

Mermer veya traverten bloklar; bu zincirli kol sayesinde ana kayadan istenilen ölçülerde ve düzgün geometride boyutlandırılmakta ve ayrılabilir hale getirilmektedir. Kollu zincirli kesme makinelерinin kesme işleminde, kesme kalınlığı 42 mm olmaktadır. Bu kesme kalınlığında, makinenin istenilen kesim aralığında sorunsuz çalışması sağlanmış olmaktadır.

Kollu zincirli kesme makinesinin en fazla çalışan ve en fazla yıpranan parçası kol ve kol üzerindeki karbür esaslı kesicilerdir. Kesicilerin maksimum verimlilikte kullanılması amacıyla kesici uç dizimleri özel olarak tasarlanmıştır. Şekil 4'de görülen 4 köşeli kesici serisinde 8 adet kater, seri uzunluğu 676 mm, 8 köşeli kesici serisinde 10 adet kater, seri uzunluğu 856 mm'dir.



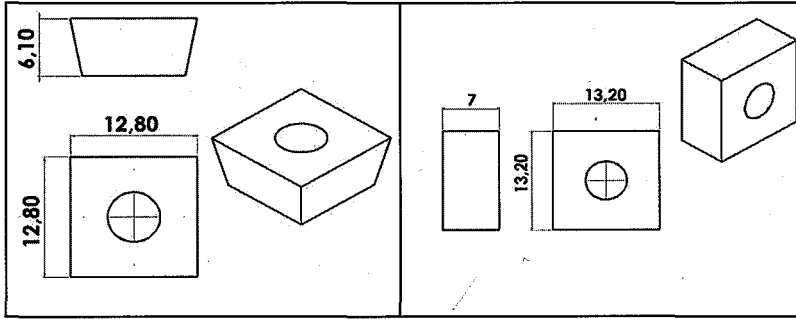
Şekil 3. Kollu zincirli kesme makinesinin zincir gövdesi (1-Zincir gövdesi, 2-Bakla, 3-Pim, 4- Kupilya, 5- Kesici uç kateri, 6- Kesici ucu katere bağlayan M5x16 anahtar başlı civata, 7- Kateri Zincir gövdesine bağlayan M8x15 anahtar başlı civata 8-Karbür kesici uç)



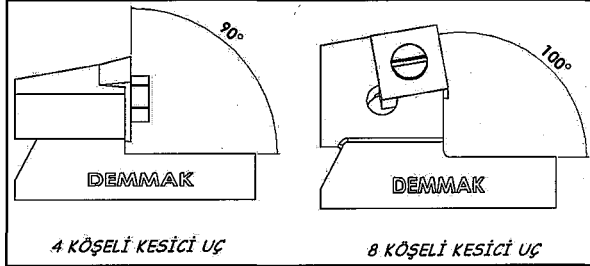
Şekil 4. Kollu zincirli kesme makinesinin 4 ve 8 köşeli kesici uçlu katerlerin sıralaması.

Makine üzerindeki zincir gövdesinde 18 NiCrMo₅ çelik alaşımlı darbeli yüke ve aşınmaya dayanıklı 99 adet elmas kesici uç kateri, 4 köşelide 126 adet, 8 köşelide 108 adet sert kesiciler bulunmaktadır. Bu kesici uçlar titanyum kaplamalı, karbür kesici uçlar tungsten karbür ve kobalt tozlarının karışımından elde edilen bileşimin sinterlenmesi yoluyla üretilmektedir. Kesici uçlar dört-sekiz kenarı kullanılabilen, kenar uzunluğu 12,80-13,20 mm ve kalınlığı 6,10-7,0 mm olan kare prizmadır (Şekil 5).

Dört köşeli kesici uçlar konik geometride oldukları için katere 90 açıyla bağlanırken, 8 köşeli kesici uçların doğal taşa yalnızca bir uçlarının temasını sağlamak için 10 derecelik bir eğim verilerek katere 100 derece açıyla bağlanmıştır (Şekil 6).



Şekil 5. Dikdörtgen dört ve sekiz köşeli kesici uçlar.



Şekil 6. Kesici uçların kesme açıları.

Kollu zincirli kesme makinesinin zincir tahrik dişlisinde(Şekil 7), kesim esnasında makinenin ürettiği zincir kesme kuvveti aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$F_{tahrik} = \frac{F_{kesim}}{\cos \alpha}$$

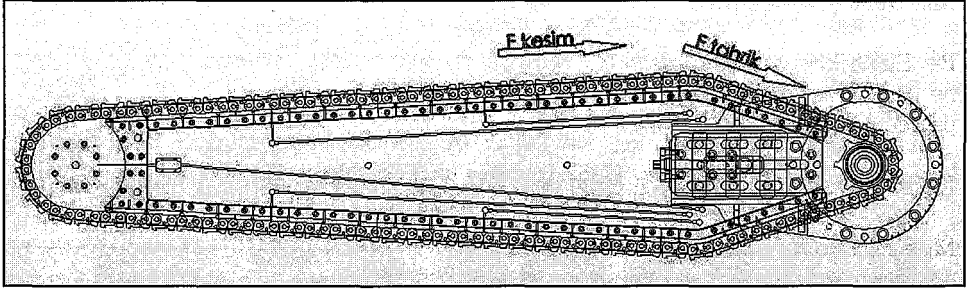
[1]

F_{kesim} =Zincir ile kol arasındaki sürtünme kuvveti ve kesme kuvveti (N)

α =Kol sırt açısı (20°)

F_{tahrik} =Zincir tahrik dişlisine etkiyen dik kuvvet (N)

Kollu zincirli kesme makinesinin zincir tahrik dişlisinde (Şekil 8) kesim esnasında makinenin ürettiği maksimum ilerleme kuvveti(bıçak baskı kuvveti) aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

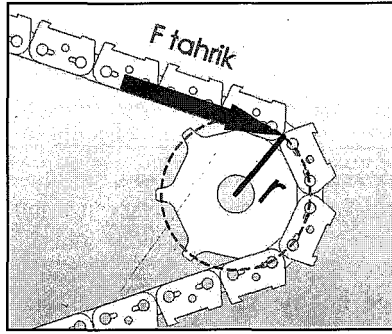


Şekil 7. Zincir ile kol arasındaki sürtünme kuvveti.

$$M_b = F_{\text{tahrik}} \cdot r$$

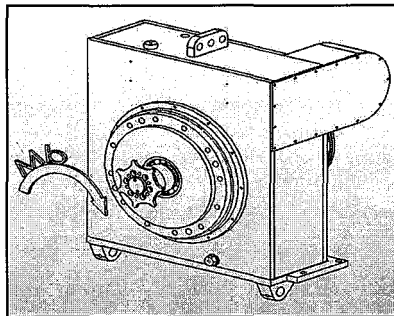
[2]

M_b = Zincir tahrik dişlisinin ilettiği moment (tork) (Nm)
 r = Zincir tahrik dişlisi bölüm dairesi yarı çapı (m)



Şekil 8. Zincir tahrik dişlisi.

Kollu zincirli kesme makinesinin zincir tahrik dişlisinde (Şekil 8) kesim esnasında makinenin ürettiği maksimum ilerleme kuvveti(bıçak baskı kuvveti) aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır. Kollu zincirli kesme makinesinin ürettiği(Şekil 9) maksimum zincir tahrik ilerleme momenti (torku) aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.



Şekil 9. Makinenin torku ve baskı kuvveti.

Maden Mühendisleri Odası
Kütüphanesi

$$M_b = 9550 (P/n) h \text{ (Nm)}$$

[3]

P= Elektrik motorunun ilettiği güç (kw)

n= Redüktör çıkış devri (1/dak) (50 Hz için 116,8 1/dk)

h=Redüktör (0,82 alınmıştır)

Kesim esnasında makinanın ürettiği maksimum ilerleme kuvveti(bıçak baskı kuvveti):

$$M_b = F_{baskı} * r \text{ (Nm)}$$

[4]

$F_{baskı}$ =Zincir tahrik dişlisine etkiyen baskı kuvveti (N)

r = Zincir tahrik dişlisi bölüm dairesi yarı çapı (m)

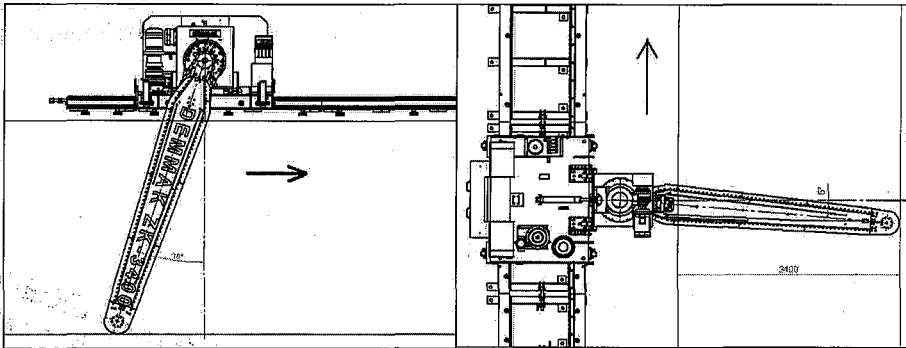
Kesim esnasında yürüyüş redüktörü elektrik motorunun frekansı 50 Hz in altında çalıştırılmaktadır. Doğal taş cinsine bağlı olarak bu frekanslar bej için 30 Hz, mermer için 35 Hz ve traverten için 40 Hz dir. Frekans düşürülmesi nedeniyle elektrik motorunun ürettiği momentte yaklaşık %23 kayıp olmaktadır.

Dolayısıyla kesim esnasında kolun uyguladığı gerçek baskı kuvveti aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$F_{baskı} - (F_{baskı} * \%23) \text{ (N)}$$

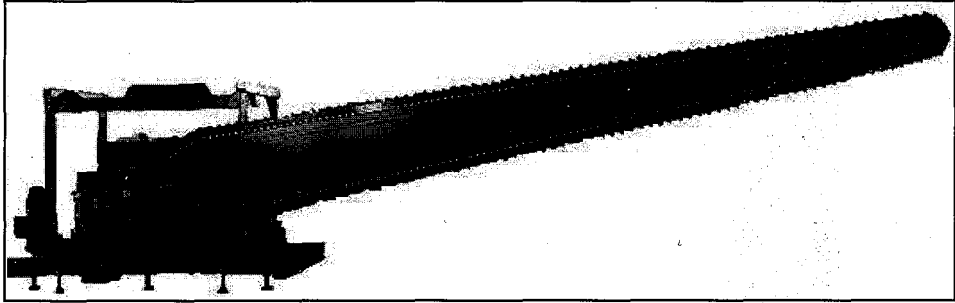
[5]

Kol grubunun, tahrik eden redüktör kutusu hidrolik silindir ile 90° döndürülebilmekte, kollu zincirli kesme makinesi ana rezerv kayası üzerinde yatay ve dikey kesim yapabilmektedir (Şekil 10). Kesim esnasında oluşan partiküllerin ortamdan uzaklaştırılabilmesi için dikey kesim esnasında kol ile makine dikey eksenini arasında 720, yatay kesim esnasında kol ile makine yatay eksenini arasında 850 açı olması gerekmektedir. Özel alaşımlı çelik saçtan imal edilmiş kol, makineye kolayca sökülüp takılabilir. Bu sayede çeşitli boyutlardaki kollar kullanılabilmektedir. Kollu zincirli kesme makinesi ile, kol uzunluğuna bağlı olarak 2.0-7.4 m arasında değişen derinliklerde kesim yapılabilir.



Şekil 10. Kollu zincirli kesici makinenin performansını artıran optimum dikey ve yatay kesme düzeni.

Bu kesme işlemi, doğal taş cinsine göre değişmekle beraber ortalama 3 m/saat ilerleme hızıyla gerçekleştirilmektedir. Kesim esnasında makine bir ray yolu üzerinde ilerlemektedir. Bu ray yolu birbiri ardına eklenip sökülerek sonsuz uzunlukta kesim işlemi yapılabilir. Kollu zincirli kesme makinesi ve rayları ocaklarda bulunan iş makineleri ile kolayca taşınabilir. Bu işlem makine üzerindeki taşıma aparatları ile kolayca gerçekleştirilmektedir. Pilot deneme çalışmalarında kullanılan zincirli kollu kesici makinesinin görünümü (Şekil 11) ve teknik özellikleri Çizelge 2’de özetlenmiştir.



Şekil 11. Demmak zincirli kollu kesicinin (DEMMAK ZK- 6800) görünümü.

Çizelge 2. Demmak zincirli kollu kesicinin (DEMMAK ZK- 6800) teknik özellikleri.

Zincirli kollu kesici (DEMMAK ZK- 6800)	
Zincir ana hareket motoru	37 KW, (50 HP)
Makine yürüyüş motoru	1.5 KW, (2 HP)
Kol döndürme motoru	1.5 KW, (2 HP)
Hidrolik güç ünitesi motoru	3 KW, (4 HP)
Gres pompası motor gücü	0.37 KW, (0,5 HP)
Toplam motor gücü	43.37 KW, (63.5 HP)
Ray boyu	12 m
Zincir kol boyu	6.80 m
Kesme kalınlığı	42 mm
Kesme hızı	0-18 cm/dk
Zincir hızı	0-1.5 m/sn
Makine ağırlığı	11200 kg

3. DOĞAL TAŞ BLOK ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Doğal taşlarda, blok üretiminde uygulanan yöntemler iki gruba ayrılır. Bunlar elle veya ilkel aletlerle uygulanan yöntemler (oluk kanal açma, delik delme, patlayıcı madde) ve mekanik yöntemlerdir. Günümüzde sık kullanılan yeni yöntemler, mekanik yöntemlerden; elmas tel kesme, elmas kayış kollu kesici ve kollu zincirli kesme yöntemleridir.

3.1. Kollu zincirli kesme yöntemi

Kollu zincirli kesme makineleri özellikle masif doğal taş ocaklarında blok üretiminde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Bu makinenin kullanıldığı doğal taş ocaklarında üretim, üretim basamakları oluşturularak yapılmaktadır. Zincirli kesicilerin basamak

üzerine yerleştirilmesinde öncelikle üretilecek bloğun uzunluğuna göre zincirli kesicinin yeri tespit edilir. Ana makine, kepçe yardımıyla kesim için uygun olan basamaklara yavaşça ve büyük bir dikkatle nakledilir. Kesici ve altındaki ray, basamak yüzeyine terazi ve ray ayakları yardımıyla paralel duruma getirilir. Kesici ve altındaki rayı sabit duruma getirmek için ray üzerinde bulunan deliklerin hizasından basamak yüzeyine 10 cm derinliğinde delikler delinir. Açılan bu deliklere T kazıkları çakılarak kesici sabitlenir. Kesici kol üzerinde bulunan kesici uçlar tek tek kontrol edilerek aşınmış olanlar değiştirilir ve gevşemiş olanlar ise sıkılır. Kesici uçların aşındığı zincirli kesicinin çalışma basıncının yükselmesi, zincirli kesicinin çektiği akım şiddetinin yükselmesi, kesim sırasında oluşan kırıntıların birleşmesi ile anlaşılmaktadır (Şekil 12).



Şekil 12. Kollu zincirli kesme makinesi ile üretim.

3.2. Doğal taş ocaklarında zincirli kollu kesicilerin kesme performansları

Zincirli kollu kesiciler ocak tasarımı, doğal taş içerisindeki süreksizlikler ve kayacın sertlik ve aşındırıcılığına bağlı olarak farklı şekillerde kullanılmaktadırlar. Burada Türkiye'deki değişik yapıdaki doğal taş ocaklarında kullanılan zincirli kollu kesicilerin özellikleri, performans parametreleri ve ocaklardaki kullanım şekilleri hakkında bilgi verilmektedir.

Doğal taş ocaklarında basamak yüksekliği 8 m olarak seçilmiş ve zincirli kollu kesicinin kullanılmasından sonra da bu yükseklik değiştirilmemiştir. Zincirli kollu kesiciler ocakta dikey ve yatay kesimlerde kullanılmaktadır. Ocakta yapılan ölçümlerde zincirli kollu kesicilerin kesme performansları incelenmiş ve sonuçlar genel olarak Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Doğal taş ocağında kullanılan kollu kesicinin çalışma ve performans parametreleri.

Çalışma ve performans parametreleri	SI Birim	A1	A2	A3
Kesme derinliği	m	6.8	6.8	6.8
Kesici kolun ilerleme hızı	4 köşeli m/h	3.5	1.0	2.0
	8 köşeli m/h	4.2	1.2	2.4
Zincir hızı	yatay m/s	0.98	0.73	0.85
	dikey m/s	0.98	0.98	0.73
Kesme miktarı	m ² /h	18.75	6.0	9.0
Keski aşınması	4 köşeli m ²	2000	130	500
	8 köşeli m ²	2400	150	600
Hidrolik tüketimi	lt/h	0.22	0.22	0.22
Gres yağı tüketimi	kg/h	0.6	0.6	0.6
Su Tüketimi	lt/h	-	100	100
Harcanan enerji	kw/h	3.42	17.42	8.71
Talaşa çıkarılan taş miktarı	m ³	0.019	0.019	0.019

4. TARTIŞMALAR

Bu çalışmadaki kollu zincirli kesme makinesinin uygulanması ile birlikte traverten ocaklığında (A1) blok verimliliği % 7-14 değerinden %80 değerine yükselmektedir. Kollu zincirli kesme makinesi, kol uzunluğuna bağlı olarak 2.0-7.4 m arasında değişen derinliklerde blok kesimi yapılabilmektedir. Bloklar, ana rezerv kayası üzerinde ebatlandığı için hammadde zayıfatı azalmaktadır. Kesim işlemi tamamlanmış blokların verimliliği %65 ile %80 değerlerine kadar artmıştır. Bu değerler diğer kesim yöntemleri ile karşılaştırıldığında blok verimliliklerine göre 6-11 kat artış sağlanmaktadır. Doğal taş ocaklarında blok almak için yapılan masrafın aynı olmasına karşılık, blok birim maliyeti 6-11 kat daha ucuzlamaktadır.

Zincirli kollu kesici ile üretilen bej ocağında (A2) kullanım oranı %60-70 arasında değişmektedir. Bu makinelerin kullanılmasıyla ocakta blok verimliliğinde 4 kat artış üretim hızında ise 2 kat artış sağlanmıştır. Blok devirme işleminin önüne geçildiğinden

hafriyat işlemleri azalmış ve enerji ve işçilikte önemli tasarruflar (% 30'a yakın) sağlanmıştır.

Mermer ocağında (A3) zincirli kollu kesicilerin kullanımı ile üretim hızı tel kesme makinesi odaklı sisteme göre 2 kat hammadde verimliliği ise 4 kat artmıştır. Bununla birlikte tüm bu işlemler %30 daha az işçi kullanılarak yapılmaktadır.

Doğal taş cinsine, sertliğine ve aşındırıcılığına uygun kesici uçlar geliştirilmelidir. Kesim hızını etkileyen en büyük faktör kater sıralama şeklidir. Bir kater setinde, katerler üzerinde bağlanmış her bir kesici uç, doğal taş üzerinde farklı noktalarda koparma işlemi yapmaktadır. Doğal taş üzerinde aynı noktada koparma yapan katerler zincir üzerinde ne kadar çok tekrarlanırsa, makinenin kesim hızı o oranda artmaktadır. Kesim hızı performansının yüksek olması amacıyla zincir üzerinde minimum çeşitte kater sıralanmalıdır.

Doğal taş cinsine uygun kesici uçların seçilmesi ile kesici uç sarfiyatı azalmaktadır. Özellikle kireçtaşı (bej) ocağında kullanılan kesici uçların alüminyum oksit, titanyum nitrit, titanyum karbür nitrit karışımları ile kaplanması gerekmektedir. Zincirin gresle sürekli ve yeterli yağlandığı kontrol edilmeli, zinciri kol üzerinde yataklayan yan saclar aşınma sonucu deforme olduğunda hemen değiştirilmeli, zincir gerginliğine dikkat edilmelidir. Zincirin sağlıklı yağlanmaması kol üzerinde sürtünmeleri artıracaktır. Sürtünmenin artması enerji tüketimini arttırmaktadır. Kol üzerindeki yan sacların aşınması ve zincir gerginliğini yeterli olmaması, zincirin darbeli çalışmasına neden olmaktadır. Bu durum katerler üzerindeki kesici uçların daha erken kırılmasına ve kesici uç sarfiyatının artmasına sebep olmaktadır. Şekil 4'de kollu zincirli kesme makinesinin 4 köşeli kesici uçlu kater sıralamasında 6 nolu kater kesici uçları seride en hızlı aşınan ve kırılan kesici uçlarıdır. Bunun sebebi, kater hem koparma işlemi yapar hem de parçacıkları küreme vazifesini yürütmesidir. Seride en hızlı 5s, 5d, 6, 7 numaralı katerlerdeki kesici uçlar hızlı, 1, 2, 3, 4 numaralı katerlerdeki uçlar daha yavaş aşınmaktadır.

Kesim esnasında kesici ucun yalnızca bir köşesi doğal taş ile temas etmeli ve bu amaçla 10 derecelik bir açıyla (yalnızca 8 köşeli kesici uçlar) yataklanmalıdır. Her kesici uca eşit yük gelmeli, kesici uç dizilimi kesim esnasında oluşan partikülleri ortamdan kolaylıkla uzaklaştırabilmeli, kesici ucu yataklayan ve taşıyan katerler, kesici uca gelen darbeleri sönümleyebilmelidir.

5. SONUÇLAR

Kollu zincirli kesme makinesi (DZK-6800) doğal taş ocaklarında 680 cm kol uzunluğu ile 6.4 m yüksekliğinde düşey kesimlerde net kesim hızı A1 doğal taşında 18.75 m²/h, A2 doğal taşında 6 m²/h ve A3 doğal taşında 9 m²/h üretim hızına ulaşılmaktadır. Düşey kesimlerde otalama kesici uç sarfiyatı 0.264 adet/m² olmaktadır. Doğal taş ocaklarında blok verimliliği kollu zincirli kesme makinesinin kullanımıyla % 60-80 değerlerine yükseldiği belirlenmiştir. Kollu zincirli kesme makinesinde üretim hızı tel kesme makinesine göre 3 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Hammadde verimliliği traverten ocakların da 6-11 kat, bej ve mermer ocakların da 4 kat artmakla beraber tüm bu işlemler ortalama % 30 daha az işçi kullanılarak yapılmaktadır.

TEŞEKKÜR

TÜBİTAK-1507 Kobi Ar-Ge Başlangıç Desteği Programı kapsamında 7080164 numaralı projede mali destek ile yeni ürün kollu zincirli kesme makinesi (DZK-6800), DEMMAK Demireller Makine San. ve Tic. A.Ş.'de geliştirilmiştir. Katkılarından dolayı TÜBİTAK'a ve DEMMAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Çopur, H. Balci, C. Bilgin, N. (2006) Cutting performance of chain saws in quarries and laboratory, *Proc. of the 15th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*. MPES, Torino, Italy.

Çopur, H. Balci, C. Bilgin, N. Tumaç, D. and Düzyol, İ. (2007a) Full-Scale Linear Cutting Tests Towards Performance Prediction of Chain Saw Machines, *Proc. of the 20th International Mining Congress of Turkey*, ISBN 978-9944-89-288-9, pp.161-169, The Chamber of Mining Engineers of Turkey, Ankara.

Çopur, H. Balci, C. Bilgin, N. Tumaç, D. Düzyol, İ. Kekeç, N. (2007b) Doğal taş madenciliğinde kullanılan zincirli kesme makinelerinin performansı, *Birinci Maden Makinaları Sempozyumu*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, pp.37-46.

Çopur, H. Balci, C. Bilgin, N. Tumaç, D. (2008) Laboratory Cutting Tests for Performance Prediction of Chain Saw Machines, *21st World Mining Congress & Expo, Poland, Kraków – Katowice – Sosnowiec*, pp.97-107.

Çopur, H. Balci, C. Tumaç, D. Bilgin, N. (2011) Field and laboratory studies on natural stones leading to empirical performance prediction of chain saw machines, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, Vol.48 pp. 269–282

Demirkıran, Z. ve Çalapkulu, F. (2001) Kaklık-Kocabaş (Denizli) travertenlerinin litolojik morfolojik özellikleri ve sınıflandırılması,” *Türkiye III. Mermer Sempozyumu* , pp.17-31, Afyon.

Demirel, Ş. (2008) “Mermer ocaklarında kollu zincirli kesme makinesinin uygulanabilirliği”, *I. Ulusal Mermer ve Doğal taşlar Kongresi, Tebliğler*, İzmir, pp.187-196.

DIN 18130-1. (1998) Laboratory tests for determining the coefficient of permeability of Soil,” Part 1: Laboratory tests. Deutsches Institut Fur Normung E.V .

Özcelik, Y. Kulaksiz, S. Aydın, M.Z. Yurdugul, H. (1999) A statistical method for practical assessment of sawability with DWCMachine of Ankara-Cubuk andesites, *Proceedings of the Ninth International Congress on Rock Mechanics*. Paris. France, pp. 237-1240.

- Özcelik, Y. Kulaksız, S. Çetin, M.C.** (2002) Assessment of the wear of diamond beads in the cutting of different rock types by the ridge regression, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.127, pp.392-400.
- Sariisik, G.** (2007) Technical Characteristics of Some Turkish Natural Stones with Calcium Carbonate Root and Their Usage Fields on Structure and Restoration, Master Thesis, A.K.Ü, Institute of Sciences, Department of Mine Engineering, Afyon.
- Sariisik, A. Sariisik, G.** (2010) Efficiency analysis of armed-chained cutting machines in block production in travertine quarries, *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, Vol.110, pp. 473-480
- TS EN 1936.** (2001). Natural stone test methods- Determination of real density and apparent density and of total and open porosity. Turkish Standards Institute, Ankara.
- TS EN 1926.** (2007) Natural stone test methods - Determination of uniaxial compressive strength. Turkish Standards Institute, Ankara.
- TS EN 14157.** (2005) Natural stone - Determination of the abrasion resistance. Turkish Standards Institute, Ankara.
- TS EN 13161.** (2009) Natural stone test methods - Determination of flexural strength under constant moment. Turkish Standards Institute, Ankara.

KARADENİZ BÖLGESİ KUM-ÇAKIL OCAKLARINDA LASTİK TEKERLEKLİ YÜKLEYİCİ (LODER) İLE ARAÇ YÜKLEME BİRİM MALİYETİNİN İNCELENMESİ

THE UNIT COST ANALYSIS OF THE VEHICLE LOADING WITH WHEEL LODERS IN THE BLACK SEA REGION SAND-GRAVEL QUARRIES

Ergin KAHRAMAN, *Maden Mühendisi, Ankara*

M. Suat DELİBALTA, *Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Niğde*

Hakan Gürbüz, *Gümüştaş Hazır Beton, Giresun*

ÖZET

İnşaat sektörünün her geçen yıl biraz daha büyümesine paralel olarak, yapı malzemesi betona olan gereksinim sürekli artmaktadır. Betonun %60-80'ni agregadan oluşmaktadır. Ülkemizde agrega üretimi çoğunlukla taşocaklarından ve dere yataklarından yapılmaktadır. Karadeniz Bölgesinde dere yatağı kum-çakıl ocaklarından agrega üretimi, taşocaklarına oranla daha fazladır. Kum-çakıl ocaklarından agrega üretiminde önemli işlerden birisi de yüklemedir. Agreganın hem hammadde olarak eldesi, hem de ürün olarak satışa sunulması gibi birçok aşamada lastik tekerlekli yükleyici (loder) sıkça kullanılmaktadır. Kum-çakıl ocaklarındaki agrega üretiminde birim maliyet belirlenirken, araç yükleme maliyetinin de bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Harşit Çayı üzerinde faaliyet gösteren kum-çakıl ocaklarında lastikli kepçenin kullanımı incelenmiş ve agreganın yükleyici ile araç'a yüklenmesinde birim maliyet tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular ışığında, uygulamaya yönelik güncel öneriler sunulmuştur.

ABSTRACT

Together with the construction sector which grows year by year, the need for the concrete construction material is increasing continuously. 60-80% of the concrete is consist of aggregate. Aggregate production in our country is generally obtained from quarries and river beds. In the Black Sea Region, the production of aggregate from sand gravel quarries is greater than quarries stone. One of the important steps in aggregate production from sand-gravel quarries is loading. Wheel loaders is commonly used for obtaining the raw materials and offering as a product of aggregate. It must also be known the loading cost while the unit cost is determined. In this study, the use of wheel loaders in the sand-gravel quarries on the Harşit River was examined and the determination of unit cost when the aggregate is loaded by a loder must be known. In the light of the results obtained, the current recommendations for application were presented.

1. GİRİŞ

Nüfusu hızla artan, sanayileşen ve kentleşen ülkemizde konut, sanayi, tarım ve ulaşım yapılarına duyulan gereksinim sürekli artmaktadır. Bu yapıların inşasında bağlayıcı madde olarak (çimento-asfalt) ile birlikte agrega (kum-çakıl) kullanılmaktadır. İnşaat sektörü için önem taşıyan betonun %60-80'ni agrega oluşturmaktadır. Ülkemizde agrega üretimi genellikle taşocaklarından ve dere yataklarından yapılmaktadır. Karadeniz Bölgesinde arazi yapısı, akarsu yataklarının bolluğu vb. gibi nedenlerle agrega üretimi, taşocaklarına oranla daha çok dere yataklarından elde edilmektedir (Kahraman, 2009).

Dere yatağından agrega temini yapan kum-çakıl ocaklarında, üretim; dere yatağından hammaddenin yüklenmesi, tesise taşınması, tesiste yıkama, kırma, sınıflandırma işlemlerinden geçirilmesi ve elde edilen ürünlerin yüklenerek pazarlanması aşamalarından oluşmaktadır. Agreganın hem hammadde olarak eldesi, hem de ürün olarak satışa sunulması gibi birçok aşamada loder yükleme işlerinde kullanılmaktadır (Kahraman, 2006).

İşletmelerin sürdürülebilir ve ekonomik gelişmesi için birim maliyet hesaplarının tespit edilmesi önemlidir. Birim maliyet hesapları;

- fiyat tespiti yapılırken karar vermeye yardımcı olma,
- işletme faaliyetlerinin denetlenmesi,
- işletme başarısının tespiti,
- planlama ve karar verme için önbilgi hazırlama,

hususlarında etkin rol oynamaktadır (Uğur, 1986).

Kum-çakıl ocaklarında birim maliyet hesaplarının tespitinde, kepçe ile yükleme maliyetlerinin bilinmesi gereklidir. Kepçe ile yükleme birim maliyeti; şantiye yollarının durumu, toz şartları, iş makinesinin performansı, operatörün performansı, kullanılan lastik tasarım türü, iklim şartları, vb. gibi birçok parametreye bağlıdır. Kepçe ile yükleme birim maliyet hesabının yapılabilmesi için, ocaklarda kepçe ile yapılan işlerin ve kepçe çalışma şekillerinin iyi bilinmesi gereklidir. Bu araştırmada; ürün stok sahasından kamyonu yükleme için tur süreleri vb. gibi etütler yapılarak, ilgili hesaplamalar sonucunda kepçenin yüklemede birim maliyetinin tespiti yapılmaya çalışılmıştır.

2. KARADENİZ BÖLGESİ KUM-ÇAKIL OCAKLARINDA YÜKLEME ÇALIŞMALARI

Bölgede kum-çakıl ocaklarında yapılan yükleme çalışmaları şunlardır:

- Dere yatağından malzemenin kazılarak direk kamyonlara yüklenmesi,
- Dere yatağında kazılarak stoklanmış malzemenin kamyonlara yüklenmesi,
- Konkasör tesisinde yapılan ara yükleme çalışmaları,
- Elde edilen ürünün kamyonlara yüklenmesidir.

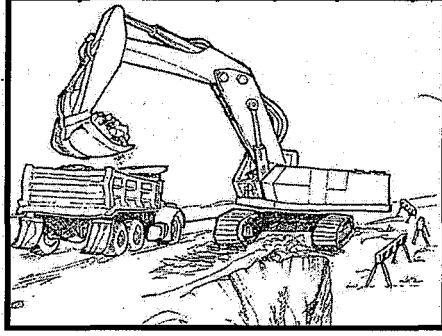
Yukarıda belirtilen yükleme işlerinde ekskavatör ve loderler kullanılmaktadır.

2.1 Yükleme İşlerinde Ekskavatörlerin Kullanımı

Ekskavatörler dere yatağından malzemenin kazısında sıkça kullanılmaktadır. Yürüyüş hareket kabiliyetlerinin sınırlı olması, sabit noktada kullanılmaları sonucunu

doğurmaktadır. Seviye altı kazı yapabilme avantajları nedeniyle, özellikle dere yatağından malzemenin kazılmasında yaygın kullanımları vardır.

Karadeniz Bölgesi kum-çakıl ocaklarında çekme ekskavatör ve hidrolik paletli ekskavatörler kullanılmaktadır. Hidrolik sistemin verdiği avantajlardan (yüksek kazı kuvvetleri, seri olmaları) dolayı hidrolik paletli ekskavatörler daha yaygın kullanıma sahiptir (Şekil 1).



Şekil 1. Hidrolik paletli ekskavatörle hammadde kazısı ve kamyonu yüklenilmesi.

2.2 Ocaklarda Yükleme İşlerinde Loderin Kullanımı

Lastikli tekerlekli yükleyiciler, kum-çakıl ocağı ve tesislerinin en önemli ekipmanıdır. Loder, kum-çakıl ocaklarında:

- Dere yatağından malzemenin kazısında ve kazı için nakliye yollarının yapımında,
- Dere yatağından stoklanmış malzemenin kamyonlara yüklenilmesinde,
- Tesiste stok sahalarından bunkerlere besleme yapılmasında,
- Üretilen agreganın satış veya pazarlama amaçlı nakliyat araçlarına yüklenilmesi
- Makine ekipman vs. kısa mesafeli kaldırma ve taşıma işlerinde kullanılmaktadır.

Karadeniz Bölgesi kum-çakıl ocaklarında 3-4 m³ kova kapasitesine sahip kepçeler kullanılmaktadır. Bölgede faaliyet gösteren ocaklarda kullanılan makinelerin birçoğu 20.000 saatlik servis ömrünün üzerinde kullanımda olan makinelerdir.

3. LODER İLE YÜKLEME İŞLERİNDE BİRİM MALİYETE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

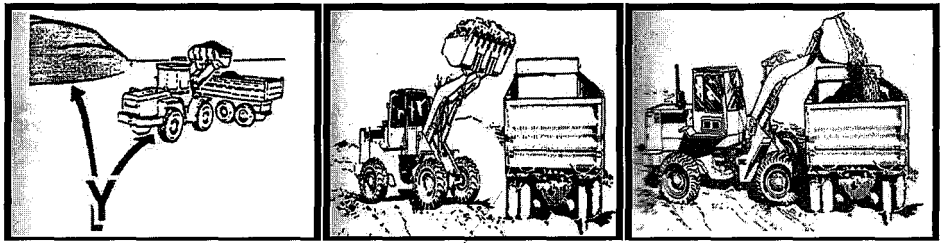
Loder ile üretimde; tesis kapasitesi, loderin kullanım süresi, satın alma fiyatı, operatör tecrübesi, loderin seçimi, uygun yükleme şekli, loderin tamir-bakım giderleri ve yakıt tüketimi gibi kriterler yükleme birim maliyetine etki eden faktörlerdir.

İşletmede kullanılacak loderin ihtiyaca uygun boyutta seçilmesi gereklidir. Agregalı malzemesi birim hacim ağırlığı yüksek olmadığı için orta büyüklükte bir makine tercih edilmelidir. Makine çok büyük olduğunda yakıt tüketimi artacaktır. Çok küçük olursa

da aynı malzemeyi daha fazla manevra yaparak yüklemek zorunda kalacaktır ki, bu da hem yakıt hem süre yönünden maliyetin artmasına neden olmaktadır.

Kullanılan loderin kullanım süresi ve satın alma fiyatından gelen amortisman miktarı da birim maliyeti etkilemektedir. Bölgede 20.000 saatlik servis ömrü üzerinde kullanılan makineler mevcut olduğundan amortisman hesabında hurda değerinin de göz önünde bulundurulması gereklidir.

Loder ile yükleme işlerinde usulüne uygun yükleme yapılması önemlidir. Usulüne uygun olmayan yükleme şekillerinde gereksiz manevralar yapılmaktadır. Bütün bu manevralar yakıt tüketiminin artmasına, dolayısıyla yükleme birim maliyetinin yükselmesine neden olmaktadır. Loder ile kamyonu yükleme yapılmasında uygun yükleme biçimi Şekil 2' de gösterilmiştir.



Şekil 2. Loder ile agrega malzemesinin kamyonu yüklenme biçimi (MMO, 2008).

Yükleyicinin dönüş ve yürüyüşlerini azaltmak için kamyonu yüklenecek malzemenin açısına uygun konumlandırılması, mümkünse, yüklemelerde kepçe ile "Y" şeklinde hareket edilmesi ideal yükleme şeklidir.

Loderin yakıt tüketimi makinenin türüne, toplam kullanım saatine, operatör tecrübesine, lastik ve zemin şartlarına göre değişmektedir. Loderi kullanan operatörün, gerekli operatörlük eğitimini almış, ehliyetli kimseler olması gereklidir.

Loderlerin yükleme yerine, taşıma işlerinde (bunker besleme, malzeme nakliyatı vb.) kullanılmaları yakıt tüketimlerini etkilemektedir. Loder ile ekonomik malzeme taşıma mesafesi 60-260 m olarak tespit edilmiştir (Mallı, vd., 2005)

Loder bakım-onarım giderleri de birim maliyete etki eden faktörlerdendir. Yağ ve filtre tüketimleri, lastik tüketimleri bu gruptandır. Bölgede bir loder için yıllık ortalama 4 adet lastik sarfiyatı yapılmaktadır. Çoğu zaman lastiklere kaplama yaptırılarak, lastik ömürleri % 50-75 oranında artırılmaya çalışılmaktadır.

4. LODER İLE YÜKLEME BİRİM MALİYETİNİN TESPİTİ

4.1 Hesaplamalarda Yapılan Kabuller

- ✓ Hesaplamalar, 2010 yılı ABD Doları (\$) kuru bazında yapılmıştır. 1\$=1,5 TL (01.12.2010) alınmıştır.
- ✓ Karadeniz Bölgesi kum-çakıl ocaklarında ürünün nakliyatında yaklaşık olarak 15 m³ kasa hacmine sahip kamyonlar kullanılmaktadır. Bölgede bulunan ocakların

birçoğunda agrega satışı hacim hesabına göre yapılmaktadır. Ocaklarda yapılan kepçe ile kamyonu yükleme etütlerinde 4 m³ kova hacmine sahip bir kepçe ile 15 m³ kasa hacmine sahip bir kamyonun toplam 6 dakikada yüklenildiği tespit edilmiştir. Yüklenen kamyonun çıkıp, yükleme için yeni bir kamyonun yaklaşması için geçen süre ise 2 dakikadır. Bu yüzden toplam yükleme süresi, hesaplamalarda 8 dakika olarak hesaba katılmıştır.

- ✓ Ocaklarda yükleme yapan kepçelerin aylık motorin tüketimi ve çalışma süreleri incelendiğinde; yakıt tüketiminin birtakım nedenlerle farklılıklar göstermekle beraber 18 ~ 22 lt arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Hesaplamalarda loderlerin ortalama yakıt tüketimi 20 lt/saat olarak hesaba katılmıştır.
- ✓ Bölgede kum-çakıl ocaklarında çalışan loder operatörleri 1.000,00-1.500,00 TL/ay civarında net maaş almaktadırlar. Yol, yemek, sigorta vb. harcamalar dikkate alınarak aylık operatör gideri 2.000 TL (1.333,00 \$/ay) olarak hesap edilmiştir.
- ✓ Loderlerde motor yağı değişimi 125 saatte bir yapılır. Bu işlemde loder karterine yaklaşık 40 lt motor yağı eklenir. Kullanılan motor yağları, mevsimlere göre SAE 15W-40 ve 20W-50 yağlardır (MMO, 2010). Motor yağları genellikle 16-17 kg'lık tenekelerle satın alınmaktadır. Satıcı firmadan fiyat teklifi alınarak tespit edilen yağ birim fiyatı 3,33 \$/kg olarak hesaba katılmıştır.
- ✓ Loderin her 1000 saatlik kullanımında hidrolik yağ değişimi yapılmaktadır. Hidrolik yağ olarak ISO VG 32, ISO VG 46 ve ISO VG 68 numara yağlar kullanılmaktadır (MMO, 2010). Hidrolik yağ değişiminde yaklaşık olarak 12 teneke (12*17 kg=204 kg) hidrolik yağ tüketilmektedir. Satıcı firmadan fiyat teklifi alınarak tespit edilen 68 numara hidrolik yağ birim fiyatı 2,92 \$/kg olarak hesaba katılmıştır.
- ✓ Loderin her 1000 saatlik çalışmasında defransiyel yağı değişimi yapılmaktadır. Defransiyel yağı olarak SAE 80W-90 veya SAE 140 numara yağlar kullanılabilir (MMO,2010). Yağ değişiminde yaklaşık olarak 70 kg yağ tüketimi olmaktadır. Satıcı firmadan fiyat teklifi alınarak tespit edilen 80W-90 numara defransiyel yağ birim fiyatı 2,23 \$/kg olarak hesaba katılmıştır.
- ✓ İş makineleri kullanım öncesi ve sonrası belli kısımları gres yağı ile yağlanmaktadır. Bu işlem 10 saatlik çalışma sonrası gres el pompası veya gres pompası ile yaklaşık 2 kg gres yağının (kauçuklu gres) makineye basılması ile yapılmaktadır. Satıcı firmadan fiyat teklifi alınarak tespit edilen kauçuklu gres yağı birim fiyatı 2,92 \$/kg olarak hesaba katılmıştır.
- ✓ Loderin kullanımına bağlı olarak yağ filtresi, hava filtresi, mazot filtresi ve şanzuman filtrelerinin değiştirilmeleri gerekir. Yağ filtresi her 250 saatlik kullanımda bir defa değiştirilir. Hava filtresi değişimi mevsimlere göre değişkenlik göstermektedir. Yaz mevsiminde ocaklarda toz daha fazla olacağı için 250 saatte yaklaşık 3 adet filtre değişimi yapılırken, kış mevsiminde bu değişim bir adettir. Hava filtresi değişimi ortalama 2 adet olarak hesaba alınmıştır. Hava filtresi iç ve dış filtrelerden oluştuğu için 4 adet hava filtresi değişimi hesaba katılmıştır. Şanzuman filtre değişimi 750 saatte bir adet olarak gerçekleştirilmektedir. Filtre fiyatları satıcı

firmalardan fiyat teklifi alınarak, tespit edilen birim fiyat \$ kurunda (motor yağ filtresi 20,67 \$/adet, mazot filtresi 6,00 \$/adet, şanzuman filtresi 53,33 \$/adet, hava filtresi 33,33 \$/adet) hesaba katılmıştır.

- ✓ Bölgedeki mevcut ocakların üretim kapasiteleri incelenerek, hesaplamalarda tesisten 120 m³/saat ürün elde edildiği ve loderin sadece kamyonlara ürün yükleme işinde çalıştığı kabulü yapılmıştır. Hesaplamalarda bölge şartlarında çalışan 15 m³ taşıma hacmine sahip kamyonlar kullanıldığı kabulü yapılmıştır.
- ✓ Ocakta loderin bakım, arıza durumları, bayramlar ve çalışılmayan zamanlar dikkate alınarak yıllık çalışma süresi 300 gün olarak kabul edilmiştir. Ocakta günlük ortalama 10 saatlik çalışma yapıldığı ve kepçenin çalışma süresinin 9 saat/gün olduğu kabulü yapılmıştır.
- ✓ Hesaplama 200.000,00 TL = 133.333,33 \$ tutarında lastikli yükleyici (loder) olduğu kabul edilmiştir. Loderlerin servis ömrü 20.000 saattir. Loderin hurda değeri 30.000 \$ olarak kabul edilmiştir. Kepçenin yıllık çalışma süresi 2.700 saat/yıl'dır.
- ✓ Üretim ve yükleme ile ilgili olarak yapılan kabuller ve hesaplamalar Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Karadeniz Bölgesi kum-çakıl ocaklarında üretim ve yükleme hesapları.

Açıklama	Hesaplamalar
Yılda çalışılan gün sayısı	300 gün/yıl
Günlük ortalama çalışma süresi	10 saat/gün
Loder çalışma süresi	9 saat/gün
Loder kepçe kapasitesi	4 m ³
Kepçe dolma faktörü	0,85
Kepçe yükleme kapasitesi	4 m ³ *0,85
Loderin saatlik yükleme kapasitesi	(60dak*15m ³)/8dak
Loderin yıllık üretimi (yüklemesi)	112,5m ³ /sa*2700sa/yıl
	303.750 m ³ /yıl

4.2 Loder ile Agrega Yükleme Birim Maliyeti

Loder ile agrega yükleme birim maliyeti hesabı, maliyet yüklemeleri hesaplama yöntemlerinden ilave etme yöntemi kullanılarak yapılmıştır. İlave etme yöntemi uygulamasında maliyetler; ayrık maliyet, ortak maliyet ve özel ayrık maliyet olarak teker teker ayrılmaktadır. Sonra ortak maliyetler, ilgili ayrık maliyetler üzerinden ölçü ve oranlarda hesaplanıp ürünlere yüklenmektedir (Uğur 1986, Arıoğlu 1988). Hesaplama malzeme (yedek parça, motorin) ayrı ayrı hesaplanmıştır. Motorin gideri, personel operatör gideri gibi üretim maliyetleri de ayrı ayrı hesaplanmıştır. İşletme özel ayrık maliyeti ve pazarlama ortak maliyeti hesaplamalara dahil edilmeyerek, birim maliyet tespiti aşağıda çizelgelerde hesaplanmıştır (Çizelge 2, 3, 4).

Çizelge 2. Loder üretim maliyetlerinin hesabı.

Kepçe Üretim Maliyetleri	Hesaplama	Yıllık Maliyet
Loderin ekonomik işletme ömrü	20.000 saat / 2.700 saat/yıl	7,40 yıl
Yıllık amortisman gideri	(133.333,33-30.000,00)\$ / 7,40 yıl	13.963,96 \$/yıl
Kepçe yakıt gideri	2.700 saat/yıl*20 lt/saat*2,13\$/lt	115.020,00 \$/yıl
Personel gideri	1.333,00 (\$/ay)*12 ay/yıl	15.996,00 \$/yıl

Çizelge 3. Loder sarf malzeme maliyetinin hesabı.

Yağ Tüketimi	Kullanım Kapasitesi (kg)	Kullanım Süresi (saat)	Yıllık Çalışma (saat)	Yıllık Sarfiyat (kg)	Birim Maliyet (\$/kg)	Yıllık Maliyet (\$/yıl)
Motor Yağı	40	125	2.700	864	3,33	2.877,12
Hidrolik Yağı	204	1.000	2.700	550,80	2,92	1.608,34
Makine Genel Yağlama	2	10	2.700	540	2,92	1.576, 80
Defransiyel Yağı	70	1.000	2.700	189	2,23	421,47
<i>Toplam Yıllık Yağ Tüketim Tutarı (\$/yıl)</i>						6.483,73
Yedek Parça Adı	Tüketim (adet)	Kullanım Süresi (saat)	Yıllık Çalışma (saat)	Yıllık Sarfiyat (adet)	Birim Maliyet (\$/adet)	Yıllık Maliyet (\$/yıl)
Motor Yağ Filtresi	1	250	2.700	10,8	20,67	223,24
Mazot Filtresi	2	250	2.700	21,6	6,00	129,60
Şanzuman Filtresi	1	750	2.700	3,6	53,33	192,00
Hava Filtresi	4	250	2.700	43,2	33,33	1.439,86
Lastik Tüketimi	4			4	2.000,00	8.000,00
Diğer Yedek Parça Giderleri						2.000,00
<i>Toplam Yıllık Yedek Parça Tüketim Tutarı (\$/yıl)</i>						11.984,70
<i>Toplam Malzeme Gideri (\$/yıl)</i>						18.468,43

Çizelge 4. Loder ile yüklemede toplam birim maliyetin hesabı

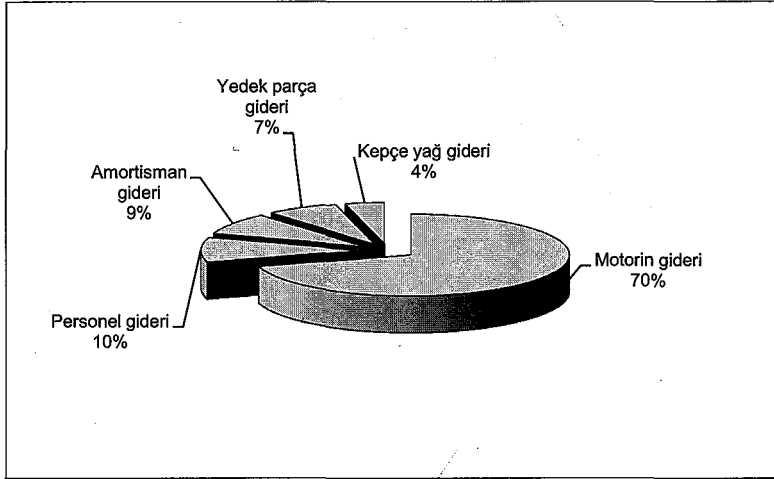
Maliyet Türü	Gider Kalemi	Tutar (\$/yıl)	%
Malzeme Maliyeti	Yedek Parça Gideri	11.984,70	7
	Kepçe Yağ Gideri	6.483,73	4
	Motorin Gideri	115.020,00	70
Üretim Maliyeti	Personel Gideri	15.996,00	10
	Amortisman Gideri	13.963,96	9
Ortak Maliyetler	Hesaba katılmadı		
İşletme Özel Ayrıık Maliyeti	Hesaba katılmadı		
<i>Toplam (\$/yıl)</i>		163.448,39	
Yıllık kepçe ile üretim (yapılan yükleme, m ³ /yıl)		303.750	
Yükleme Birim Maliyeti (\$/m ³)		0,54	
Yükleme Birim Maliyeti (TL/m ³)		0,81	
Ton Başına Birim Maliyet		0,51 TL/ton	

*Agrega yoğunluğu 1,5 ton/m³ olarak alınmıştır.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

- Yapılan araştırmada; Karadeniz Bölgesi Harşit Çayı üzerinde faaliyet gösteren kumçakıl ocaklarından elde edilen agreganın pazarlanması amacıyla yapılan, lastikli kepçe (loder) ile araç yükleme birim maliyeti 0,51 TL/ton olarak tespit edilmiştir.
- Ocaklar için loder alımında, ihale malzemesi yüklenmesinde, loderin yüklemeden başka bir işte (yol yapımı, bunker besleme vb.) görevlendirilmesinde, yükleme birim maliyetinin bilinmesi çok faydalı bilgiler sağlamaktadır.
- Loder ile araç yükleme birim maliyeti hesabında, motorin gideri %70 olarak en büyük gider kalemini oluşturmaktadır (Şekil 3). Bu yüzden motorin tüketimini

artırıcı faktörlerden uzak durmak gerekmektedir. İşletmeye uygun büyüklükte kepçe alınması, operatörlerin kaliteli olması, usulüne uygun yükleme şekillerinin kullanılması gibi önlemler alınabilir.



Şekil 3. Loder ile yüklemelerde maliyet türlerinin dağılımı.

- Hesaplamalar; loderin kiralık olması, yıllık çalışma süresinin artırılması (iyi bakım planı vb.) gibi parametreler göz önünde bulundurularak, satın alma veya kiralık loder çalıştırmanın ekonomikliliği de karşılaştırılmalı olarak araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Arıoğlu, E.** (1988) Çözümlü Madencilik Problemleri, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, s.236-239
- Mallı, T., Aksoy, C.O. ve Köse, H.** (2005) Küçük Ölçekli Madencilikte Tekerekli Yükleyciler İçin Ekonomik Taşıma Mesafesi, Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, İzmir
- Kahraman, E.** (2006) Harşit Çayı Üzerinde Bulunan Kum-Çakıl Ocaklarının İncelenmesi, Doğu Karadeniz Bölgesi Maden Yataklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu, Trabzon
- Kahraman, E., vd.** (2009) Doğu Karadeniz Bölgesinde Bulunan Kum-Çakıl Ocakları ve Taşocaklarının Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi, Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Ankara
- MMO** (2008) İş Makinaları El Kitabı-3 Kazıma ve Yükleme Makineleri, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, İzmir, s.73

MMO (2010) İş Makinaları Kullanma ve Bakım El Kitabı, İzmir, s.134-135

Uğur, İ. (1986) Maden İşletme Ekonomisi, İTÜ Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Yayın No: 20, İstanbul, s.35-37

Loder Kataloğu (2002) O&K L45 C Redlader, Nr 165283.

BLOK GÖÇERTME YÖNTEMİ İLE ÇALIŞAN BİR YERALTI MADENİNDE LHD ROTALAMA PROBLEMİ

LHD ROUTING PROBLEM IN AN UNDERGROUND MINE WORKING WITH BLOCK CAVING METHOD

İrem ÖZKARAHAN, *Troy Üniversitesi, Bilgisayar Müh. Böl., Montgomery*
Pınar MIZRAK ÖZFIRAT, *Celal Bayar Üniversitesi, Endüstri Müh. Böl., Manisa*
M. Kemal ÖZFIRAT, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Müh. Böl., İzmir*

ÖZET

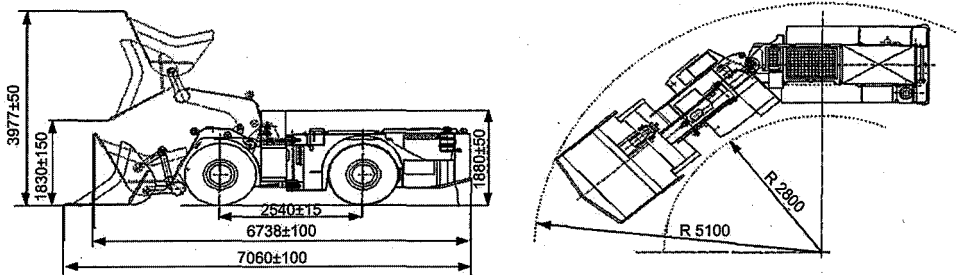
Yeraltı madencilğinde, önemli konulardan bir tanesi cevherin üretimi ve üretildikten sonra yeryüzüne naklinde kullanılan araçların verimli kullanılmasıdır. Metal madenlerinde çoğu durumda, Doldur-Taşı-Boşalt (LHD) araçları cevher çekme noktasından aldıkları cevheri transfer noktasına ya da transfer noktasında bekleyen kamyonlara cevheri yüklerler. Bu noktadan, kamyonlar cevheri madenin dışarısına naklederler. Bu makalede, bir yeraltı madeninde LHD araçlarının rotalama problemini çözmek için bir matematiksel programlama modeli geliştirilmiştir. Problem eşit olmayan makineler ile bir paralel makine rotalama problemi olarak modellenmiştir. Model OPL Studio 3.7 ile çözülmüştür ve özel bir durumun çözümü için kullanılmıştır. Optimum LHD sayısı ve her LHD için optimum cevher çekme sırası bulunmuştur.

ABSTRACT

In underground mining, one of the major concerns is effective use of vehicles to produce and transport the mine ore out of the mine to the ground surface. In metal mining in most of the cases, Load-Haul-Dump (LHD) vehicles are employed to draw the mine ore from the drawing points and carry it to transfer points to load the ore onto trucks. From that point, trucks are in charge to transport the ore out of the mine. In this paper, a mathematical programming model is developed to solve the scheduling problem of LHD vehicles in underground mines. The problem is modeled as a parallel machine scheduling problem with unequal machines. The model is solved by OPL Studio 3.7 and used for a specific case solution. Optimum number of LHD to be employed and the optimum schedule of each vehicle is found.

1. GİRİŞ

Dünya madenciliğinde LHD (Load Haul Dump) kısaltılmış ismiyle tanınan lastik tekerlekli araçlar, yerüstünde çok geniş bir uygulama alanı bulan tekerlekli yükleyicilerin yeraltı şartlarına uydurulmuş şekilleridir. Türkiye’de doldur-taşı-boşalt olarak bilinen makinaların madencilik sektörüne girişleri 1950 yıllarına rastlarsa da, yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanması 1960’dan sonradır. Günümüzde özellikle yeraltı metal madenlerinde nakliyat işlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. LHD araçları dört teker tahriklidir. Genellikle tasarımlar 200-300 metrelik mesafeler içinde çalışmak üzere yapılır. Ancak çalışma mesafelerinin 1000 m’ye çıktığı durumlar da vardır. 1 ton taşıma kapasitesinden 15 tona kadar, çok değişik modelleri bulunmaktadır (Şekil 1, Çizelge 1). Özellikle çok küçük metal madenlerinin dar ve alçak galerilerinde kullanılmak üzere, bazı modellerde yükseklik ve genişlik oldukça azalmıştır (Tatar ve Özfirat, 2003).



Şekil 1. Tipik bir LHD aracı (Everpros, 2004).

Çizelge 1. Tipik bir LHD aracının detaylı teknik özellikleri (Everpros, 2004).

Teknik özellikler	Açıklamalar
Ağırlık	Boş araç ağırlığı: 12500 kg Maksimum yük: 4000 kg Ön bağlantı yükü: 5625 kg (yüksüz iken) Arka bağlantı yükü: 6875 kg (yüksüz iken) Üretici: Almanya Model: F6L912FW
Motor	Tip: içten yanmalı iki hücreli hava soğutmalı motor Güç: 63 kW Hava alma sistemi: kuru hava filtresi-sıkıştırılmalı Hava atma sistemi: filtreli ve susturuculu katalitik egzoz Tork dönüştürücü Üretici: DANA, US Model: C272
Yürüyüş sistemi	Dizayn: Tek endüstriyel tip, yardımcı hidrolik sistem Vites kutusu Üretici: DANA, US Model: R28421 Dizayn: Güç vitesi - 4 ileri vites ve 4 geri vites Maksimum hız
Çalışma	Tam yük, ileri / geri, düz yol Vites 1: 3,6 vites 2: 7,6 vites 3: 12,5 vites 4: 20 km/h Çalışabileceği eğim: (tam dolu): 14% Maksimum çekiş gücü: 104 kN
Fren	Tip: Dıştan çoklu disk sıvı soğutmalı hidrolik çalışma Fren basıncı park freni/acil fren: 110-138 bar Dizayn: Esnek hidrolik fren
Hidrolik Sistem	Hidrolik valfi değiştirmeli kullanmak için dizayn edilmiştir

LHD'ler yeraltı madenlerinde üretim yöntemine bağlı olarak cevher çekme noktalarından kamyonlara kadar nakliyat yaparlar. Örneğin çalışmada ele alınan blok göçertme yönteminde cevher çekme noktasından aldıkları cevheri servis yolundaki kamyonlara nakledeleler. Daha sonra kamyon rampadan yeryüzündeki kırıcıya götürür. Maden derine indikçe alternatif taşıma sistemleri gelişebilir. Karar verme problemlerinden bir tanesi kamyon ve LHD sayılarına karar vermek ve rotalamaktır. Uygun sayıda nakliye araçlarının seçilmemesi iş organizasyonunda ciddi problemlerin doğmasına ve iş kayıplarına neden olabilmektedir.

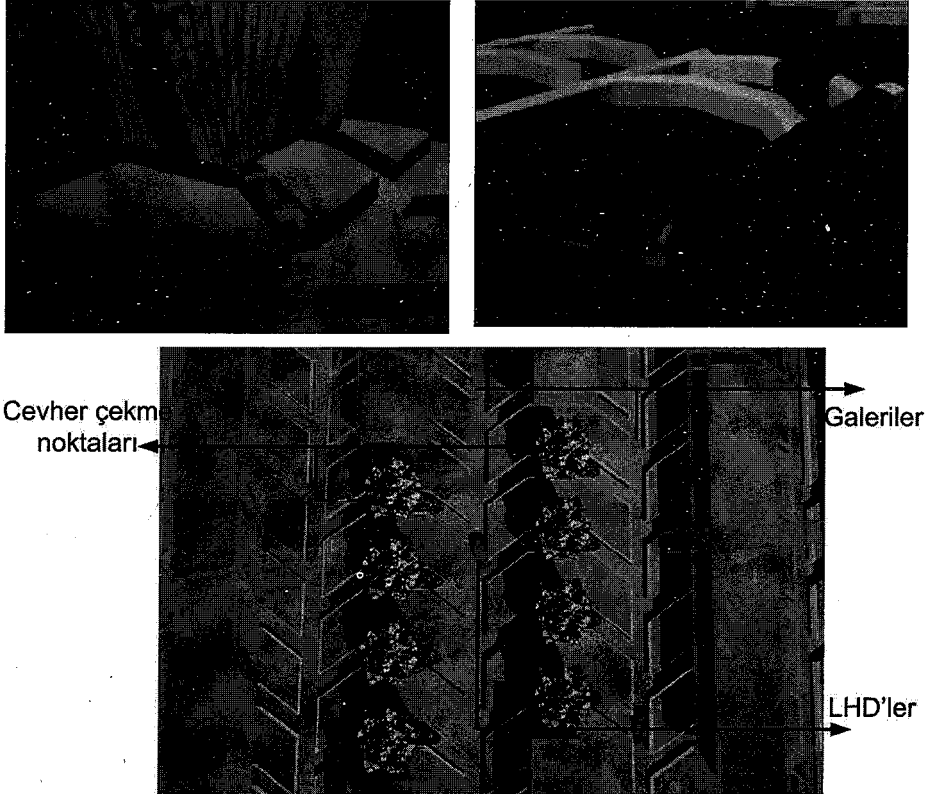
Açık işletme madenlerinde benzer problem çeşitli çalışmalarda ele alınmıştır (Nasuf ve Kırmancılı, 1993; Ta vd., 2005). Ancak yeraltı LHD rotalama problemi literatürde yeterince çalışılmamıştır. Bu konuda oldukça az çalışma bulunmaktadır. Scheduling vd., 1999'da yaptıkları çalışmada LHD'nin otomasyonunu saha ve deneysel çalışmalarla tanımlamaya çalışmışlardır. Saayman vd., 2006'daki çalışmalarında simülasyon kullanarak LHD ve kamyonu rotalamayı incelemişlerdir. Bu çalışmada yeraltındaki kamyon ve LHD rotalamaları için matematiksel model kullanılmıştır. Model, maden

üretiminde LHD araçlarının özel pozisyonları için en uygun kamyon ve LHD sayılarını bulmaya çalışmaktadır.

Bu makalede, blok göçertme yönteminin uygulandığı maden ocağında belirlenen cevher çekme noktaları dikkate alınarak en uygun (optimum) LHD ve kamyon sayısının belirlenmesi ve rotalama çalışmalarının organizasyonu ile ilgili çalışmalar sunulmuştur.

2. PROBLEM TANITIMI

Blok göçertme yönteminin uygulandığı bir yeraltı metal madeninde, LHD'ler cevher çekme noktalarına galerilerle ulaşmaktadırlar. Daha sonra cevheri kepçesine yüklemiş halde transfer noktasına kadar ilerleyen LHD cevheri kamyonu boşaltmaktadır. LHD'ler transfer noktası ve çekme noktaları arasında kamyonu doldurmak için birkaç tur yaparlar. Cevher yüklü kamyonlar cevheri kırıcıya kadar taşırlar. Daha sonra kamyonlar transfer noktasına geri gelerek cevheri kırıcıya taşımak için tekrar yüklenirler. Şematik görünüş Şekil 2'de verilmiştir.

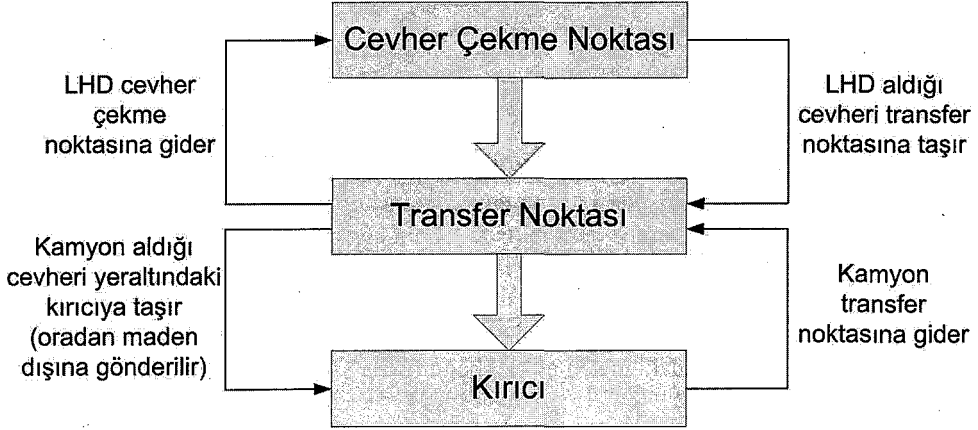


Şekil 2. Blok göçertme yönteminde LHD ve kamyon kullanımı.

LHD ve kamyonun çalışma akışı Şekil 3'te verilmiştir. Bu çalışmada, madendeki cevher rezervinin bilindiği kabul edilmiştir. Bir diğer deyişle toplam üretim miktarı

bilinmektedir. Bu çalışmanın amacı LHD'lerin çekme noktaları ile transfer noktaları arasında en düşük maliyetli rotalarını belirlemektir.

Problemde bir diğer nokta madende birden fazla transfer noktasının olmasıdır. Cevher çekme noktalarından her bir transfer noktasına mesafe ve yol alma süresi birbirinden farklıdır. LHD'lerin hangi çekme noktalarına gitmesi gerektiği ve bunlara hangi sıra ile gitmesi gerektiği belirlenmelidir. Böylece maden yatağındaki cevher hem en düşük maliyetle hem de en kısa sürede yeryüzüne taşınacaktır.



Şekil 3. LHD ve kamyonun çalışma döngüsü.

Bu çalışmada LHD'ler için en iyi hareket rotasının belirlenmesi için karışık tamsayı programlama modeli geliştirilmiştir.

3. ÖNERİLEN ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Problem bir paralel makine çizelgeleme problemi olarak modellenmiştir. LHD'ler paralel makineleri ve LHD'lerin çekme noktalarına gidip gelmeleri çizelgelenecek işleri temsil etmektedir. Problemin çözümünde karışık tamsayı programlama kullanılmıştır. Modelde bazı kabuller yapılmıştır:

- LHD'lerin çarpışmasını önlemek için her LHD bir transfer noktasıyla ilgilidir. Diğer deyişle her LHD bir transfer noktasına hizmet eder.
- Her kamyon bir transfer noktasıyla ilgilidir. Diğer deyişle her kamyon bir transfer noktasına hizmet eder.

Modelde kullanılan değişkenler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Modelde kullanılan değişkenler.

İndisler :

i : Planlananiş sayısı, $i = 1..n$

j : Pozisyon sayısı, $j = 1..n$

k : LHD'lerin sayısı, $k = 1..m$

Değişkenler :

P_{ik} : k.LHD'nin i işini yapma zamanı

TTT : Kamyon tur zamanı

Karar Değişkenleri :

C_{max} : En son işin bitiş zamanı

C_{jk} : k. LHD'nin j pozisyonundaki işi bitirme zamanı

X_{ijk} : $\begin{cases} 1, \text{eğer } k. \text{ LHD'nin } j \text{ pozisyonunda } i \text{ işi planlanıyorsa} \\ 0, \text{Değilse} \end{cases}$

Model [1] ve [11] arasındaki matematiksel bağıntılarla aşağıda verilmiştir.

$$\min. C_{max} \quad [1]$$

Bağlı eşitlikler

$$C_{max} \geq C_{jk} \quad \forall j, k \quad [2]$$

$$\sum_j \sum_k X_{ijk} = 1 \quad \forall i \quad [3]$$

$$\sum_i X_{ijk} \leq 1 \quad \forall j, k \quad [4]$$

$$\sum_i X_{ij+1k} \leq \sum_i X_{ijk} \quad \forall j, k \quad [5]$$

$$C_{jk} = C_{j-1k} + \sum_i P_{ik} \cdot X_{ijk} \quad \forall j \in \{1..n\} - \{6, 12, 18, \dots\} \quad [6]$$

$$C_{jk} \geq C_{jk} + \sum_i P_{ik} \cdot X_{ij-1k} \quad \forall j = \{6, 12, 18, \dots\} \quad [7]$$

$$C_{jk} \geq (C_{jk} + 12) \cdot \sum_i X_{ij-1k} \quad \forall j = \{6, 12, 18, \dots\} \quad [8]$$

$$C_{0k} = 0 \quad \forall k \quad [9]$$

$$X_{ijk} \in \{0, 1\} \quad [10]$$

$$C_{jk} \geq 0 \quad [11]$$

Denklem 1 işin bitme zamanını enküçükleyen amaç fonksiyonudur. 2. denklem işin bitme zamanını tanımlar. Denklem 3 tüm işlerin kesinlikle bir kez çizelgelenmesi zorunluluğunu ifade eder. 4. denklem bir LHDnin aynı anda en fazla bir işe atanabileceğini gösterir ve denklem 5 işlerin sıralanmasında aradan hiç boşluk kalmaması gerektiğini açıklamaktadır. Denklem 6 k. LHD'de j. pozisyonundaki işin

bitme zamanını gösterir. Buna rağmen 6., 12., 18., pozisyonlardaki işler için LHD'nin kırıcıdan dönen kamyonu beklemesi gereklidir (LHD'nin 5 turunda kamyonun bir tur attığı kabul edilmiştir). Bu durum 7 ve 8. denklemlerde ifade edilmiştir. Aynı zamanda LHD'de birinci konumu tanımlamak için, her bir LHD'ye sıfırda başlayıp sıfırda biten boş bir iş atanmıştır. 9. denklem sıfır işinin bitme zamanı olan sıfırı tanımlar. Son olarak, 10 ve 11. denklem değişkenlerin alabileceği değer aralığını tanımlar. Model, OPL Studio 3.7 2003'te yazılmış ve çözülmüştür. Hesaplama sonuçları bir sonraki bölümde verilmiştir.

4. HESAPLAMA SONUÇLARI

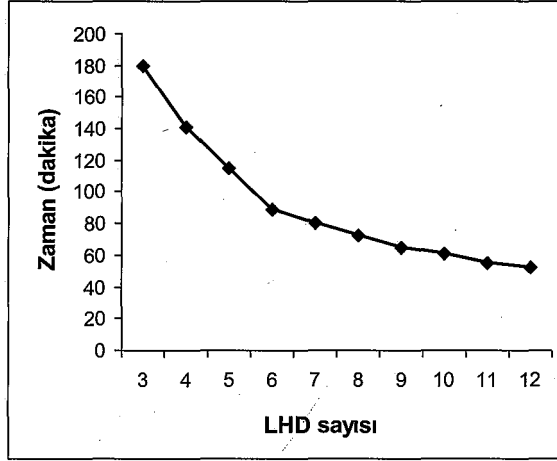
Çalışılan model madende bir LHD tarafından herbiri beş kez ziyaret edilen 15 çekme noktası vardır. Bu yüzden, toplam yapılması gereken iş sayısı 75'dir. İşler 1, 2, 3, 4, ..., 75 rakamlarıyla isimlendirilmiştir.

Modelin çözümünde, başlangıç olarak madende üç LHD ve üç kamyon olduğu kabul edilmiştir. Bu kabuller yardımıyla model çözüldükten sonra, madendeki çalışmalar için gerekli en uygun kamyon ve LHD sayısını bulmak için farklı sayılardaki LHD ve kamyon sayılarıyla testler yapılmıştır. Farklı sayılarda LHD ve kamyon sayıları için gerçekleştirilen deneyler ve bulunan zaman değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.

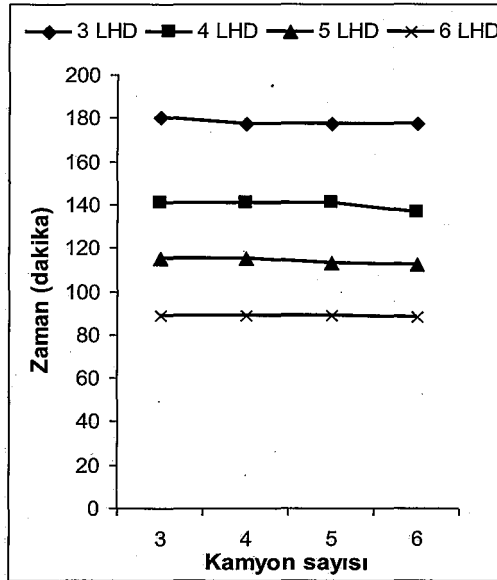
Çizelge 3. Farklı değişken sayıları ile hesaplanan sonuçlar.

Deney numarası	LHD sayısı	Kamyon sayısı	Zaman (dakika)
1	3	3	180
2	4	3	141
3	5	3	115
4	6	3	90
5	3	4	177
6	4	4	141
7	5	4	115
8	6	4	89
9	3	5	177
10	4	5	141
11	5	5	113
12	6	5	89
13	3	6	177
14	4	6	136
15	5	6	112
16	6	6	88
17	7	3	80
18	8	3	72
19	9	3	65
20	10	3	61
21	11	3	55
22	12	3	52

Şekil 4'te farklı LHD sayılarında bulunan zaman değerlerinin grafiği gösterilmiştir. Çalışmanın amacı LHD sayısını olabildiğince minimum tutarak zamanı azaltıp maliyetleri düşürmektir. Buna göre, ilk bakışta, LHD sayısı 3'ten 6'ya çıkarıldığında zaman değerlerinde keskin bir düşüş gözlenmektedir. Fakat LHD sayısı 6'dan 12'ye yükseltildiğinde zaman değerlerinde dikkate alınacak düşüşler görülmemektedir. Bu yüzden, madende 6 LHD ile çalışmak yararlı olabilir.



Şekil 4. Zamanın LHD sayısına bağlı değişimi.



Şekil 5. Kullanılan kamyon sayısına göre zaman değişimi.

Diğer taraftan, kamyon sayısının değişimine göre zaman eksenindeki değişim Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, kamyon sayısındaki artış zaman değerlerini çok az etkilemekte hatta bazılarında etkilememektedir. Bu yüzden madende 3 kamyonla çalışılması önerilebilir. Çizelge 3'ten 6 LHD ve 3 kamyonun (deney 4) en iyi zaman değeri olan 90 dakikayı verdiği görülmektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, yeraltı madeninde LHD rotalama problemi ele alınmıştır. Bir karışık tamsayı programlama modeli, problemin çözümü için geliştirilmiştir. Model farklı LHD ve kamyon sayıları için çalıştırılmıştır. Sonuçlar 6 LHD aracının ve 3 kamyonun madendeki çalışmalar için en verimli ve etkili çözüm olabileceğini ortaya koymuştur.

Çalışmadaki model özel bir durumu çözmek için yazılmıştır. Buna rağmen, farklı madencilik çalışmaları ve kabuller için uyarlanması basitçe yapılabilir. Bu nedenle yeraltı madenlerinde araç rotalama problemi için güvenilir ve kuvvetli bir yol olarak kullanılabilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, Dr. Pınar Mızrak Özfirat'a doktora sonrası çalışmaları için maddi destek sağlayan TUBİTAK'a ve çalışmanın oluşmasına proje davetiyle olanak veren Dr. İrem Özkarahan'a teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Everpros Mining Machinery Co Ltd, (2004). www.everpros.com.

Nasuf E. & Kırmanlı, C. (1993). Computer Aided Truck Dispatching Systems in Open Pit Mines and World Applications. *Mining Journal*, Vol. 32(2), pp. 5-11 (in Turkish).

OPL Studio 3.7 (2003). *Language Manual*, ILOG S.A., France.

Saayman, P., Craig, I.K., and Camisani-Calzolari, F.R. (2006). Optimization of an Autonomous Vehicle Dispatch System in an Underground Mine, *The South African Institute of Mining & Metallurgy*, Vol. 106, pp. 77-86.

Scheding S., Dissanayake G., Nebot E. M., and Durrant-Whyte H. (1999). An Experiment in Autonomous Navigation of an Underground Mining Vehicle, *IEEE Transactions on Robotics & Automation*, Vol. 15(1).

Ta, C.H., Kresta, J.V., Forbes, J.F., Marquez, H.J. (2005). A Stochastic Optimization Approach to Mine Truck Allocation. *International Journal of Mining, Reclamation & Environment*, Vol. 19(3), pp. 162-175.

Tatar, Ç. & Özfirat, M.K. (2003). *Yeraltı Maden Makinaları ve Mekanizasyonu*, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak. Matbaası, p. 277.

**Maden Mühendisleri Odası
Kütüphanesi**

TMMOB Maden Mühendisleri Odası
ISBN: 978-605-01-0099-0

